

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra elektroenergetiky



**Nevyužitý hydropotenciál v ČR a energetické využití
vodních zdymadel**

**Unused hydropotential in the Czech Republic and energy
potential of water locks**

Diplomová práce

Bc. Zbyněk Svoboda

Praha 2020

Vedoucí práce: Mgr. Ing. Vít Klein, Ph.D.
Studijní program: Elektrotechnika energetika a management
Studijní obor: Elektroenergetika

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 5. srpna 2020

Bc. Zbyněk Svoboda

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Mgr. Ing. Vítu Kleinovi, Ph.D., za vstřícný přístup, poskytnuté rady a připomínky k práci. Děkuji Ing. Petru Kočárníkovi, Ph.D., za rady poskytnuté při tvorbě praktické části diplomové práce a především své rodině za veškerou podporu.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Svoboda** Jméno: **Zbyněk** Osobní číslo: **457063**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Elektroenergetika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Nevyužitý hydropotenciál v ČR a energetické využití vodních zdymadel.

Název diplomové práce anglicky:

Unused hydropotential in the Czech Republic and energy potential of water locks.

Pokyny pro vypracování:

- 1) Současný stav využití hydropotenciálu v ČR.
- 2) Analýza nevyužitého hydropotenciálu Vltavy.
- 3) Návrh využití vodního zdymadla jako zdroje elektrické energie.
- 4) Ekonomické zhodnocení a proveditelnost návrhu.

Seznam doporučené literatury:

1. MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
2. Projekt „Analýza efektivního využití malých vodních elektráren z hlediska přírodního potenciálu vodních toků jako energetického zdroje.“ Ministerstvo životního prostředí [online]. 2014 [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/vodni_elektrarny_vyuziti_analyza
3. PANDEY, Bikash a Ajoy KARKI. Hydroelectric energy: renewable energy and the environment. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017. ISBN 978-1-4398-1167-2.
4. ŠKORPIL, Jan a Milan KASÁRNÍK. Obnovitelné zdroje energie I.: Vodní elektrárny. 2. vyd. přeprac. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-708-2675-4.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D., katedra elektroenergetiky FEL

Jméno a pracoviště druhého(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **10.02.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **14.08.2020**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2021**

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Nevyužitý hydropotenciál v ČR a energetické využití vodních zdymadel

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá otázkou možností zvyšování využití hydroenergetického potenciálu již využívaných velkých vodních toků. První část je zaměřena na analýzu celkového stavu využití hydropotenciálu v ČR se zaměřením na řeku Vltavu a její vodní díla. Druhá část se zabývá návrhem matematického modelu malé vodní elektrárny využívající cyklů plavebních komor. K tomuto účelu byl využit program Matlab Simulink. Navrhovaný model byl umístěn do lokace vodního díla Štvanice. Poslední část je zaměřena na ekonomické zhodnocení a celkovou proveditelnost návrhu.

Klíčová slova: Vltava, voda, energie, vodní elektrárna, plavební komora, vodní dílo Štvanice

Unused hydropotential in the Czech Republic and energy potential of water locks

Annotation

This diplom thesis deals with the possibility of increasing the use of hydropower potential of already utilised large water courses. The first part deals with the analysis of the general state of use of hydropotential in the Czech Republic with a focus on the Vltava river and its water dams. The second part deals with the design of a mathematical model of a small hydroelectric power plant using cycles of water locks. The Matlab Simulink program was used for this purpose. The proposed model was placed in the location of the Štvanice water dam. The last part deals with the economic evaluation and the overall feasibility of the proposal.

Keywords: Vltava, water, energy, hydropower plant, water lock, water dam Štvanice

Obsah

Seznam použitých symbolů, zkratek a veličin

1 Úvod.....	1
1.1 Cíl práce	1
2 Vodní energie a její využití pro výrobu elektrické energie	3
2.1 Vodní energie	3
2.1.1 Význam vodní energie v ČR.....	4
2.1.1.1 Výhody a nevýhody VE	5
2.2 Rozdělení vodních elektráren.....	6
2.3 Potenciální energie vodního toku.....	11
3 Současný stav využití hydropotenciálu v ČR	13
4 Analýza nevyužitého hydropotenciálu Vltavy	16
4.1 Definice vodního díla.....	17
4.2 Vodní díla na Vltavě.....	18
4.2.1 VD Vraňany-Hořín	18
4.2.2 VD Měřejovice	20
4.2.3 VD Libčice-Dolany.....	21
4.2.4 VD Klecany	23
4.2.5 VD Trója-Podbaba	24
4.2.6 VD Štvanice	26
4.2.7 VD Smíchov	28
4.2.8 VD Modřany	29
4.2.9 VD Vrané nad Vltavou	30
4.2.10 VD Štěchovice	32
4.2.11 VD Slapy.....	34
4.2.12 VD Kamýk.....	35
4.2.13 VD Orlík	36
4.2.14 VD Kořensko	38
4.2.15 Hněvkovice jez	39
4.2.16 VD Hněvkovice	40
4.2.17 VD Hluboká nad Vltavou	41
4.2.18 VD České Vrbné.....	43
4.2.19 Jiráskův jez	44
4.2.20 Trilčův jez.....	45
4.2.21 Jez Rožnov.....	46
4.2.22 Jez Planá	47

4.2.23	Jez Zátkův mlýn.....	48
4.2.24	Jez U Rybů.....	49
4.2.25	Jez Zlatá Koruna.....	50
4.2.26	Jez Jelení lávka.....	51
4.2.27	Jezy Mrázkův mlýn, U Liry, Na Rechlich.....	52
4.2.28	Jez U Papouščí skály.....	53
4.2.29	Jez Pečkovský mlýn.....	54
4.2.30	Jez Rožmberk.....	55
4.2.31	Jez Herbertov.....	56
4.2.32	Jez U Bílého mlýna.....	57
4.2.33	VD Lipno II.	58
4.2.34	Spirův jez.....	59
4.2.35	Loučovické jezy.....	61
4.2.36	VD Lipno I.....	61
4.3	Kritéria hodnocení využití hydropotenciálu VD.....	64
4.4	Vyhodnocení analýzy.....	64
4.4.1	Současný stav využití hydropotenciálu Vltavy.....	64
4.4.2	Možnosti rozšiřování využití energetického potenciálu Vltavy.....	65
5	Návrh využití vodního zdymadla jako zdroje elektrické energie.....	66
5.1	Vodní zdymadlo.....	66
5.2	Definování plavební komory pro účely výroby elektrické energie.....	66
5.3	Model vodní elektrárny využívající cyklů plavební komory.....	66
5.3.1	Zjednodušující předpoklady.....	67
5.3.2	Matematický model napouštění PK Štvanice.....	69
5.3.2.1	Bernoulliho rovnice pro nátok.....	70
5.3.2.2	Výpočet výšky vody v PK nad minimální hladinou.....	71
5.3.2.3	Výpočet měrné ztrátové energie v přivaděči do PK.....	72
5.3.2.4	Výpočet měrné energie turbíny.....	79
5.3.2.5	Výkon turbíny.....	82
5.3.2.6	Elektrický výkon na svorkách generátoru.....	82
5.3.2.7	Vyrobená elektrická energie.....	83
5.3.3	Matematický model vypouštění VPK Štvanice.....	84
5.3.3.1	Bernoulliho rovnice pro výtok.....	84
5.3.3.2	Výpočet výšky vody v PK nad minimální hladinou.....	86
5.3.3.3	Výpočet měrné ztrátové energie ve výtoku z PK.....	87
5.3.3.4	Výpočet měrné energie turbíny.....	90
5.3.3.5	Výkon turbíny.....	90
5.3.3.6	Elektrický výkon na svorkách generátoru.....	91

5.3.3.7	Vyrobena elektrická energie.....	91
5.4	Výstupní hodnoty z matematického modelu.....	92
5.4.1	Časové průběhy veličin modelu napouštění VPK Štvanice.....	92
5.4.1.1	Popis časových průběhů.....	93
5.4.2	Časové průběhy veličin -porovnání napouštění a vypouštění VPK	94
6	Ekonomické zhodnocení a proveditelnost návrhu	97
6.1	Spotřeba elektrické energie PK Štvanice	97
6.1.1	Průměrná spotřeba elektrické energie na jednu proplavenou komoru.....	98
6.2	Vyrobena elektrická energie	99
6.2.1	Průměrná minimální vyrobena energie pomocí jednoho cyklu PK	99
6.2.2	Závislost vyrobena elektrické energie na délce cyklu PK	101
6.2.3	Prodloužení času cyklu PK.....	103
6.2.3.1	Průměrný čas prodloužení cyklu PK.....	103
6.3	Ekonomické zhodnocení	104
6.4	Zhodnocení proveditelnosti	108
7	Závěr.....	110
	Seznam použité literatury	112
	Přehled grafů.....	122
	Přehled obrázků	123
	Přehled tabulek	126
	Seznam příloh.....	128
	Přílohy	

Seznam použitých symbolů, zkratek a veličin

Zkratka	Název/Popis
CF	cash flow
CMPK	celkový počet proplavených malých komor
CPK	celkový počet proplavených komor
CS	celková spotřeba
CVPK	celkový počet proplavených velkých komor
CVYMPK	celkový počet výrobních malých plavebních komor
CVYPK	celkový počet výrobních plavebních komor
ČR	Česká republika
ČSN	Česká státní norma
ČVUT	České vysoké učení technické
DP	diplomová práce
DVE	domácí vodní elektrárna
EU	Evropská unie
FEL	Fakulta elektrotechnická
IN	investiční výdaj
IRR	vnitřní výnosové procento
JE	jaderná elektrárna
MPK	malá plavební komora
MVE	malá vodní elektrárna
NPV	čistá současná hodnota
OZE	obnovitelné zdroje energie
PK	plavební komora
PS	průměrná spotřeba
PVE	přečerpávací vodní elektrárna
PVL	Povodí Vltavy
VD	vodní dílo
VE	vodní elektrárna
VPK	velká plavební komora

1 Úvod

V současné době je elektřina každodenní součástí našeho života a nároky na její spotřebu se každým dnem zvyšují. V současné době jsou primárním zdrojem elektrické energie tepelné elektrárny na fosilní paliva. Ačkoliv nyní žijeme v energetickém dostatku a jsme i jejím exportérem, nemusí tomu tak být napořád. Zásoby uhelných dolů se pomalu tenčí a životnost elektráren také není nekonečně dlouhá. Je tedy nutné začít hledat nové zdroje.

Směr Evropské unie v rámci energetiky se upíná ke snižování uhlíkové náročnosti a podpoře obnovitelných zdrojů elektrické energie. K tomu dopomáhají oficiální cíle, které stanovují zvyšování podílu obnovitelných zdrojů energie (dále OZE). V současné době se završuje cíl 20 20 20, který stanovuje do roku 2020 zvýšení podílu OZE v celkové spotřebě v EU na 20 %, zvýšení energetické účinnosti v Evropě o 20 % a snížení emisí skleníkových plynů o 20 % oproti úrovni z roku 1990.¹ Navazujícím cílem je pak zvýšení podílu OZE na 32 % celkové konečné spotřeby el. energie v EU.² Dle proporcionálního rozdělení platí pro ČR limity 13 % (z celkových 20 %) pro cíl 20 20 20 a (dle stejného způsobu přepočtu) následné zvýšení na 20,8 % do roku 2030.³

Voda je naší nedílnou součástí, bez ní by život nemohl existovat. Lidstvo se naučilo vodu využívat nejen ke svému přežití, ale i jako nedocenitelný zdroj energie, který je navíc v souladu s cíli EU.

Ačkoliv rozvoj vodohospodářství doznal v dnešní době stagnace, bude význam vodních elektráren díky podpoře OZE opět stoupat. Je tedy nezbytné zjistit, jakým směrem by se Česká republika měla vydat pro zhodnocení a zvýšení využití svého hydroenergetického potenciálu.

1.1 Cíl práce

Vlastní cíle DP byly v oficiálním zadání uvedeny takto:

- Současný stav využití hydropotenciálu v ČR
- Analýza nevyužitého hydropotenciálu Vltavy
- Návrh využití vodního zdymadla jako zdroje elektrické energie
- Ekonomické zhodnocení a proveditelnost návrhu

¹ 20 20 20 do roku 2020: šance pro zelenou Evropu. *Evropský parlament* [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+IM-PRESS+20080122IPR19355+0+DOC+XML+V0//CS>

² TRNAVSKÝ, Jiří. Podíl OZE v Evropě roste pomalu. *Energie 21: Časopis obnovitelných zdrojů energie* [online]. Profi Press s. r. o., 2013-2019 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.energie21.cz/podil-oze-v-evrope-i-v-cesku-roste-pomalu/>

³ *Rozvoj podporovaných zdrojů energie do roku 2030*. Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2019.

První a druhý bod se zabývá zhodnocením současného stavu využití hydropotenciálu v České republice se zaměřením na využití Vltavy pro výrobu elektrické energie a jejího možného zvýšení.

Třetí bod zahrnuje definici vodního zdymadla, možnosti zvýšení jeho energetického využití a návrh matematického modelu využívající cyklů plavebních komor Štvanice.

Poslední bod obsahuje ekonomické posouzení a technické zhodnocení životaschopnosti modelového návrhu.

2 Vodní energie a její využití pro výrobu elektrické energie

2.1 Vodní energie

Vodní energie je v historii lidstva nejdéle využívaným zdrojem energie.⁴ Její využívání je neoddelitelně spjata s vývojem civilizace a datuje se do doby více než 500 let před naším letopočtem, kdy ji starověcí Chaldejci využívali k potřebnému zavlažování.^{5,6} Voda se z hlediska využití řadí mezi obnovitelné (nevyčerpatelné) zdroje energie (dále OZE). Největší význam má z hlediska technického využití mechanická energie vodních toků, která je neustále obnovována díky koloběhu vody v přírodě⁷ a spolu s mechanickou energií vodních srážek, ledovců a moří tvoří celkovou mechanickou energii vod.⁸ Původcem cyklu vody v přírodě je sluneční záření, z jehož energie $3,9 \cdot 10^6$ EJ ročně dopadající na povrch Země je pro tvorbu srážek spotřebováno asi 22 %.⁹ Ve formě srážek dopadne na pevninu přibližně 1/5 z celkového odpařeného množství vody, což odpovídá asi $1,06 \cdot 10^{14}$ m³. Z tohoto množství se přibližně 68 % opět vypaří, 31 % odteče v řekách do moře a 1 % dosáhne moře jako podzemní tok.¹⁰

⁴ ŠKORPIL, Jan a Milan KASÁRNÍK. *Obnovitelné zdroje energie I.* 2. vyd. přeprac. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-708-2675-4.

⁵ MELICHAR, Jan. *Malé vodní turbíny.* Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN 80-010-1403-7.

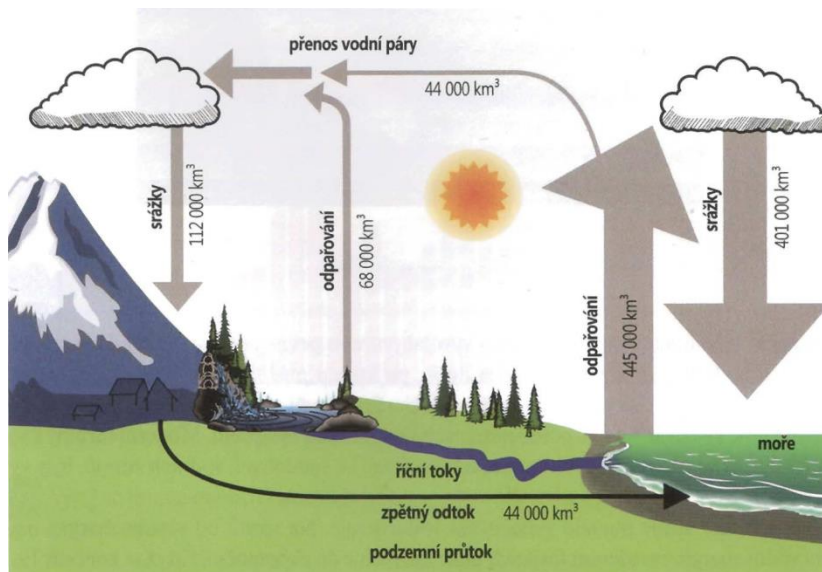
⁶ LAIKA, Viktor. Historické mezníky. *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/uvod/stoleti.htm>

⁷ ŠKORPIL, Jan a Milan KASÁRNÍK. *Obnovitelné zdroje energie I.* 2. vyd. přeprac. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-708-2675-4.

⁸ MELICHAR, Jan. *Malé vodní turbíny.* Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN 80-010-1403-7.

⁹ WAGNER, Hermann-Josef a Jyortirmay MATHUR. *Introduction to hydro energy systems basics, technology and operation.* 1., st Edition. Berlin: Springer, 2011. ISBN 978-364-2207-082.

¹⁰ ŠKORPIL, Jan a Milan KASÁRNÍK. *Obnovitelné zdroje energie I.* 2. vyd. přeprac. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-708-2675-4.



Obrázek 1: Cyklus vody v přírodě¹¹

2.1.1 Význam vodní energie v ČR

Díky hydrologickým podmínkám nelze v ČR uvažovat o vodní energii jako o objemovém zdroji elektrické energie, jaký poskytují například jaderné, či uhelné elektrárny, ale jako o zdroji doplňkovém, který je schopen velmi pohotově reagovat na okamžité požadavky na spotřebu elektrické energie.¹²

Kromě zpracování mechanické energie vody mají vodní elektrárny (dále VE) i vodohospodářský význam. Nejvýznamnějším podílem přispívají VE akumulárního typu, jejichž nedílnou součástí je vodní nádrž. Celé vodní dílo pak přispívá ke stabilizaci průtoku vody říčním korytem, chrání před povodňovými vlnami, podporuje plavební možnosti vodních toků, je zdrojem pitné vody a jeho břehy slouží mimo jiné i jako rekreační oblasti.¹³

Ačkoliv je energie vody využívána již více než 2,5 tisíce let,¹⁴ vývoj využití byl nerovnoměrný a poměrně pomalý. Přelomovým obdobím se stala průmyslová revoluce, kdy v roce 1827 byla sestrojena první přetlaková turbína následována v roce 1874 turbínou Francisovou, využívanou do dnešních dob. Do té doby se efektivnost využití vodní energie zvyšovala pouze velikostí vodních kol. Nárůst významu hydroenergetiky šel ruku v ruce

¹¹ QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.

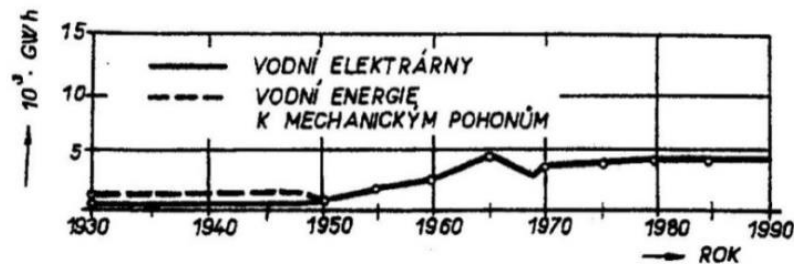
¹² MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

¹³ MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

¹⁴ LAIKA, Viktor. *Historické mezníky. Abeceda malých vodních pohonů* [online]. [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/uvod/stoleti.htm>

s rozvojem elektrizační soustavy, která umožnila rovnoměrné využití vyrobené elektrické energie jak z velkých, tak z malých zdrojů.¹⁵

V ČR došlo k propojení izolovaně pracujících energetických soustav až v polovině dvacátého století.¹⁶ V přístupu k využití vodní energie byl zlomový rok 1950, kdy elektrická energie vyrobená vodními elektrárnami přesáhla energii vody využívanou k mechanickým pohonům.¹⁷



Obrázek 2: Výroba elektrické energie ve vodních elektrárnách do roku 1990¹⁸

2.1.1.1 Výhody a nevýhody VE

Ačkoliv mají VE mnoho výhod (viz výše), je nutné počítat i s jejich zápory. Tím největším je trvalý zásah do krajiny, především u akumulčních elektráren bývá většího rázu, a ovlivňování spodních vod.¹⁹

Největší výhodou VE, oproti jiným OZE, je veliká flexibilita. Pro svůj provoz nepotřebují aktuální sluneční záření a mohou vyrábět i v nočních hodinách. Další jejich vlastností je schopnost startu „ze tmy“, což je výhoda například oproti tepelným elektrárnám na biomasu.

¹⁵ ŠAMÁNEK, Libor. Využití energie vody. KOLEKTIV AUTORŮ, . *Obnovitelné zdroje energie a možnost jejich uplatnění v České republice* [online]. Praha: ČEZ, 2007, s. 43-78 [cit. 2020-01-04].

¹⁶ ŠAMÁNEK, Libor. Využití energie vody. KOLEKTIV AUTORŮ, . *Obnovitelné zdroje energie a možnost jejich uplatnění v České republice* [online]. Praha: ČEZ, 2007, s. 43-78 [cit. 2020-01-04].

¹⁷ MELICHAR, Jan. *Malé vodní turbíny*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN 80-010-1403-7.

¹⁸ MELICHAR, Jan. *Malé vodní turbíny*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN 80-010-1403-7.

¹⁹ KOČÁRNÍK, Petr. *Strojní struktury elektráren*. Praha, 2017, 16 s. Materiál k přednáškám z předmětu SSE.

2.2 Rozdělení vodních elektráren

Vodní elektrárny se nejčastěji dělí podle tří základních kritérií^{20, 21}

1) Podle velikosti instalovaného výkonu – v ČR určeno dle ČSN 75 0120²²

- Domácí: $P \leq 35 \text{ kW}$
- Malá $35 \text{ kW} < P \leq 10 \text{ MW}$
- Střední $10 \text{ MW} < P \leq 200 \text{ MW}$
- Velká $200 \text{ MW} < P$

2) Podle charakteru pracovního režimu a získaného spádu

Kritériem je způsob soustředění vodní energie a přívod vody

- Průtočné – tento typ VE má jen omezené regulační vlastnosti. Maximální výkon je dán aktuální hodnotou průtoku. Regulace na snížení výkonu je vždy ztrátová, protože všechna voda nevyužitá k výrobě el. energie je bez užitku pouštěna dále. Proto se tento typ VE využívá v základní oblasti diagramu zatížení.²³
 - Zdržové – spád je vytvořen jezem. Např. MVE Hučák v Hradci Králové, či MVE Troja na Císařském ostrově.
 - Derivační – voda je odvedena uměle vybudovaným kanálem a po průchodu elektrárnou je navracena zpět do řeky. Příkladem může být MVE Podbaba, která je umístěna v bocích velké plavební komory tamního zdymadla.
 - MVE Podbaba je v provozu od roku 1995,²⁴ kdy probíhala rekonstrukce velké plavební komory a její zužování na standardizovanou šířku 12 m používanou plavebními komorami v ČR.

Většina průtočných VE u nás je zdržového typu s malým spádem. U nich se s průtokem velikost spádu mění a při velkých hodnotách průtoku, způsobených povodněmi, může dojít k vyrovnání hladin a tím dosažení nulového spádu. Výkon nejprve s rostoucím průtokem

²⁰ KOČÁRNÍK, Petr. *Strojní struktury elektráren*. Praha, 2017, 16 s. Materiál k přednáškám z předmětu SSE.

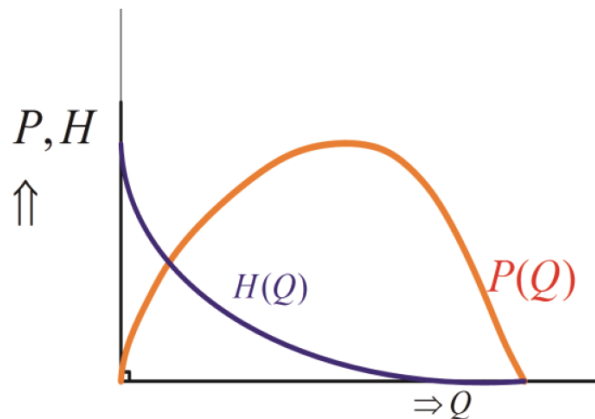
²¹ VOBOŘIL, David. Vodní elektrárny - princip, rozdělení, elektrárny v ČR. *O energetice* [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni>

²² ČSN 75 0120. *Vodní hospodářství*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2009, 166 s.

²³ MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

²⁴ Vltavská vodní cesta. *Povodil Vltavy* [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/vodohospodarske-informace/vodni-dila/vltavska-vodni-cesta/vodni-dilo-podbaba>

stoupá a po překročení určité velikosti průtoku, který je pro každé dílo specifický, opět klesá až k nulové hodnotě.²⁵



Obrázek 3: Závislost výkonu a spádu na průtoku²⁶

- Akumulační – jejich výhodou je možnost akumulace energie ve vybudované nádrži. Slouží k pokrývání pološpičkové až špičkové části denního diagramu zatížení.
 - Přehradní – přehrazují hlavní tok řeky. Vytvářejí velké vodní nádrže. V ČR se jedná například o VE Lipno, VE Orlický,...
 - Derivační – na umělém korytu je vybudována akumulace nádrže. Ačkoliv nedosahují takových objemů akumulované energie, je výhodou zachování původního toku. (DVE Opavenský mlýn)

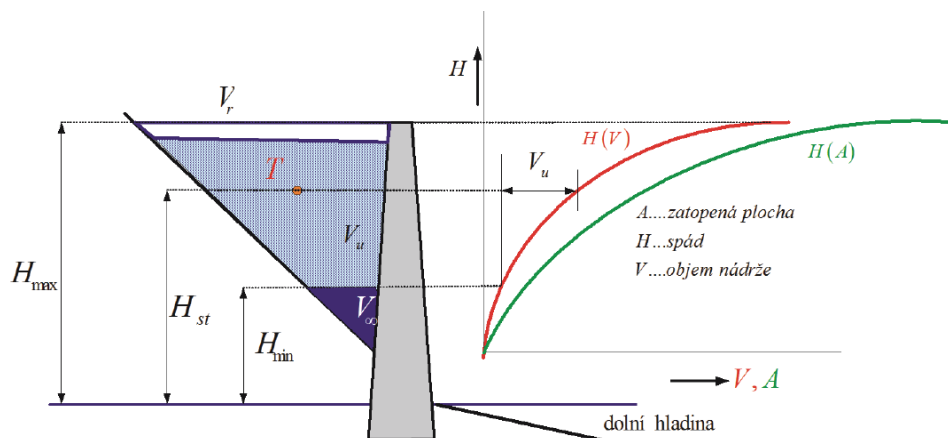
Objem nádrže musí zajistit akumulaci energie po předem stanovenou dobu, která se může pohybovat v rozmezí dní, týdnů, či měsíců, záleží na velikosti vodního díla a lze ho dělit na tři typy.²⁷

- Objem stálého zadržení V_{∞} : Tento objem vody se z nádrže neodebírání. Je určen nejnižší danou hladinou pro odběr vody.
- Užitečný objem V_u : Dán rozmezím nejvyšší a nejnižší provozní hladiny.
- Ochranný (retenční) objem V_r : Slouží k eliminaci povodňových jevů a ochraně povodí pod vodním dílem.²⁸

²⁵ MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

²⁶ MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

²⁷ MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.



Obrázek 4: Znázornění objemů akumulční nádrže²⁹

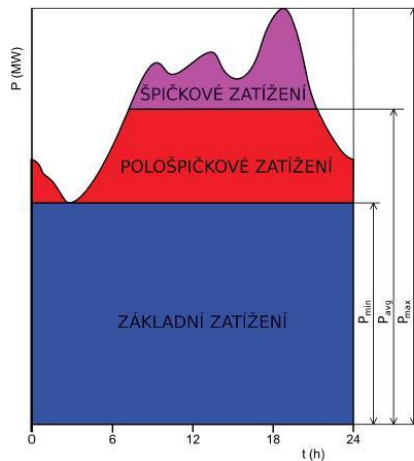
- Přečerpávací – speciální druh akumulční VE. Slouží k akumulaci elektrické energie v podobě potenciální energie. Využívají dvě vodní nádrže zbudované v různých nadmořských výškách. Slouží k pokrývání špičkových zatížení a rychlých výkonových změn denního diagramu.³⁰ Nejznámějšími zástupci tohoto typu VE v ČR jsou PVE Dlouhá stráně, či PVE Štěchovice II
- Slapové – nebo také přílivové. Využívají slapové energie způsobené přílivem a odlivem. V ČR se s nimi díky geografické poloze nesetkáme.³¹

²⁸ MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

²⁹ MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

³⁰ MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

³¹ VOBOŘIL, David. Vodní elektrárny - princip, rozdělení, elektrárny v ČR. *O energetice* [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni>



- Přecherřávací vodní elektrárny
- Akumulační vodní elektrárny
- Akumulační vodní elektrárny
- PPC a plynové elektrárny
- Uhelné a jaderné elektrárny
- Prútočné vodní elektrárny

Obrázek 5: Denní diagram zatížení³²

3) Podle velikosti získaného spádu³³

- Nízkořlaké: $H \leq 20$ m
- Sřředořlaké: $20 \text{ m} < H \leq 100$ m
- Vysokořlaké: $100 \text{ m} < H$

Vodní elektrárny lze dále dělit dle:^{34, 35}

- Umístění strojovny³⁶
 - Hrázové – strojovna je umístěna u hráze, v jejím tělese, či v přelivových bocích
 - Jezové – strojovna je v těsné blízkosti jezu nebo přímo ve spodní stavbě
 - Věžové – objekt ve tvaru věže, ve kterém se nachází strojovna, je umístěn v nádrži, zdrži, či v břehové části
 - Břehové – strojovna je umístěna v břehové části jezu
 - Členěné – rozdělení strojovny na několik částí, například umístění na oba břehy
 - Pilířové – umístění strojovny je v pilířích přelévané hráze nebo jezu
 - Plovoucí – soustrojí je umístěné například na pontonu

³² PROCHÁZKA, Radek. Elektroenergetika 1. *PowerWiki* [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <http://www.powerwiki.cz/attach/EN1Podklady/Elektroenergetika-1-Zakladni%20pojmy%20a%20definice.pdf>

³³ ČSN 75 0120. *Vodní hospodářství*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2009, 166 s.

³⁴ MELICHAR, Jan. *Malé vodní turbíny*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN 80-010-1403-7.

³⁵ KOČÁRNÍK, Petr. *Strojní struktury elektráren*. Praha, 2017, 16 s. Materiál k přednáškám z předmětu SSE.

³⁶ MELICHAR, Jan. *Malé vodní turbíny*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN 80-010-1403-7.

- Individuální – strojovna umístěna v rekonstruovaném objektu (bývalý mlýn)
- Uspořádání strojovny ³⁷
 - Kryté – budova strojovny
 - Nekryté – s odnímatelnými kryty
 - Polokryté – s minimální výškou strojovny
 - Přeléváné – strojovna pod přelivy jezu nebo hráze
 - Sdružené – ve spodní stavbě jsou kromě soustrojí umístěny například i výpusti
- Podle řízení provozu ³⁸
 - S ručním ovládním
 - Automatizované
 - Částečně automatizované
- Podle zapojení a provozovatele
 - Připojené na síť ³⁹
 - Elektrizační soustavy – pracují zejména podle potřeb elektrizační soustavy
 - Závodní – slouží převážně pro oblastní účely provozovatele
 - Soukromé – zapojeny do vyčleněné elektrizační sítě
 - Autonomní (off-grid) systém – využívají především domácí VE

³⁷ MELICHAR, Jan. *Malé vodní turbíny*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN 80-010-1403-7.

³⁸ MELICHAR, Jan. *Malé vodní turbíny*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN 80-010-1403-7.

³⁹ MELICHAR, Jan. *Malé vodní turbíny*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN 80-010-1403-7.

2.3 Potenciální energie vodního toku

Pro správný návrh vodního díla je zapotřebí znát hydroenergetický potenciál daného úseku vodního toku. Ten lze stanovit pomocí měrné energie a průtoku vody daným úsekem. Dle Bernoulliho rovnice má měrná energie tři složky, potenciální, tlakovou a kinetickou. Ty lze vyjádřit vztahem:⁴⁰

$$e_H = gH + \frac{p}{\rho} + \frac{c^2}{2} \quad [J \cdot kg^{-1}] \quad (1)$$

g.....tíhové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$] ($g = 9,81 m \cdot s^{-2}$)

H.....výška nad srovnávací hladinou [m]

p.....tlak [$N \cdot m^{-2}$]

c.....rychlost [$m \cdot s^{-1}$]

ρhustota vody [$kg \cdot m^{-3}$] (Nejčastěji se udává $1000 kg \cdot m^{-3}$)

Teoretický hydroenergetický potenciál vodního díla, podle kterého se hodnotí jeho možnosti, se stanoví jako integrál potenciálů jednotlivých úseků vodního toku dle vztahu:⁴¹

$$P_T = g \cdot \rho \cdot \int_0^H Q(H) dH \quad [W] \quad (2)$$

g.....tíhové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$] ($g = 9,81 m \cdot s^{-2}$)

ρhustota vody [$kg \cdot m^{-3}$] (Nejčastěji se udává $1000 kg \cdot m^{-3}$)

Q (H)....střední objemový průtok elementárního úseku toku [$m^3 \cdot s^{-1}$]

H, dH....geodetický spád mezi začátkem a koncem toku a jeho element [m]

Průtoky pro výpočty se určují z dlouhodobých hydrometeorologických měření, z nichž se stanovují chronologické čáry průtoku a křivka trvání.⁴² Pro stanovení potenciální energie toku se využívají průtoky Q25%, Q50% a Q95%.⁴³ x% znamená, v kolika případech je daný

⁴⁰ MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

⁴¹ MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

⁴² MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

⁴³ MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

průtok překročen → tedy Q95% je roven průtoku, který bude s 95% pravděpodobností překročen.⁴⁴

Jednodušším způsobem je stanovení pouze potenciální energie vodního díla. Tu lze stanovit na základě fyzikálních poznatků, pomocí kterých lze vypočítat práci, kterou vykoná elementární úsek toku dl o konstantním průřezu S.⁴⁵ Vykonanou práci lze popsat vztahem:

$$A_i = dl \cdot S \cdot \rho \cdot g \cdot (H_a - H_b) = V \cdot \rho \cdot g \cdot \Delta H = V \cdot \rho \cdot e \quad [Ws] \quad (3)$$

- A_ivykonaná práce [Ws]
 dlelementární úsek toku [m]
 Sprůřez toku [m²]
 ρhustota vody [kg·m³]
 gtíhové zrychlení
 H_avýška těžiště v počátku [m]
 H_bvýška těžiště na konci [m]
 ΔHrozdíl výšek [m]
 eměrná energie (vztažená na 1 kg vody) [J·kg⁻¹]
 Vobjem vody v elementárním úseku [m³]

Vykonané práci odpovídá výkon

$$P_i = \frac{A_i}{t} = \frac{V}{t} \cdot \rho \cdot g \cdot \Delta H = Q \cdot \rho \cdot g \cdot \Delta H = Q \cdot \rho \cdot e \quad [W] \quad (4)$$

- tčas [s]
 Qprůtok vody [m³·s⁻¹]

⁴⁴ MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

⁴⁵ ŠKORPIL, Jan a Milan KASÁRNÍK. *Obnovitelné zdroje energie I*. 2. vyd. přeprac. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-708-2675-4.

3 Současný stav využití hydropotenciálu v ČR

Pomocí vzorců a výpočtů (viz předchozí část) lze získat celkový teoretický hydroenergetický potenciál toků. Pro reálné využití s ním však nelze počítat, neboť bezztrátové čerpání vodní energie je nemožné. Po zahrnutí ztrát se jedná o technicky využitelný hydroenergetický potenciál. Pro finální analýzu je nutné také zhodnotit proveditelnost výstavby a další faktory. Z analýzy pro Českou republiku pro rok 1995 vyplývají hodnoty jednotlivých potenciálů takto: ^{46, 47}

- Teoretický hydroenergetický potenciál toků: 13,1 TWh/rok
- Technicky využitelný hydroenergetický potenciál toků: 3,38 TWh/rok
 - Výkon nad 10 MW: 1,81 TWh/rok
 - Výkon do 10 MW: 1,57 TWh/rok

Z celkových 86 988,7 GWh elektrické energie vyrobené v ČR v roce 2019 bylo pomocí vodních elektráren, včetně přečerpávacích, vyrobeno 3 174,7 GWh el. energie, což činí 3,6 % celkové výroby.⁴⁸

Velké vodní elektrárny (nad 10 MW) jsou u nás nenahraditelným zdrojem. Téměř polovina (49 %) využití vodní energie je získávána právě z vodních elektráren s výkonem nad 10 MW, kterých je v současné době na našem území dvanáct.^{49,50,51} Lokality pro výstavbu klasických velkých VE však byly vyčerpány již v průběhu 20. století, kdy poslední do

⁴⁶ ŠKORPIL, Jan a Milan KASÁRNÍK. *Obnovitelné zdroje energie I.* 2. vyd. přeprac. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-708-2675-4.

⁴⁷ LAIKA, Viktor. *Hydropotenciál Čech a Moravy. Abeceda malých vodních pohonů* [online]. [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/uvod/hydropotencial.htm>

⁴⁸ ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy ČR 2019*. 1. Praha, 2019. Dostupné také z: https://www.eru.cz/documents/10540/5381883/Rocni_zprava_provoz_ES_2019.pdf/debe8a88-e780-4c44-8336-a0b7bbd189bc

⁴⁹ Seznam vodních elektráren v Česku. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2020, 22. 7. 2020 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z:

https://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam_vodn%C3%ADch_elektr%C3%A1ren_v_%C4%8Cesku

⁵⁰ Projekt „Analýza efektivního využití malých vodních elektráren z hlediska přírodního potenciálu vodních toků jako energetického zdroje“. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 2008-2019 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/vodni_elektrarny_vyuziti_analyza

⁵¹ ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy ČR 2019*. 1. Praha, 2019. Dostupné také z: https://www.eru.cz/documents/10540/5381883/Rocni_zprava_provoz_ES_2019.pdf/debe8a88-e780-4c44-8336-a0b7bbd189bc

provozu uvedenou elektrárnou akumulčního typu byla VE Orlík v roce 1962.⁵² Jedinou možností stavby nových VE jsou elektrárny přečerpávací, jejichž realizace se setkává spíše s legislativními požadavky a ekologickými odpůrci a v současné době je díky tomu pouze ve stádiu úvah a studií.⁵³ Poslední u nás zbudovanou přečerpávací elektrárnou je PVE Dlouhé Stráně, která byla do provozu uvedena roku 1996.⁵⁴ Většina dosud nevyužitého hydropotenciálu je soustředěna na menších tocích, kde jsou příznivé podmínky pouze pro malé vodní elektrárny, jejich rozvoj byl na území ČR výrazný až od roku 1990.⁵⁵

Z celkového skutečně využitelného hydroenergetického potenciálu u nás je využito přibližně 50 %. Přijatelnější odhad zahrnující zhoršující se hydrologické podmínky a skutečný ještě využitelný spád uvažuje 70% využití současného stavu, tedy pouhých 30 % možnosti k dalšímu využití.⁵⁶

Nevyužitý hydropotenciál lze podle spádu rozdělit na 3 části

- Spád větší než 5 m: 10 %
- Spád od 2 do 5 m: 55 %
- Spád mešní než 2 m (extrémně nízké spády): 35 %

Významnou roli u nových investic zastává ekonomická stránka věci, kdy se realizace nových projektů z oblasti MVE budou vyznačovat delší dobou návratnosti, lze uvažovat až desítky let.⁵⁷ Z hlediska ekonomického pohledu je zlomovým bodem velikost spádu 2 m, pod kterou už se investice nevyplatí.⁵⁸

100% využití celkového potenciálu 1 570 GWh/rok⁵⁹ by však vyžadovalo plné pokrytí vodních toků stávajícími, i nově postavenými vzdouvacími objekty, které by na sebe

⁵² Vodní elektrárny v České republice: Kolik vyrobí elektřiny?. *Nazeleno: Chytrá řešení pro každého* [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/energie/vodni-energie/vodni-elektrarny-v-ceske-republice-kolik-vyrobi-elekriny.aspx>

⁵³ ŠAMÁNEK, Libor. Využití energie vody. KOLEKTIV AUTORŮ, . *Obnovitelné zdroje energie a možnost jejich uplatnění v České republice* [online]. Praha: ČEZ, 2007, s. 43-78 [cit. 2020-01-04].

⁵⁴ Vodní elektrárny v České republice: Kolik vyrobí elektřiny?. *Nazeleno: Chytrá řešení pro každého* [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/energie/vodni-energie/vodni-elektrarny-v-ceske-republice-kolik-vyrobi-elekriny.aspx>

⁵⁵ ŠAMÁNEK, Libor. Využití energie vody. KOLEKTIV AUTORŮ, . *Obnovitelné zdroje energie a možnost jejich uplatnění v České republice* [online]. Praha: ČEZ, 2007, s. 43-78 [cit. 2020-01-04].

⁵⁶ ŠAMÁNEK, Libor. Využití energie vody. KOLEKTIV AUTORŮ, . *Obnovitelné zdroje energie a možnost jejich uplatnění v České republice* [online]. Praha: ČEZ, 2007, s. 43-78 [cit. 2020-01-04].

⁵⁷ ŠAMÁNEK, Libor. Využití energie vody. KOLEKTIV AUTORŮ, . *Obnovitelné zdroje energie a možnost jejich uplatnění v České republice* [online]. Praha: ČEZ, 2007, s. 43-78 [cit. 2020-01-04].

⁵⁸ ŠAMÁNEK, Libor. Využití energie vody. KOLEKTIV AUTORŮ, . *Obnovitelné zdroje energie a možnost jejich uplatnění v České republice* [online]. Praha: ČEZ, 2007, s. 43-78 [cit. 2020-01-04].

⁵⁹ LAIKA, Viktor. Hydropotenciál Čech a Moravy. *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/uvod/hydropotencial.htm>

navzájem navazovaly. Tato možnost je nereálná. Výstavba nových vodních děl se v současné době shledává především s mnohými legislativními problémy. Problém bývá především u vodoprávních orgánů, které nové vzdouvací stavby povolují jen zřídka.⁶⁰

Pro navyšování počtu vodních děl jako energetického zdroje je tedy nutné hledat stávající, energeticky nevyužité objekty, jezy, lokality po bývalých vodních dílech, či zastaralá avšak stále fungující soustrojí, u kterých lze rekonstrukcí zvýšit jejich účinnost.⁶¹

⁶⁰ ŠAMÁNEK, Libor. Využití energie vody. KOLEKTIV AUTORŮ, . *Obnovitelné zdroje energie a možnost jejich uplatnění v České republice* [online]. Praha: ČEZ, 2007, s. 43-78 [cit. 2020-01-04].

⁶¹ ŠAMÁNEK, Libor. Využití energie vody. KOLEKTIV AUTORŮ, . *Obnovitelné zdroje energie a možnost jejich uplatnění v České republice* [online]. Praha: ČEZ, 2007, s. 43-78 [cit. 2020-01-04].

4 Analýza nevyužitého hydropotenciálu Vltavy

Blíže zkoumaným vodním tokem pro účely diplomové práce (dále DP) byla zvolena řeka Vltava, která je se svou délkou 430,2 km nejdelší řekou na území ČR. Za „pramen“ Vltavy je označován soutok Teplé Vltavy a Studené Vltavy ve výšce 715,21 m. n. m. nedaleko obce Černý Kříž. U města Mělník ústí ve výšce 156,18 m. n. m. do Labe.⁶² Vltava je pro Českou republiku významná hned z několika důvodů. Při zanedbání historických argumentů, se mezi hlavní řadí:

- zásobování přilehlých měst vodou
- významný podíl výroby elektrické energie z vodních zdrojů ČR
- lodní doprava
 - nákladní
 - turistická

Z celkové délky 430,2 km je 376,7 km klasifikováno kategorií významný vodní tok.⁶³

Specifickou vlastností vodních toků je, že říční kilometr 0 je v místě ústí řeky a zvyšuje se proti proudu směrem k pramenu. Místo, po které je Vltava klasifikována jako významný vodní tok se nachází přibližně 5 km nad maximální hladinou vzduť vodní nádrže Lipno I.^{64, 65,}

66

Pro účely DP byla prováděna analýza energetického využití Vltavy pouze v části klasifikované do kategorie významných vodních toků.

Pro úspěšné vyhodnocení nevyužitého hydropotenciálu Vltavy bylo nutné klasifikovat všechna vodní díla včetně jejich energetického využití.

⁶² Vltava. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2019 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Vltava>

⁶³ ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). In: *Sbírka zákonů České republiky*. Česká republika, 2001, částka 98, číslo 254. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>

⁶⁴ Vltava. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2019 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Vltava>

⁶⁵ VD Lipno I. In: *Povodí Vltavy* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/lipno-i.pdf>

⁶⁶ ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 178/2012 Sb. Vyhláška, kterou se stanoví seznam významných vodních toků a způsob provádění činností souvisejících se správou vodních toků. In: *Sbírka zákonů České republiky*. Česká republika, 2012, částka 62, číslo 178. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-178>

4.1 Definice vodního díla

Dle zákona č. 254/2001 Sb., Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů, je vodní dílo definováno jako: „*Stavba, která slouží ke vzdouvání a zadržování vod, umělému usměrňování odtokového režimu povrchových vod, k ochraně a užívání vod, k nakládání s vodami, ochraně před škodlivými účinky vod, k úpravě vodních poměrů nebo k jiným účelům sledovaným tímto zákonem, a to zejména*

- a) přehrady, hráze, vodní nádrže, jezy a zdrže,*
- b) stavby, jimiž se upravují, mění nebo zřizují koryta vodních toků,*
- c) stavby vodovodních řadů a vodárenských objektů včetně úpraven vody, kanalizačních stok, kanalizačních objektů, čistíren odpadních vod, jakož i stavby k čištění odpadních vod před jejich vypouštěním do kanalizací,*
- d) stavby na ochranu před povodněmi,*
- e) stavby k vodohospodářským melioracím, zavlažování a odvodňování pozemků,*
- f) stavby, které se k plavebním účelům zřizují v korytech vodních toků nebo na jejich březích,*
- g) stavby k využití vodní energie a energetického potenciálu,*
- h) stavby odkališť,*
- i) stavby sloužící k pozorování stavu povrchových nebo podzemních vod,*
- j) studny,*
- k) stavby k hrzení bystrin a strží, pokud zvláštní zákon nestanoví jinak,*
- l) jiné stavby potřebné k nakládání s vodami povolovanému podle § 8.⁶⁷*

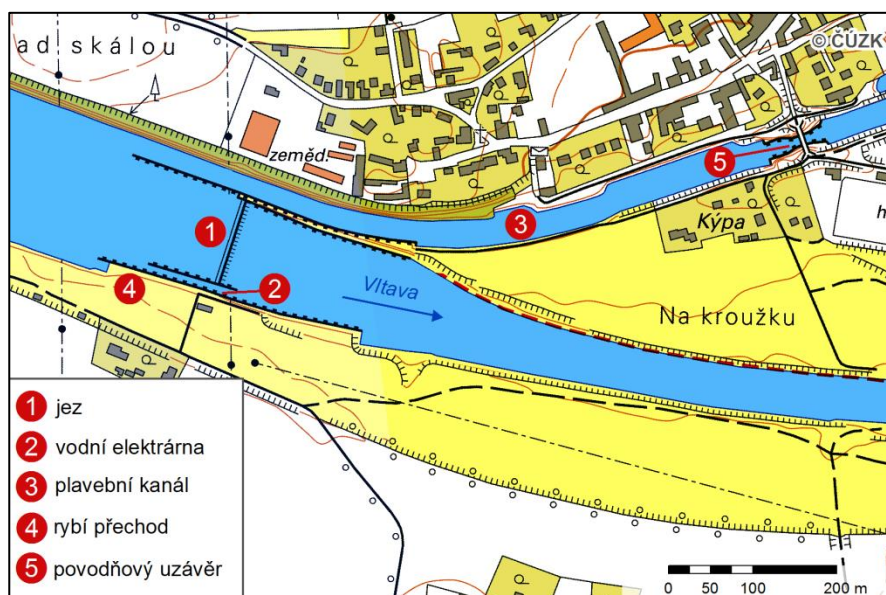
⁶⁷ ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). In: *Sbírka zákonů České republiky*. Česká republika, 2001, částka 98, číslo 254. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>

4.2 Vodní díla na Vltavě

Na délce 376,7 km vodního toku Vltavy se nachází celkem 40 vzdouvacích objektů. Seznam vodních děl a jejich poloha na vodním toku je uveden v tabulce v příloze (Příloha 1). Popis jednotlivých děl je uveden v pořadí shodném s přílohou, tedy od nultého říčního kilometru.

4.2.1 VD Vraňany-Hořín

Vodní dílo v lokalitě Vraňany-Hořín překonávající poslední úsek Vltavy bylo zbudované v letech 1902 – 1905 s primárním účelem zajištění splavnění posledních 11 km Vltavy v úseku mezi VD Mířejovice a soutokem Vltavy s Labem u Mělníka.



Obrázek 6: Jez Vraňany – mapa⁶⁸

Vzdutí vody a celkový spád 3,6 m zajišťuje jez Vraňany, který je pohyblivý, klapkového typu. V letech 1973 – 1984 prošel, z důvodů technické zastaralosti a tím i způsobených nekomfortnostem při jeho užívání, kompletní rekonstrukcí z původního hradlového typu do dnešní podoby. Součástí jezu byla malá plavební komora umístěná při pravém břehu, která v současné době slouží jako přívodní kanál do vtokové části malé vodní elektrárny.

MVE Dědibaby byla zbudována v letech 2004 – 2006, a v roce 2008 uvedena do provozu. Elektrárna je klasifikována jako nízkotlaká, průtočná malá vodní elektrárna a je

⁶⁸ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

osazena jedním soustrojím s přímoproudou Kaplanovou turbínou s celkovým výkonem 2 500 kW. Její provoz je řízen automaticky dle polohy hladiny vody v jezové nádrži.

Tabulka 1: Technické parametry MVE Dědibaby⁶⁹

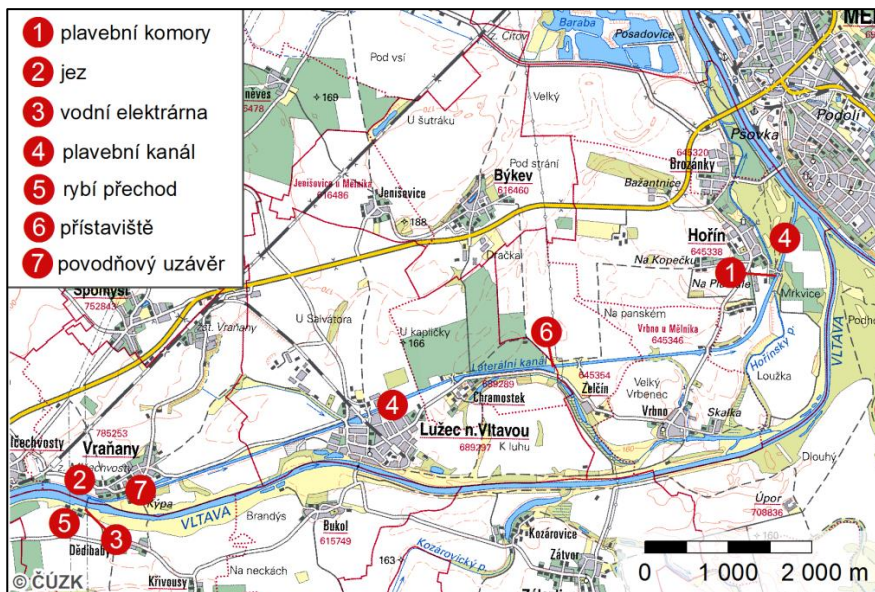
MVE Dědibaby - Technické parametry	
Umístění	Pravý břeh
Počet strojů	1
Typ turbíny	Přímoproudá Kaplanova turbína
Průměr oběžného kola	3 350 mm
Návrhový spád	3,60 m
Návrhový průtok	65 m ³ ·s ⁻¹
Celkový výkon	2 500 kW

Součástí VD jsou vedle sebe postavené plavební komory (velká a malá) (dále PK, VPK a MPK) umožňující splavnost celého Vraňansko-Hořinského plavebního kanálu. S překonaným spádem 8,8 m se jedná o nejvyšší plavební stupeň na Vltavě pod Prahou. Jelikož ani jedna z plavebních komor nevyhovuje parametrům požadovaným ve třídě Va vodních cest, v níž, dle Vyhlášky č. 222/1995 Sb., Vyhláška Ministerstva dopravy o vodních cestách, plavebním provozu v přístavech, společné havárii a dopravě nebezpečných věcí⁷⁰, musí být minimální šířka plavební komory 12 m, začala v roce 2019 rozsáhlá rekonstrukce pro zajištění požadované minimální užitkové šířky u obou komor a zvětšení dalších rozměrů plavební komory.⁷¹

⁶⁹ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

⁷⁰ ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 222/1995 Sb. Vyhláška Ministerstva dopravy o vodních cestách, plavebním provozu v přístavech, společné havárii a dopravě nebezpečných věcí. In: *Sbírka zákonů České republiky*. Česká republika, 1995, částka 61, číslo 222. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-222>

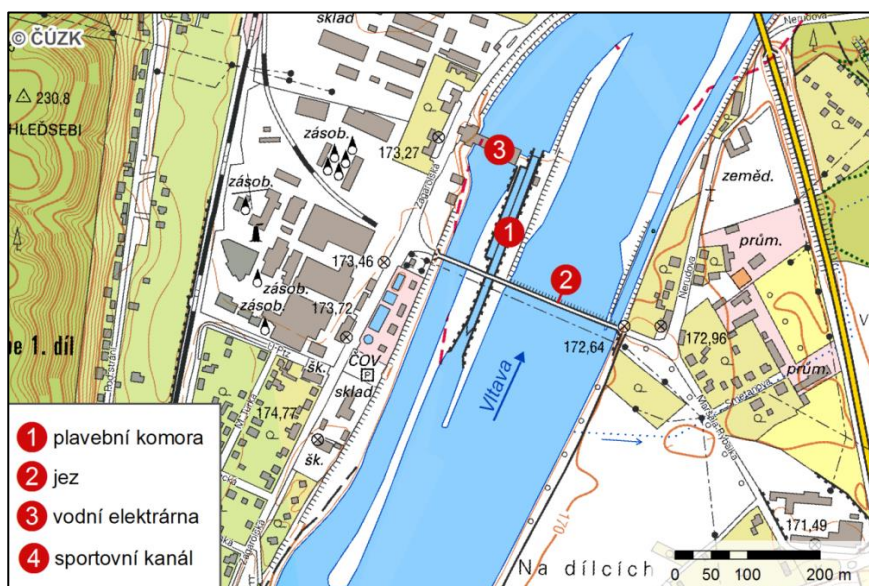
⁷¹ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>



Obrázek 7: VD Vraňany-Hořín – mapa⁷²

4.2.2 VD Miřejovice

Vodní dílo zbudované v letech 1901 – 1905 primárně určené k zajištění splavnosti toku, stabilizaci minimální hladiny a spádových poměrů vodní cesty. Rekonstrukce v letech 1928 – 1930 byla využita k jeho modernizaci a výstavbě malé vodní elektrárny. Jez zajišťující vzduť vody a spád 3,8 m je přímý, pohyblivý, situovaný kolmo na vodní tok.



Obrázek 8: VD Miřejovice – mapa⁷³

⁷² *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

⁷³ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

Na levém břehu řeky je vedle dolního ohlaví (místo, kde se nachází vrata plavební komory) velké plavební komory umístěna průtočná malá vodní elektrárna. Původní elektrárna, uvedená do provozu v roce 1929, byla osazena 5 Francisovými turbínami o celkovém výkonu 3,57 MW. Při rekonstrukci v průběhu 90. let 20. století byla osazena 4 Kaplanovými a 1 Francisovou turbínou s celkovým instalovaným výkonem 5,5 MW a celkovou roční výrobou 19,4 GWh.

Tabulka 2: Technické parametry MVE Mířejovice^{74, 75}

MVE Mířejovice - Technické parametry	
Umístění	Náhon – levý břeh
Počet strojů	4 + 1
Typ turbíny	4x Kaplanova turbína 1x Francisova turbína
Průměr oběžného kola	3 850 mm
Návrhový spád	3,90 m
Návrhový průtok	150 m ³ ·s ⁻¹
Celkový výkon	5 500 kW

Plavební komora se nachází mezi malou vodní elektrárnou a jezem. Jedná se o tzv. Vlakový typ plavební komory, což znamená, že malá a velká komora se nachází za sebou a lze je spojit v jednu velkou o celkové užité délce 215,8 m a spádu 3,8 m. Užité šířka v ohlaví je 11 m. Díky malé šířce a vertikálnímu omezení v podobě mostu přecházejícího přes plavební komoru jí nelze zařadit do plavební třídy Va.⁷⁶

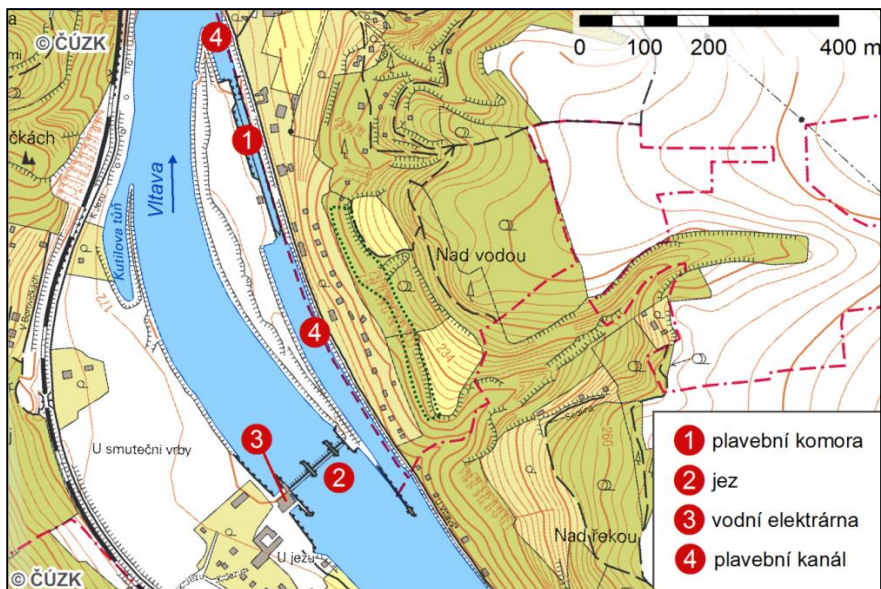
4.2.3 VD Libčice-Dolany

Na 28. kilometru vodního toku Vltavy se vyskytuje vodní dílo Libčice-Dolany postaveno v letech 1898 – 1900. Hlavními účely jsou zajištění úplné splavnosti řeky pod Prahou, stabilizace spádových poměrů říční tratě, odběru vody ze zdrže a v současné době též využití hydroenergetického potenciálu v MVE. Původní jez prošel v letech 1986 – 1989 celkovou rekonstrukcí a renovací, přičemž již bylo počítáno s výstavbou malé vodní elektrárny, která byla uvedena do provozu až v roce 1998.

⁷⁴ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

⁷⁵ Zdymadlo Mířejovice. *TV-ADams.wz.cz* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/vd/jez_mirejovice.html

⁷⁶ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>



Obrázek 9: VD Libčice-Dolany – mapa⁷⁷

MVE Libčice-Dolany, umístěná u levého břehu v prostoru bývalé vorové propusti se se svým výkonem 5 MW, strojovým uspořádáním se dvěma přímoproudými Kaplanovými turbínami, návrhým spádem 3,6 m a příslušným provozním režimem řadí do kategorie průtočných malých vodních elektráren.

Tabulka 3: Technické parametry MVE Libčice-Dolany⁷⁸

MVE Libčice-Dolany - Technické parametry	
Umístění	Levý břeh
Počet strojů	2
Typ turbíny	Kaplanova turbína
Návrhový spád	3,90 m
Provozní spád	2,3 – 4,2 m
Návrhový průtok	160 m ³ ·s ⁻¹
Celkový výkon	5 000 kW

Pro zajištění splavnosti je součástí vodního díla plavební komora. Nachází se ve spodní části plavebního kanálu zbudovaného při pravém břehu řeky. Stejně jako Miřejovická, je i plavební komora Dolánky vlakového typu. S celkovou užitnou délkou 199,1 m, užitnou

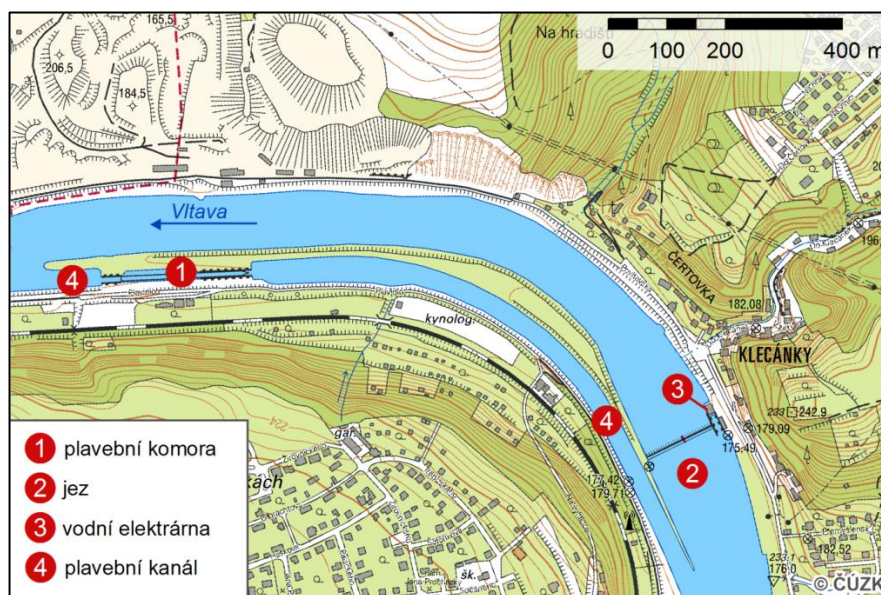
⁷⁷ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

⁷⁸ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

šířkou 11m a spádem 4,4 m se řadí do kategorie IV. třídy vodních cest. V současné době se uvažuje o výstavbě plavební komory odpovídající minimálně třídě V.⁷⁹

4.2.4 VD Klecany

V letech 1897 – 1899 postavené vodní dílo se nachází na 38. kilometru vodního toku. Jedná se o první vodní dílo na Vltavě pod Prahou. Jeho primárním účelem je, spolu se zbylými třemi VD umístěnými mezi Prahou a Mělníkem, zajištění vhodných podmínek pro splavnost Vltavy. Po havárii levého a částečně i středního pole v roce 1975 byla na začátku roku 1978 zahájena již připravovaná rekonstrukce a modernizace jezu.



Obrázek 10: VD Klecany – mapa⁸⁰

V roce 1985 byla na konci původní vorové propusti zbudována průtočná malá vodní elektrárna osazena čtyřmi přímoproudými Kaplanovými turbínami. V letech 1991 – 2001 byla nahrazena novou, modernější vodní elektrárnou osazenou dvěma horizontálními Kaplanovými turbínami s celkovým výkonem 1,2 MW. Poslední opravy proběhly po povodních v roce 2002 a od roku 2003 je elektrárna opět v provozu.

⁷⁹ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

⁸⁰ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

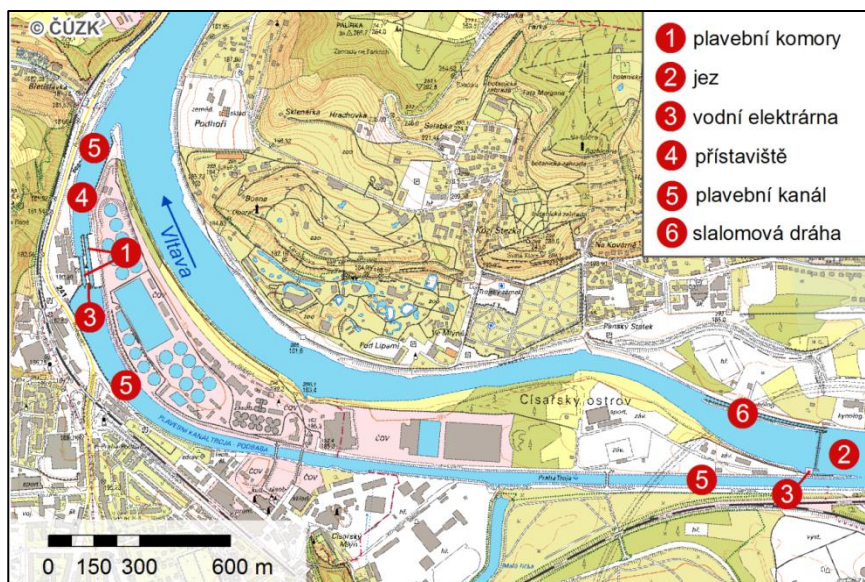
Tabulka 4: Technické parametry MVE Klecany⁸¹

MVE Klecany - Technické parametry	
Umístění	Pravý břeh
Počet strojů	2
Typ turbíny	Kaplanova turbína
Průměr oběžného kola	2 300 mm
Návrhový spád	2,60 m
Návrhový průtok	42 m ³ ·s ⁻¹
Celkový výkon	1 200 kW

Součástí vodního díla je plavební komora nacházející se od jezu přibližně jeden kilometr po proudu. Vlaková plavební komora s celkovou užžitnou délkou 197,3 m se dělí na velkou a malou komoru. Užžitná šířka je 11 m a spád 2,9 m.⁸²

4.2.5 VD Trója-Podbaba

Vodní dílo postavené v letech 1899 – 1902, díky práci „Komise pro kanalizování Vltavy a Labe v Čechách“, s primárním účelem zajištění dostatečných podmínek pro vodní dopravu. V současné době plní nejen tuto funkci, ale i funkci stabilizace toku Vltavy, využití spádu pro výrobu el. energie a odběr vody.



Obrázek 11: VD Trója-Podbaba – mapa⁸³

⁸¹ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

⁸² *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

Původní hradlový jez byl, kvůli složité manipulaci při vyšších průtocích a obtížném zimním provozu, v roce 1979 nahrazen současným pohyblivým typem. Velín, odkud je jez ovládán, je umístěn na špici Císařského ostrova. V případě povodní je do velína, který je situován nad záplavovou hranicí stoleté vody, umístěna obsluha vybavená dostatečnými zásobami a starající se o agregát zajišťující čerpání vody z podzemních prostor jezu, aby nedošlo k jeho zatopení a poškození.⁸⁴

VD Podbaba je jedno z mála, které vytěžuje dvě vodní elektrárny. První je po proudu výše položená MVE Troja uvedená do provozu v roce 2009. Jedná se o průtočnou malou vodní elektrárnu osazenou dvěma přímoproudými Kaplanovými turbínami využívající spád Trojského jezu 2,9 m s celkovým výkonem 2,4 MW.

Tabulka 5: Technické parametry MVE Troja⁸⁵

MVE Troja - Technické parametry	
Umístění	Ostrov
Počet strojů	2
Typ turbíny	Kaplanova turbína
Návrhový spád	2,90 m
Návrhový průtok	80 m ³ ·s ⁻¹
Celkový výkon	2 400 kW

Druhou elektrárnou je MVE Podbaba skládající se ze dvou přímoproudých Kaplanových turbín vsazených do bočních zdí velké plavební komory. Byla vybudována při přestavbě a zužování velké plavební komory na současných 12 m šířky. Vzniklé zesílené pilíře byly využity k umístění dvou soustrojí o celkovém výkonu 1,296 MW.

⁸³ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

⁸⁴ *Slovní sdělení zaměstnance Povodí Vltavy*. 2018.

⁸⁵ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

Tabulka 6: Technické parametry MVE Podbaba⁸⁶

MVE Podbaba - Technické parametry	
Umístění	Plavební kanál
Počet strojů	2
Typ turbíny	Kaplanova turbína
Návrhový spád	5,05 m
Návrhový průtok	28 m ³ ·s ⁻¹
Celkový výkon	1 296 kW

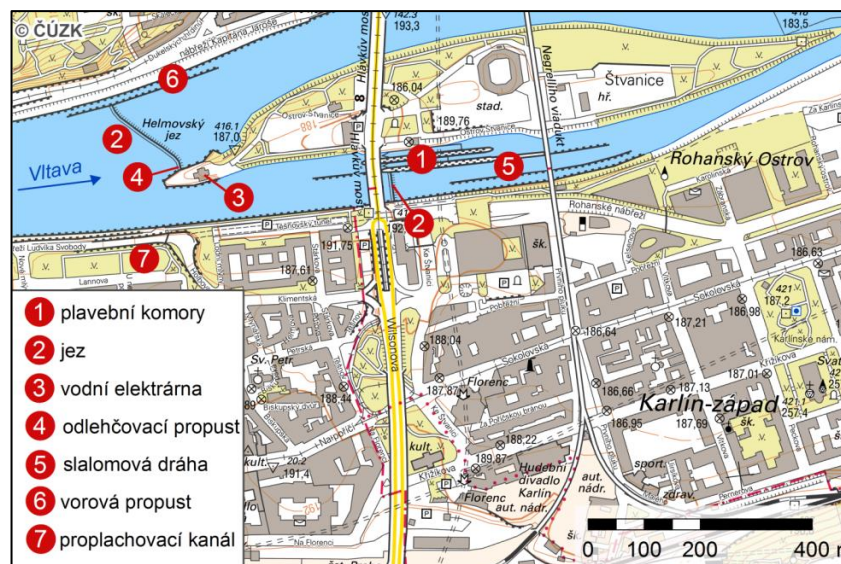
Plavební komory, zbudované současně s původním jezem, jsou umístěny paralelně a nacházejí se na konci plavebního kanálu. V průběhu let procházely modernizací. V letech 1996 – 1998 prošla velká plavební komora rozsáhlou rekonstrukcí a zúžením na 12 m, což stačí pro splnění požadavků plavební cesty třídy Va. Prostor byl využit ke stavbě MVE. Celkový překonávaný spád je 5,6 m.⁸⁷

4.2.6 VD Štvanice

Na 51. kilometru vodního toku zbudované v letech 1907 – 1913, ve 40. a 80. letech 20. století rekonstruované, vodní dílo, s primárními účely zajištění splavnosti Vltavy pro vodní dopravu, stabilizace minimální hladiny a spádových poměrů a využití hydroenergetického potenciálu.

⁸⁶ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

⁸⁷ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>



Obrázek 12: VD Štvanice – mapa⁸⁸

Vzdutí zajišťuje Helmovský jez. Hlavní tok Vltavy přepažuje pevný jez, nacházející se u západní špičky ostrova Štvanice, který v roce 1909 nahradil původní Novomlýnský jez postavený již v roce 1398. Jez je dlouhý 165 m a jeho výška je 4,4 m. Pravé rameno řeky přepažuje pohyblivý jez, který při rekonstrukci v 80. letech 20. století nahradil původní pevný jez.

Vodní elektrárna Štvanice postavená v letech 1908 – 1914 je jednou z nejstarších průmyslových elektráren na Vltavě. Původně byla elektrárna osazena svislou třístupňovou Francisovou turbínou s výkonem 1,42 MW, která byla v roce 1973 pro opotřebení odstavena. V letech 1984 – 1987 byla zbudována nová elektrárna osazená třemi přímoproudými Kaplanovými turbínami s celkovým výkonem 5,67 MW.

Tabulka 7: Technické parametry MVE Štvanice⁸⁹

MVE Štvanice - Technické parametry	
Umístění	Ostrov
Počet strojů	3
Typ turbíny	Přímoproudá Kaplanova turbína
Návrhový spád	4,00 m
Návrhový průtok	165 m ³ ·s ⁻¹
Celkový výkon	5 670 kW

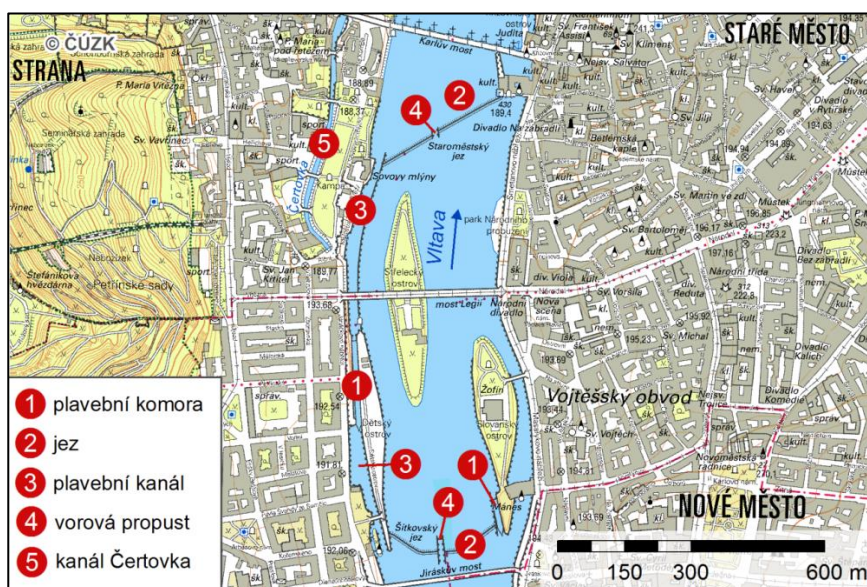
⁸⁸ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

⁸⁹ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

Splavnost zajišťují dvě plavební komory (velká a malá) umístěné při pravé straně ostrova Štvanice. Jejich užitná šířka je 11 m a překonávají spád 4,4 m. V roce 2018 se jimi proplavilo přibližně 10 000 lodí.⁹⁰

4.2.7 VD Smíchov

Toto vodní dílo, nacházející se na 54. říčním kilometru je v porovnání s ostatními velmi specifické. Zahrnuje dva jezy za sebou položené, dvě samostatné plavební komory a tři pražské ostrovy (Dětský, Slovanský a Střelecký).



Obrázek 13: VD Smíchov – mapa⁹¹

Po proudu výše se nachází Štvanický jez vybudovaný v letech 1915 - 1917. Je umístěn mezi Dětským a Slovanským ostrovem. Jedná se o pevný jez dřevěné konstrukce s kamennou výplní překonávající spád 1,36 m.

Druhým vzdouvacím objektem je Staroměstský jez. Jedná se též o pevný jez dřevěné konstrukce s kamennou výplní s překonávaným spádem 0,95 m. Původní jez byl postaven již v roce 1241 a od roku 1958 je zapsaný do seznamu nemovitých kulturních památek Prahy.⁹²

⁹⁰ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

⁹¹ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

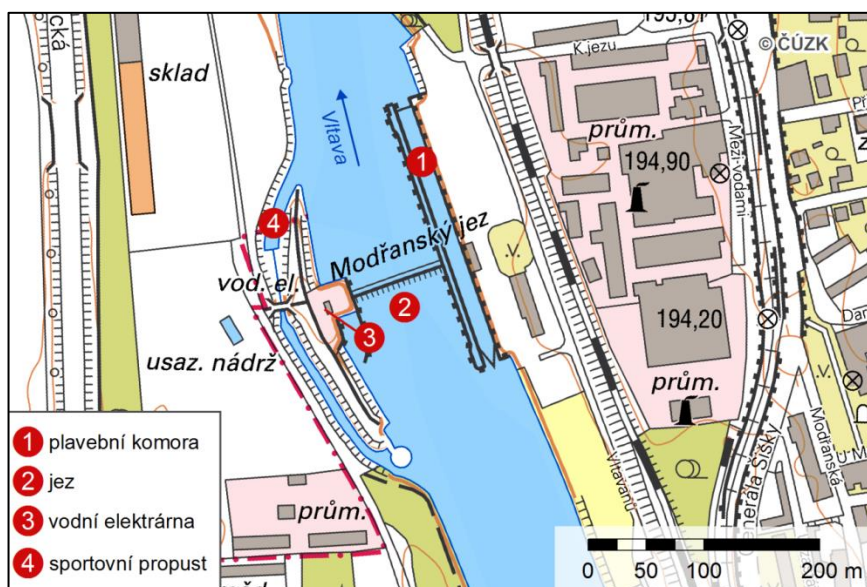
⁹² Vltavská vodní cesta. *Povodí Vltavy* [online]. Povodí Vltavy, 2013 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/vodohospodarske-informace/vodni-dila/vltavska-vodni-cesta/vodni-dilo-smichov>

Na pravé straně Šítkovského jezu se nachází malá plavební komora Praha-Mánes, která zajišťuje jeho překonání, ale pouze do zdrže jezu Staroměstského. Překonávaný spád je 1,36 m.

K překonání obou jezů slouží plavební komora Praha-Smíchov. Jedná se o PK vlakového stylu s užitnou délkou 174 m a překonávaným spádem 2,1 m. Se šířkou 11 m se řadí do IV. třídy vodních cest. Z obou stran komory se nacházejí dlouhé plavební kanály. Z horního je napájen zakrytý kanál ramena Vltavy – Čertovka.

4.2.8 VD Modřany

První záznamy o existenci jezu jsou téměř 400 let staré. V roce 1729 bylo zbudováno jedno ze dvou nejstarších plavebních zařízení v Rakousko-Uhersku. Vlivem přírodního opotřebení však bylo časem ponecháno svému osudu.⁹³ V letech 1979 – 1987 postavené vodní dílo s primárním účelem zlepšení plavebních podmínek. Vzduť dlouhé 9,1 km umožnilo prodloužení plavby na Berounce až k radotínskému přístavu a na Vltavě dosahuje až k vývaru VD Vrané nad Vltavou.



Obrázek 14: VD Modřany – mapa⁹⁴

Jez pohyblivého klapkového typu je umístěn v tzv. modřanské úžině hned pod soutokem Vltavy s Beroučkou. Před jeho výstavbou byla plavba lodí možná jen při příznivých podmínkách. Vzduť jezu se spádem 2,5 m zaručuje plavební hloubku 3,5 m až

⁹³ Vltavská vodní cesta. *Povodí Vltavy* [online]. Povodí Vltavy, 2013 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/vodohospodarske-informace/vodni-dila/vltavska-vodni-cesta/vodni-dilo-modrany>

⁹⁴ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

k Vranému nad Vltavou. Ve spodní betonové stavbě se nachází servisní chodba spojující plavební komoru s vodní elektrárnou, která se nachází na opačné straně řeky.

Na levém břehu umístěná, roku 1988 do provozu uvedená, malá vodní elektrárna je osazena třemi soustrojími s přímoproudými Kaplanovými turbínami s celkovým výkonem 1,65 kW. Provoz elektrárny je plně automatizován. Připojení k rozvodné síti je zajištěno do sítě 22 kV na obou březích Vltavy. Při extrémních průtocích se nad hladinou nachází pouze velín umístěný na pravém břehu, strojovna vodohospodářské části a výstup z elektrárny.

Tabulka 8: Technické parametry MVE Modřany⁹⁵

MVE Modřany - Technické parametry	
Umístění	Levý břeh
Počet strojů	3
Typ turbíny	Přímoproudá Kaplanova turbína
Návrhový spád	2,00 m
Návrhový průtok	90 m ³ ·s ⁻¹
Celkový výkon	1 650 kW

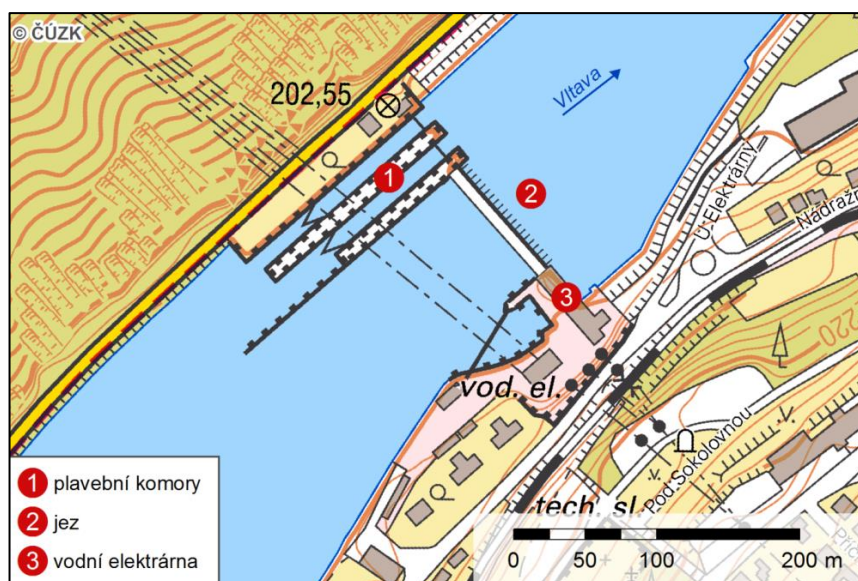
Plavební komora vlakového typu je umístěna na pravém břehu Vltavy. Celková užitná délka je 192,1 m, šířka 12 m a překonávaný spád 2,5 m. Horní vrata byla v provozu nepřetržitě od roku 1986 (rok výstavby) až do roku 2018, kdy byla zrekonstruována, vyztužená a kompletně obnovená povrchová ochrana.⁹⁶

4.2.9 VD Vrané nad Vltavou

V letech 1930 – 1935 vybudované vodní dílo je nejstarším a nejnižše položeným stupněm Vltavské kaskády. Primárním účelem jeho zbudování bylo zajištění vhodných plavebních podmínek na Vltavě. V současné době slouží především pro vyrovnání odtoku z výše položených vodních elektráren špičkového typu (VE Slapy a Štěchovice a PVE Štěchovice).

⁹⁵ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

⁹⁶ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>



Obrázek 15: VD Vrané – mapa⁹⁷

Jez s celkovým spádem 10,8 m obsahuje čtyři pohyblivá přelivová pole. Každé stavidlo je dvoudílné, v půli horizontálně rozdělené. Toto řešení umožňuje převádět vyšší průtoky výtokem pod spodní částí, přepadem přes horní hranu, či oběma způsoby najednou a umožňuje tím velmi jemnou regulaci hladiny.

Vodní elektrárna, do provozu uvedená v roce 1936, je jednou z prvních velkých vodních elektráren na Vltavě. Elektrárna je osazena dvěma soustrojími s Kaplanovými turbínami s celkovým výkonem 16 MW. V letech 1978 – 1980 byla elektrárna modernizována a v roce 1994 vybavena novým řídicím systémem. V současné době je provoz řízen dálkově s primárním účelem zabezpečování dlouhodobě vyrovnaného odtoku z celé kaskády.

Tabulka 9: Technické parametry VE Vrané⁹⁸

VE Vrané - Technické parametry	
Umístění	Pravý břeh
Počet strojů	2
Typ turbíny	Kaplanova turbína
Průměr oběžného kola	3 500 mm
Návrhový spád	10,2 m
Návrhový průtok	180 m ³ ·s ⁻¹
Celkový výkon	16 000 kW

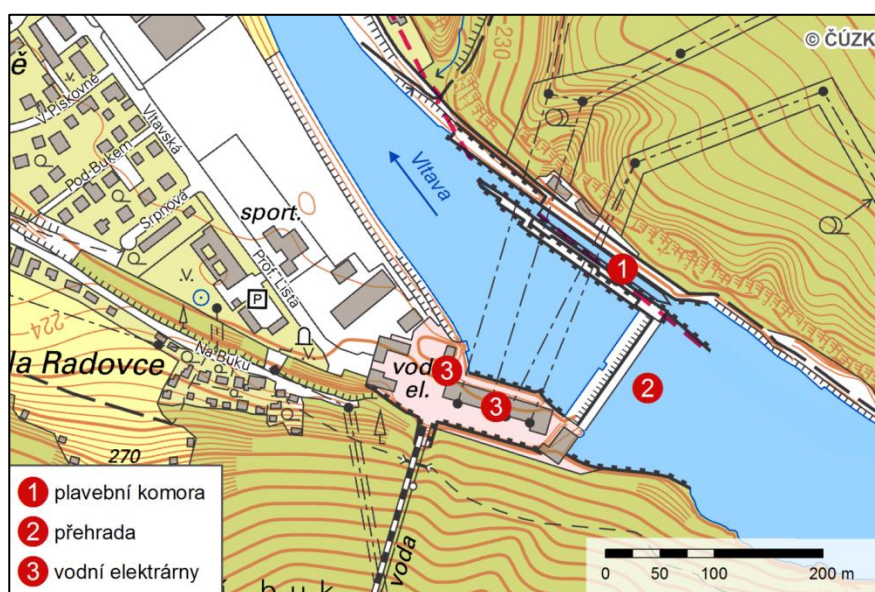
⁹⁷ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

⁹⁸ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

U levého břehu jsou vedle sebe umístěné, do horní vody předsunuté, velká a malá plavební komora, obě s užitnou šířkou 12 m. Primárně byla velká komora určená k nákladní dopravě a proplavování vorů a malá komora k proplavování osobních parníků. Dnes slouží především pro výletní plavidla.⁹⁹

4.2.10 VD Štěchovice

Na 85. říčním kilometru se nachází vodní dílo vybudované v letech 1939 – 1944 s primárním účelem vyrovnání vodního toku ze špičkových elektráren VE Slapy a VE Orlík. Součástí díla je jedna ze tří přečerpávacích elektráren v ČR.



Obrázek 16: VD Štěchovice – mapa¹⁰⁰

Vzdutí vody zajišťuje betonová hráz založená na skalním podloží. V horní části se nachází pohyblivé stavidlové uzávěry. Primární odtok vody je veden skrz průtočnou vodní elektrárnu, případně pomocí vybudovaného výpustního tunelu, který lze využít i pro úplné vypuštění hráze.

Součástí díla jsou dvě na sobě nezávislé vodní elektrárny. VE Štěchovice I., uvedená do provozu v roce 1943, se řadí do kategorie středotlakých vodních elektráren. Nachází se na levém břehu řeky a je osazena dvěma soustrojími s Kaplanovými turbínami, z nichž každé má

⁹⁹ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

¹⁰⁰ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

samostatný betonový přivaděč s česlemi a tabulovými rychlouzávěry. Celkový instalovaný výkon je 22,5 MW.

*Tabulka 10: Technické parametry VE Štěchovice I.*¹⁰¹

VE Štěchovice I. - Technické parametry	
Umístění	Levý břeh
Počet strojů	2
Typ turbíny	Kaplanova turbína
Průměr oběžného kola	3 600 mm
Návrhový spád	20,1 m
Návrhový průtok	160 m ³ ·s ⁻¹
Celkový výkon	22 500 kW

Druhou vodní elektrárnou je PVE Štěchovice II. Původní přečerpávací elektrárna byla vybudována v letech 1941 – 1947, pro fyzické opotřebení v roce 1991 odstavena a poté v roce 1996 obnovena. V současné době je PVE osazena jedním soustrojím s reverzibilní Francisovou turbínou pracující se spádem 208,7 m a s výkonem 50 MW.

*Tabulka 11: Technické parametry PVE Štěchovice II.*¹⁰²

PVE Štěchovice II. - Technické parametry	
Umístění	Levý břeh
Počet strojů	1
Typ turbíny	Reverzibilní Francisova turbína
Průměr oběžného kola	2 200 mm
Návrhový spád	208,7 m
Návrhový průtok	27 m ³ ·s ⁻¹
Celkový výkon	50 000 kW

Splavnost zajišťuje plavební komora vlakového typu s užitnou šířkou 12 m a maximální délkou 118,4 m. Horní vzpěrná vrata jsou svou výškou 24 m evropským unikátem. Převážnou část malých plavidel zajišťuje vybudovaná kolejová dráha s vozíky, umístěná na pravém břehu.¹⁰³

¹⁰¹ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

¹⁰² *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

¹⁰³ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

4.2.11 VD Slapy

V pořadí třetí vybudované dílo Vltavské kaskády bylo vybudováno v letech 1952 – 1955 za primárním účelem výroby špičkové elektrické energie, regulace průtoků na dolní vltavsko-labské plavební trati a odběrům vody. Příprava stavby byla zahájena již za druhé světové války podrobným zaměřením břehů a následně v roce 1949 ražením štoly pro obtokový tunel, který umožnil stavbu celé přehrady najednou. Napuštění přehradu trvalo pouhých několik dní díky povodni v roce 1954. Přehradu tvoří přímá, tížná betonová hráz s výškou 67,5 m. Jedná se o první vodní dílo (při pohledu od nultého říčního kilometru), které neobsahuje plavební komoru, která při stavbě nebyla z finančních a časových důvodů realizována. Malá plavidla do 3,5 t jsou převážena na vlecích tažených traktorem.



Obrázek 17: VD Slapy – mapa¹⁰⁴

Součástí díla je špičková vodní elektrárna, která je umístěna přímo v tělese hráze pod přelivy. Ve své době se jednalo v Evropě o ojedinělé řešení. Je osazena třemi soustrojími s Kaplanovými turbínami s celkovým výkonem 144 MW.¹⁰⁵

¹⁰⁴ Výřez mapy upraven autorem práce. 2020. Dostupné také z: mapy.cz

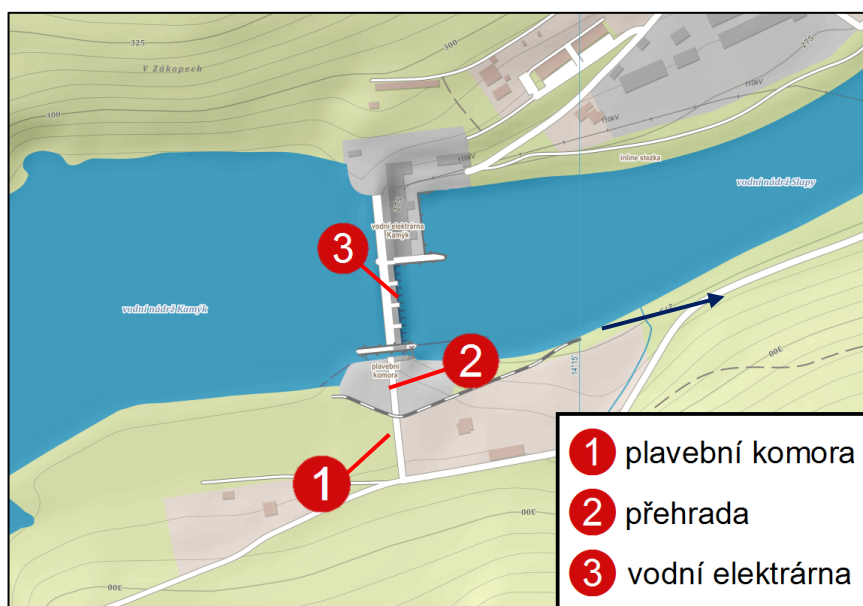
¹⁰⁵ VD Slapy. In: *Povodí Vltavy* [online]. 2013 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/slapy.pdf>

Tabulka 12: Technické parametry VE Slapy¹⁰⁶

VE Slapy - Technické parametry	
Umístění	Hráz
Počet strojů	3
Typ turbíny	Kaplanova turbína
Průměr oběžného kola	3 700 mm
Spád	27,4 - 56 m
Návrhový průtok	324 m ³ ·s ⁻¹
Celkový výkon	144 000 kW

4.2.12 VD Kamýk

Vodní dílo se nachází na 135. kilometru Vltavy na konci vzdutí Slapského jezera. Bylo vybudováno v letech 1957 – 1963 za účelem spolupráce se špičkovou vodní elektrárnou Orlík. Do plného provozu bylo uvedeno až v roce 1966 v souvislosti s dostavením výše položené přehrady. Jedná se o přímou, tížnou betonovou hráz s výškou 17 m.



Obrázek 18: VD Kamýk – mapa¹⁰⁷

Na levém břehu je umístěna průtočná vodní elektrárna osazená čtyřmi Kaplanovými turbínami s celkovým výkonem 40 MW. Jedná se o sedmou nejvýkonnější vodní elektrárnu v ČR.^{108, 109}

¹⁰⁶ VD Slapy. In: *Povodí Vltavy* [online]. 2013 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z:

<http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/slapy.pdf>

¹⁰⁷ *Výřez mapy upraven autorem práce*. 2020. Dostupné také z: mapy.cz

Tabulka 13: Technické parametry VE Kamýk^{110, 111}

VE Kamýk - Technické parametry	
Umístění	Levý břeh
Počet strojů	4
Typ turbíny	Kaplanova turbína
Průměr oběžného kola	3 800 mm
Spád	11,5 - 16 m
Návrhový průtok	360 m ³ ·s ⁻¹
Celkový výkon	40 000 kW

Splavnost úseku zajišťuje malá plavební komora s rozměry 35 x 6,5 m umístěná u pravého břehu, určená pro přepravu plavidel s výtlakem do 300 t. Malá sportovní plavidla mohou být převážena pomocí, na pravém břehu umístěné, kolejové dráhy.¹¹²

4.2.13 VD Orlík

Největším vodním dílem v České republice a nejvýznamnějším článkem Vltavské kaskády je VD Orlík vybudované na 145. říčním kilometru Vltavy v letech 1957 – 1966. Nádrž o celkovém objemu 716,5 mil. m³ a velikosti zatopené plochy 27,32 km² byla vybudována s primárními účely akumulace vody pro nadlepení průtoků na nižší části Vltavy a Labe, částečná ochrana před velkými vodami a výroby elektrické energie. Hráz je přímá, tížná, betonová s výškou 81,5 m. Její umístění bylo dáno „Hydroenergetickým plánem Vltavy a dolního Labe“ z roku 1953.

¹⁰⁸ VD Kamýk. In: *Povodí Vltavy* [online]. 2013 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/kamyk.pdf>

¹⁰⁹ Přehrada Kamýk. *TV-ADams.wz.cz* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/vd/prehrada_kamyk.html

¹¹⁰ VD Kamýk. In: *Povodí Vltavy* [online]. 2013 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/kamyk.pdf>

¹¹¹ Přehrada Kamýk. *TV-ADams.wz.cz* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/vd/prehrada_kamyk.html

¹¹² VD Kamýk. In: *Povodí Vltavy* [online]. 2013 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/kamyk.pdf>



Obrázek 19: VD Orlík – mapa¹¹³

Součástí přehrady je špičková vodní elektrárna umístěná u levého břehu řeky. Elektrárna je osazená čtyřmi soustrojími s Kaplanovými turbínami s celkovým výkonem 364 MW. Poslední soustrojí bylo osazeno a uvedeno do provozu v roce 1962.^{114, 115}

Tabulka 14: Technické parametry VE Orlík^{116, 117}

VE Orlík - Technické parametry	
Umístění	Levý břeh
Počet strojů	4
Typ turbíny	Kaplanova turbína
Průměr oběžného kola	4 600 mm
Spád	45,0 – 71,5 m
Návrhový průtok	600 m ³ ·s ⁻¹
Celkový výkon	364 000 kW

¹¹³ Výřez mapy upraven autorem práce. 2020. Dostupné také z: mapy.cz

¹¹⁴ Vodní dílo Orlík. In: *Povodí Vltavy* [online]. 2013 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/orlik.pdf>

¹¹⁵ Přehrada Orlík. *TV-ADams.wz.cz* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/prehrada_orlik.html

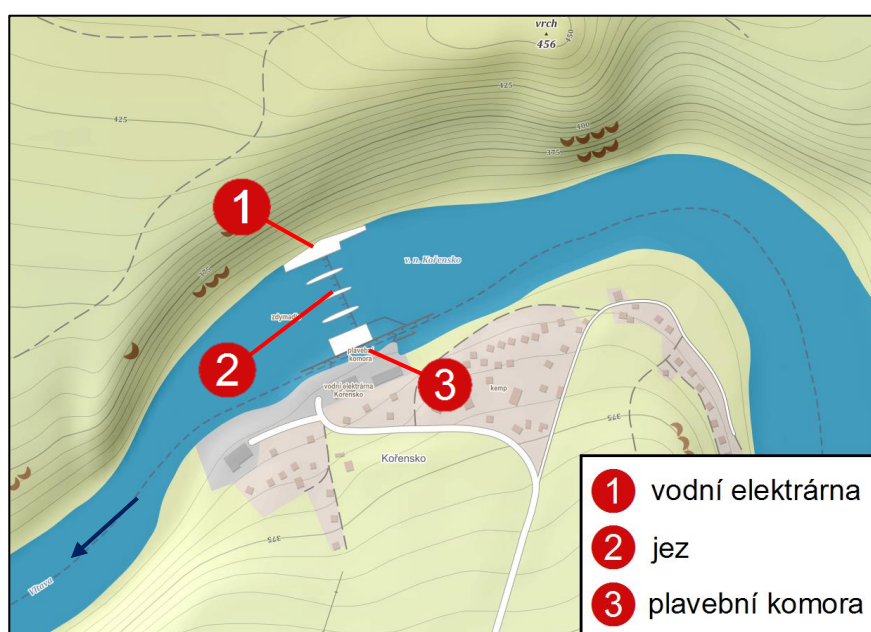
¹¹⁶ Vodní dílo Orlík. In: *Povodí Vltavy* [online]. 2013 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/orlik.pdf>

¹¹⁷ Přehrada Orlík. *TV-ADams.wz.cz* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/prehrada_orlik.html

Přepravu malých sportovních lodí zajišťuje šikmý lodní výtah umístěný na pravém břehu. Pro přepravu velkých lodí s výtakem do 300 t bude v budoucnu sloužit šikmé lodní zdvihadlo, z něhož je v současné době dokončena pouze stavební část a probíhá dovybavení technologiemi.¹¹⁸

4.2.14 VD Kořensko

Dílo bylo vybudováno v 80. letech 20. století souběžně s VD Hněvkovice s účelem stabilizace hladiny vody v Týně nad Vltavou a spolu s hněvkovickou přehradou k pokrytí potřeb vody JE Temelín. Vzdouvací objekt tvoří pohyblivý jez o čtyřech polích nacházející se pod soutokem Vltavy a Lužnice v oblasti vzdutí nádrže Orlík.



Obrázek 20: VD Kořensko – mapa¹¹⁹

Na levém břehu se nachází malá vodní elektrárna osazená dvěma Kaplanovými turbínami s celkovým výkonem 3,8 MW, díky které je též zajištěna homogenizace tekutých odpadů z JE Temelín s říční vodou v celém profilu koryta řeky, což omezuje jejich vrstvení v nádrži Orlík.

¹¹⁸ Vodní dílo Orlík. In: *Povodí Vltavy* [online]. 2013 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/orlik.pdf>

¹¹⁹ *Výřez mapy upraven autorem práce.* 2020. Dostupné také z: mapy.cz

Tabulka 15: Technické parametry MVE Kořensko^{120,121}

MVE Kořensko - Technické parametry	
Umístění	Levý břeh
Počet strojů	2
Typ turbíny	Kaplanova turbína
Průměr oběžného kola	3 000 mm
Spád	2,0 – 6,2 m
Návrhový průtok	80 m ³ ·s ⁻¹
Celkový výkon	3 800 kW

Splavnost úseku zajišťuje dodatečně vystavěná a v provozu od roku 2000, plavební komora s rozměry 45 x 6 m.^{122,123}

4.2.15 Hněvkovice jez

Oproti velké vodní nádrži Hněvkovice je na 209. říčním kilometru postavený jez málo známý. Původní historický jez z roku 1919 byl v letech 2014 – 2017 nahrazen modernizovaným jezem vybaveným plavební komorou, s rozměry 45 x 6 m a překonávaným rozdílem hladin 2 m, umístěnou na levém břehu řeky.^{124,125}

¹²⁰ Vodní nádrž Kořensko. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z:

https://cs.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%AD_n%C3%A1dr%C5%BE_Ko%C5%99ensko

¹²¹ VD Kořensko. In: *Povodí Vltavy* [online]. 2013 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z:

<http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/korensko.pdf>

¹²² Vodní nádrž Kořensko. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z:

https://cs.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%AD_n%C3%A1dr%C5%BE_Ko%C5%99ensko

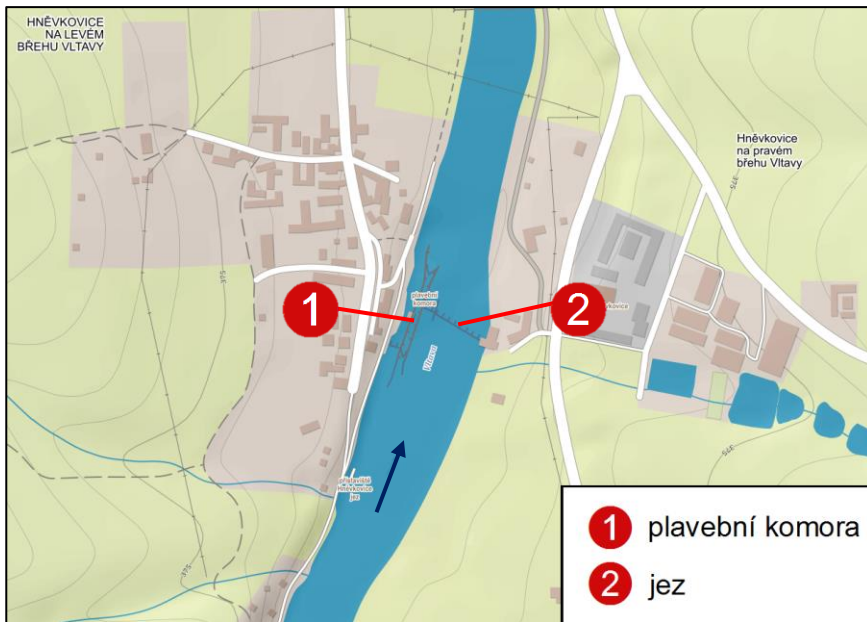
¹²³ VD Kořensko. In: *Povodí Vltavy* [online]. 2013 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z:

<http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/korensko.pdf>

¹²⁴ Hněvkovice - jez. *Ředitelství vodních cest České republiky* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z:

<http://www.rvccr.cz/vodni-cesty/hnevkvovice-jez>

¹²⁵ Plavební komora vodního díla Hněvkovice. *IMateriály: portál časopisů Materiály pro stavbu a Stavitel pro odborníky ve stavebnictví* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: https://www.imaterialy.cz/rubriky/zajimava-stavba/plavebni-komora-vodniho-dila-hnevkvovice_45838.html



Obrázek 21: Hněvkovice jez – mapa¹²⁶

4.2.16 VD Hněvkovice

Pět kilometrů jižním směrem od Týna nad Vltavou se nachází jedno ze dvou největších vodních děl Vltavské kaskády. Bylo vybudováno v letech 1986 – 1991 současně s VD Kořensko s primárním účelem zajištění vody pro JE Temelín. Hráz vysoká 23,5 m obsahuje tři bezpečnostní přelivy o šířce 12 m. Současně s výstavbou samotného vodního díla byla na levém břehu budována čerpací stanice a přívodní potrubí vody do blízké jaderné elektrárny.



Obrázek 22: VD Hněvkovice – mapa¹²⁷

¹²⁶ Výřez mapy upraven autorem práce. 2020. Dostupné také z: mapy.cz

Na levém břehu je umístěna vodní elektrárna osazená dvěma soustrojími s Kaplanovými turbínami s celkovým výkonem 9,6 MW. Elektrárna pracuje v pološpičkovém režimu.^{128,129}

Tabulka 16: Technické parametry MVE Hněvkovice^{130,131}

MVE Hněvkovice - Technické parametry	
Umístění	Levý břeh
Počet strojů	2
Typ turbíny	Kaplanova turbína
Průměr oběžného kola	2 200mm
Spád	9,3 – 14,8 m
Návrhový průtok	60 m ³ ·s ⁻¹
Celkový výkon	9 600 kW

Splavnost Vltavy v úseku Týn nad Vltavou – Hluboká nad Vltavou zajišťuje při pravém břehu umístěná plavební komora o velikosti 45 x 6 m určená pro lodě s výtlačkem do 300 t.

4.2.17 VD Hluboká nad Vltavou

Vodní dílo vybudováno na 230. říčním kilometru bylo v roce 1935 vybudováno s primárním účelem regulace toku. Od roku 2013 hraje vodní dílo klíčovou roli pro splavnost Vltavy mezi Českými Budějovicemi a Týnem nad Vltavou.

¹²⁷ Výřez mapy upraven autorem práce. 2020. Dostupné také z: mapy.cz

¹²⁸ VD Hněvkovice. In: *Povodí Vltavy* [online]. 2013 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/hnevkvovice.pdf>

¹²⁹ Přehrada Hněvkovice. *TV-ADams.wz.cz* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/prehrada_hnevkvovice.html

¹³⁰ VD Hněvkovice. In: *Povodí Vltavy* [online]. 2013 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/hnevkvovice.pdf>

¹³¹ Přehrada Hněvkovice. *TV-ADams.wz.cz* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/prehrada_hnevkvovice.html



Obrázek 23: VD Hluboká nad Vltavou – mapa¹³²

3 m vysoký, přímý pohyblivý jez byl vybudován mimo původní tok Vltavy, která k němu byla následně přivedena.¹³³ Na původním zachovaném toku se nachází sportovní přístav a v místě jeho ústění do toku hlavního se nachází malá vodní elektrárna.

MVE Hluboká se řadí mezi derivační průtočné elektrárny. Původní elektrárna s dvěma Kaplanovými turbínami a celkovým výkonem 90 kW byla v roce 2013 nahrazena modernější a osazena jedním soustrojím s přímoproudou Kaplanovou turbínou o maximálním výkonu 300 kW.¹³⁴

Tabulka 17: Technické parametry MVE Hluboká¹³⁵

MVE Hluboká - Technické parametry	
Umístění	Derivační kanál
Počet strojů	1
Typ turbíny	Přímoproudá Kaplanova turbína
Návrhový spád	2,5 m
Celkový výkon	300 kW

¹³² Výřez mapy upraven autorem práce. 2020. Dostupné také z: mapy.cz

¹³³ Zdymadlo Hluboká. TV-ADams.wz.cz [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/vd/jez_hluboka.html

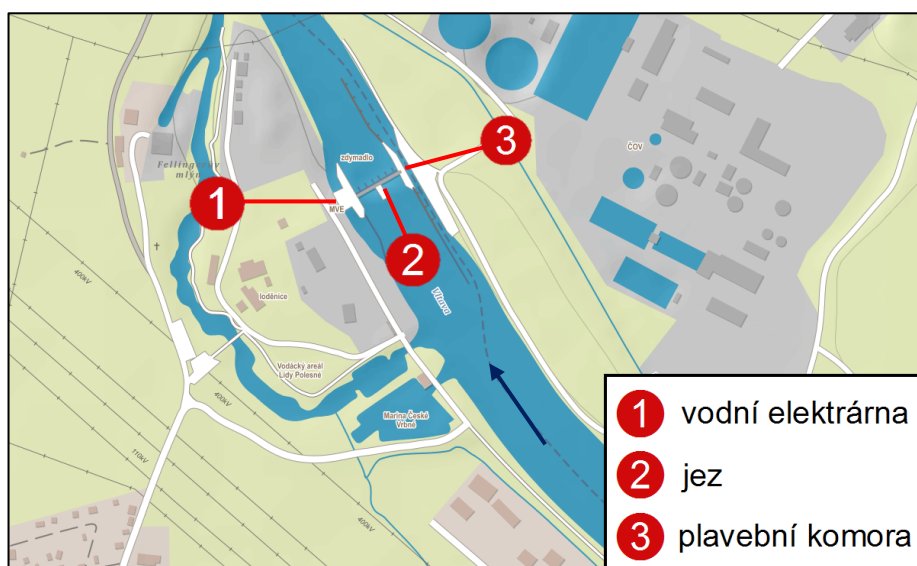
¹³⁴ Vyrábí elektřinu a ještě ochrání část Hluboké nad Vltavou před povodní. Česká televize [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/regiony/1011664-vyrabi-elektrinu-a-jeste-ochrani-cast-hluboke-nad-vltavou-pred-povodni>

¹³⁵ Zdymadlo Hluboká. TV-ADams.wz.cz [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/vd/jez_hluboka.html

V letech 2010 – 2012 byla na místě původní vorové propusti zbudována plavební komora o velikosti 45 x 6 m a překonaném spádu 3 m.¹³⁶

4.2.18 VD České Vrbné

Původní jez z roku 1969 byl vybudován primárně ke zlepšení vodního stavu. V letech 2008 – 2011 byla provedena modernizace jezu spolu se stavbou plavební komory, díky které získalo vodní dílo význam v oblasti splavnění Vltavy. S rozdílem hladin 7,5 m se řadí mezi nejvyšší vltavské jezy.^{137, 138}



Obrázek 24: VD České Vrbné – mapa¹³⁹

Na levém břehu je od roku 1985 v provozu malá vodní elektrárna osazena dvěma soustrojími s Kaplanovými turbínami s celkovým výkonem 1,96 MW.^{140, 141}

¹³⁶ HLUBOKÁ NAD VLTAVOU - PLAVEBNÍ KOMORA. Ředitelství vodních cest České republiky [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.rvccr.cz/vodni-cesty/hluboka-nad-vltavou-plavebni-komora>

¹³⁷ Zdymadlo České Vrbné. TV-ADams.wz.cz [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/vd/jez_ceske_vrbne.html

¹³⁸ Podívejte se na téměř dokončenou plavební komoru v Českém Vrbném. IDNES.cz [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/ceske-budejovice/zpravy/podivejte-se-na-temer-dokoncenou-plavebni-komoru-v-ceskem-vrbnem.A100917_180615_budejovice-zpravy_alt

¹³⁹ Výtěž mapy upraven autorem práce. 2020. Dostupné také z: mapy.cz

¹⁴⁰ Zdymadlo České Vrbné. TV-ADams.wz.cz [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/vd/jez_ceske_vrbne.html

¹⁴¹ Malé vodní elektrárny. Atlas zařízení využívajících obnovitelné zdroje energie [online]. 2008 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.calla.cz/atlas/detail.php?id=311>

Tabulka 18: Technické parametry MVE České Vrbné ¹⁴²

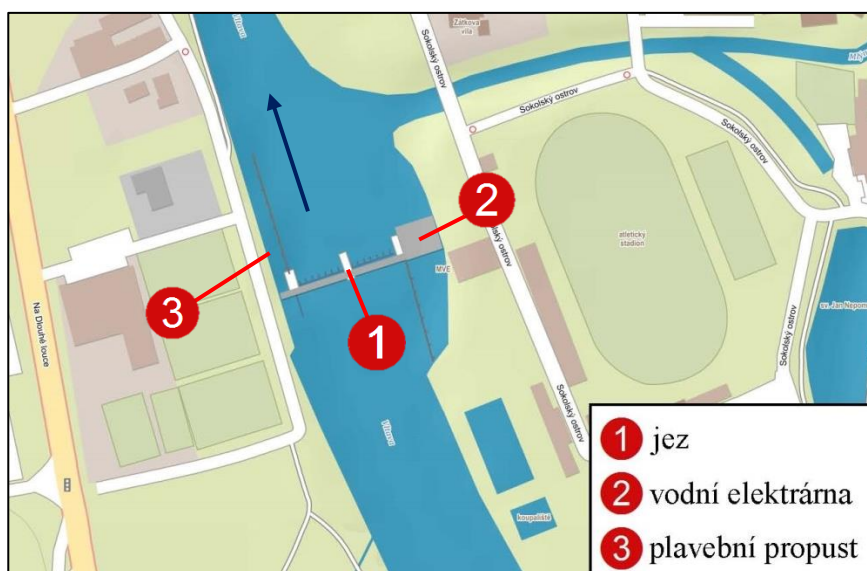
MVE České Vrbné - Technické parametry	
Umístění	Levý břeh
Počet strojů	2
Typ turbíny	Kaplanova turbína
Návrhový spád	6 m
Celkový výkon	1 960 kW

Splavnost úseku Vltavy mezi Hlubokou nad Vltavou a Českými Budějovicemi je zajištěna díky plavební komoře o rozměrech 45 x 6 m překonávající 7,5 metrový rozdíl hladin.

Jez České Vrbné je posledním vodním dílem (při pohledu od nultého říčního kilometru Vltavy), jehož součástí je plavební komora. Výše proti proudu se žádné plavební komory nenachází.

4.2.19 Jiráskův jez

Na 240. říčním kilometru Vltavy se nachází Jiráskův jez. Vodní dílo postavené v roce 1930 se skládá ze dvou stejných, samostatně regulovatelných polí s maximálním spádem 5 m. Jez byl vybudován za účelem regulace vodního toku Vltavy pod soutokem s Malší. ¹⁴³



Obrázek 25: Jiráskův jez – mapa ¹⁴⁴

¹⁴² Malé vodní elektrárny. *Atlas zařízení využívajících obnovitelné zdroje energie* [online]. 2008 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.calla.cz/atlas/detail.php?id=311>

¹⁴³ České Budějovice – Jiráskův jez. *Turistika.cz: Pro větší zážitek z cest a výletů* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.turistika.cz/mista/ceske-budejovice-jiraskuv-jez/detail>

Na pravé straně jezů se nachází malá vodní elektrárna Sokolský ostrov o celkovém výkonu 760 kW. Je osazena dvěma Francisovými (210 kW a 250 kW) a jednou Kaplanovou turbínou (300 kW).¹⁴⁵

Tabulka 19: Technické parametry MVE Sokolský ostrov¹⁴⁶

MVE Sokolský ostrov - Technické parametry	
Umístění	Ostrov
Počet strojů	3
Typ turbíny	2x Francisova turbína 1x Kaplanova turbína
Návrhový spád	3,25 m
Celkový výkon	760 kW

4.2.20 Trilčův jez

V roce 1937 dostavený jez je druhým jezem českobudějovické kaskády. Tvoří ho dvě samostatná pohyblivá pole se spádem 3,5 m. U levého břehu je zbudovaná retardovaná propust sloužící vodákům k překonání jezů.



Obrázek 26: Trilčův jez – mapa¹⁴⁷

¹⁴⁴ Výřez mapy upraven autorem práce. 2020. Dostupné také z: mapy.cz

¹⁴⁵ Jiráskův jez. TV-ADams.wz.cz [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/jiraskuv_jez.html

¹⁴⁶ Jiráskův jez. TV-ADams.wz.cz [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/jiraskuv_jez.html

Na pravém břehu je postavena, v roce 1940 do provozu uvedená, malá vodní elektrárna se dvěma Kaplanovými turbínami s celkovým výkonem 0,86 MW.¹⁴⁸

Tabulka 20: Technické parametry MVE Trilčův jez¹⁴⁹

MVE Trilčův jez - Technické parametry	
Umístění	Pravý břeh
Počet strojů	2
Typ turbíny	Kaplanova turbína
Návrhový spád	3,77 m
Celkový výkon	860 kW

4.2.21 Jez Rožnov

Jeden z mála jezů dochovaných alespoň částečně v původní podobě, dřevěné konstrukce s kamennou výplní, až z 19. století, kdy byl postaven. Se spádem 1 m ho lze řadit mezi energeticky nevýznamné. Důležitosti mu dodává odvod vody do derivačního kanálu a napájení Stecherova mlýna, který se nachází na jeho konci.¹⁵⁰



Obrázek 27: Jez Rožnov – mapa¹⁵¹

¹⁴⁷ Výřez mapy upraven autorem práce. 2020. Dostupné také z: mapy.cz

¹⁴⁸ Trilčův jez. TV-ADams.wz.cz [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/vd/jez_trilcuv_jez.html

¹⁴⁹ Trilčův jez. TV-ADams.wz.cz [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/vd/jez_trilcuv_jez.html

¹⁵⁰ Jezy. Encyklopedie Českých Budějovic [online]. 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.encyklopedie.c-budejovice.cz/clanek/jezy>

¹⁵¹ Výřez mapy upraven autorem práce. 2020. Dostupné také z: mapy.cz

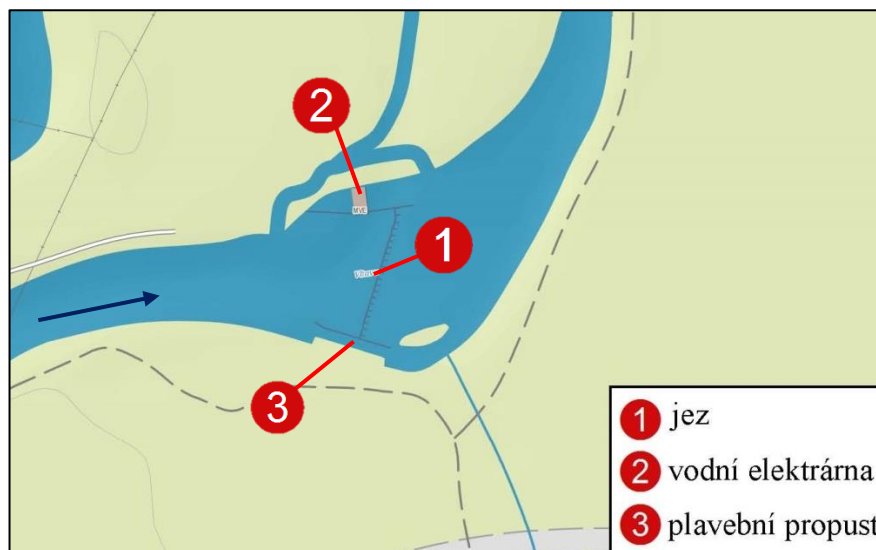
V roce 1918 byla v areálu mlýna uvedena do provozu malá vodní elektrárna, která byla v 60. letech 20. století odpojena. V roce 2010 byla zahájena její obnova. V současné době je elektrárna v provozu a osazená jedním soustrojím s rekonstruovanou původní Francisovou turbínou s výkonem 100 kW.¹⁵²

Tabulka 21: Technické parametry MVE Stecherův mlýn^{153 154}

MVE Stecherův mlýn- Technické parametry	
Umístění	Náhon - levý břeh
Počet strojů	1
Typ turbíny	Francisova turbína
Návrhový spád	1,8 m
Celkový výkon	100 kW

4.2.22 Jez Planá

V roce 2016 byla do provozu uvedena MVE Planá, která je nejnovější elektrárnou na Vltavě. S její výstavbou byl do současné podoby kompletně zrekonstruován starý poničený jez, který byl vybaven vodáckou propustí i rybím přechodem. Díky těmto vlastnostem se jedná o unikátní stavbu šetrnou k přírodě.



Obrázek 28: Jez Planá – mapa¹⁵⁵

¹⁵² Stecherův mlýn. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Stecher%C5%AFv_ml%C3%BDn

¹⁵³ Stecherův mlýn. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Stecher%C5%AFv_ml%C3%BDn

¹⁵⁴ POVODÍ VLTAVY. *Studie proveditelnosti zprůchodnění migračních překážek na vodních tocích v povodí Vltavy*. Dostupné také z: http://www.pvl.cz/migrace-vltava/projekt/4_KATALOG_PRICNYCH_PREKAZEK/4_katalog_pricnych_prekazek_Vltava.pdf

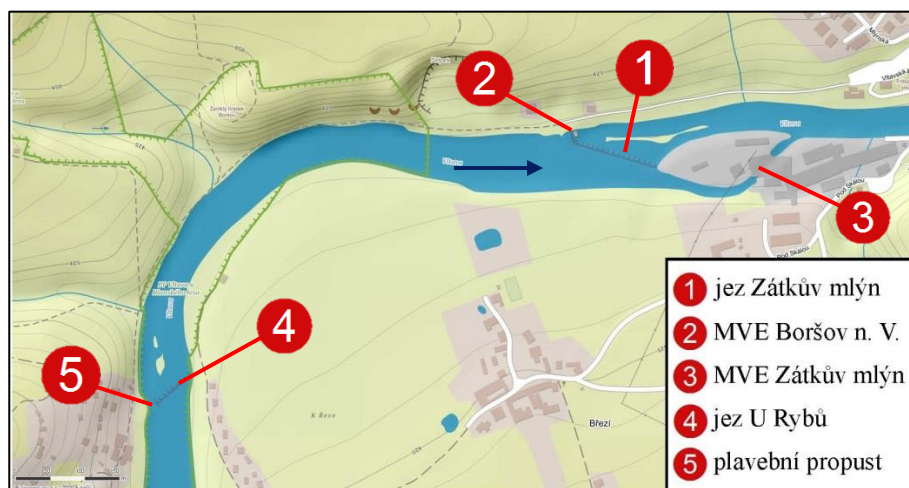
MVE je specifická díky využití tří soustrojí s Archimédovými šrouby s celkovým výkonem 600 kW. V současné době se jedná o nejnákladnější VE využívající tento typ turbíny na světě.¹⁵⁶

Tabulka 22: Technické parametry MVE Planá¹⁵⁷

MVE Planá - Technické parametry	
Umístění	Levý břeh
Počet strojů	3
Typ turbíny	Archimédův šroub
Průměr oběžného kola	4 000 mm
Návrhový spád	2,4 m
Celkový výkon	600 kW

4.2.23 Jez Zátkův mlýn

Pevný jez nacházející se na 250. říčním kilometru slouží ke vzduť vody a využití její energie ve dvou elektrárnách u něj umístěných.



Obrázek 29: Jezy Zátkův mlýn a U Rybů – mapa¹⁵⁸

¹⁵⁵ Výřez mapy upraven autorem práce. 2020. Dostupné také z: mapy.cz

¹⁵⁶ MVE Planá. TV-ADams.wz.cz [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/vd/jez_plana.html

¹⁵⁷ MVE Planá. TV-ADams.wz.cz [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/vd/jez_plana.html

¹⁵⁸ Výřez mapy upraven autorem práce. 2020. Dostupné také z: mapy.cz

Starší z elektráren se nachází na pravém břehu na konci 120 m dlouhého náhonu v budově Zátkova mlýna. Je v provozu od roku 1939 a je osazena jedním soustrojím s vertikální Francisovou turbínou. V roce 2009 proběhla generální oprava turbíny, generátoru a řízení.¹⁵⁹

Tabulka 23: Technické parametry MVE Zátkův mlýn¹⁶⁰

MVE Zátkův mlýn - Technické parametry	
Umístění	Pravý břeh
Počet strojů	1
Typ turbíny	Francisova turbína
Návrhový spád	1,8 m
Návrhový průtok	7,2 m ³ ·s ⁻¹
Celkový výkon	100 kW

Na levém břehu se nachází MVE Boršov nad Vltavou. Elektrárna v provozu od roku 1994 je vybavena dvěma Kaplanovými turbínami s celkovým výkonem 180 kW.¹⁶¹

Tabulka 24: Technické parametry MVE Boršov nad Vltavou¹⁶²

MVE Boršov nad Vltavou - Technické parametry	
Umístění	Levý břeh
Počet strojů	2
Typ turbíny	Kaplanova turbína
Spád	2,2 – 2,8 m
Návrhový průtok	7,2 m ³ ·s ⁻¹
Celkový výkon	180 kW

4.2.24 Jez U Rybů

Kdysi velký, ale dnes již rozpadlý jez je se svou výškou 0,6 m mírným zpeštěním pro vodáky na cestě ze Zlaté Koruny do Boršova nad Vltavou. Z hlediska energetického využití je

¹⁵⁹ Malé vodní elektrárny. *Atlas zařízení využívajících obnovitelné zdroje energie* [online]. 2008 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.calla.cz/atlas/detail.php?id=319>

¹⁶⁰ Malé vodní elektrárny. *Atlas zařízení využívajících obnovitelné zdroje energie* [online]. 2008 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.calla.cz/atlas/detail.php?id=319>

¹⁶¹ Malé vodní elektrárny. *Atlas zařízení využívajících obnovitelné zdroje energie* [online]. 2008 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.calla.cz/atlas/detail.php?id=318>

¹⁶² Malé vodní elektrárny. *Atlas zařízení využívajících obnovitelné zdroje energie* [online]. 2008 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.calla.cz/atlas/detail.php?id=318>

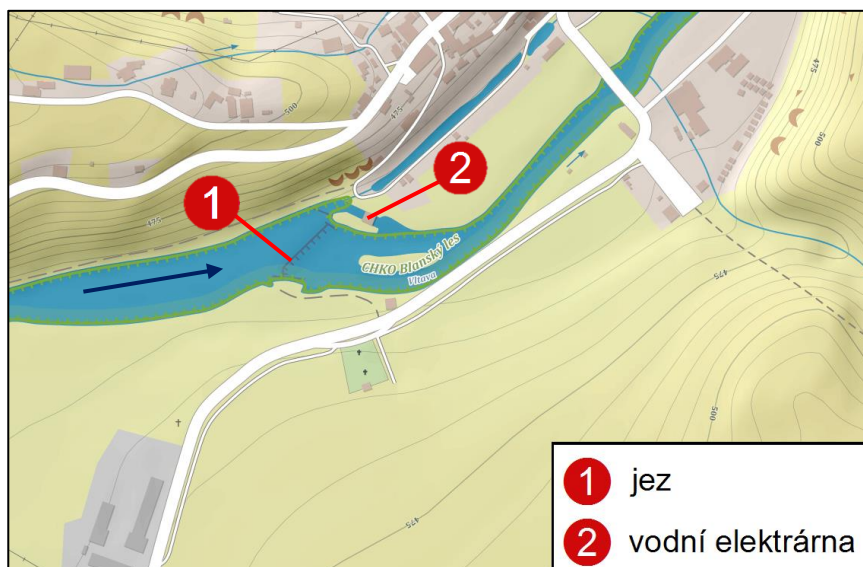
však zcela bezvýznamný. Tomu odpovídá i absence jakéhokoliv pokusu o případné budování vodní elektrárny.¹⁶³

4.2.25 Jez Zlatá Koruna

Na levém břehu Vltavy se na 269. kilometru říčního toku nachází MVE Zlatá Koruna napájená ze stejnojmenného jezu. Elektrárna je osazena dvěma přímoproudými Kaplanovými turbínami s celkovým výkonem 324 kW a v provozu od roku 2010.¹⁶⁴

Tabulka 25: Technické parametry MVE Zlatá Koruna¹⁶⁵

MVE Zlatá Koruna - Technické parametry	
Umístění	Levý břeh
Počet strojů	2
Typ turbíny	Přímoproudá Kaplanova turbína
Návrhový spád	2,5m
Návrhový průtok	16 m ³ ·s ⁻¹
Celkový výkon	324 kW



Obrázek 30: Jez Zlatá Koruna – mapa¹⁶⁶

¹⁶³ Jezy na Vltavě. *Půjčovna lodí a raftů Vltava, Lužnice* [online]. 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.kanak.cz/pujcovna-lodi-vltava/o-vltave/jezy-na-vltave>

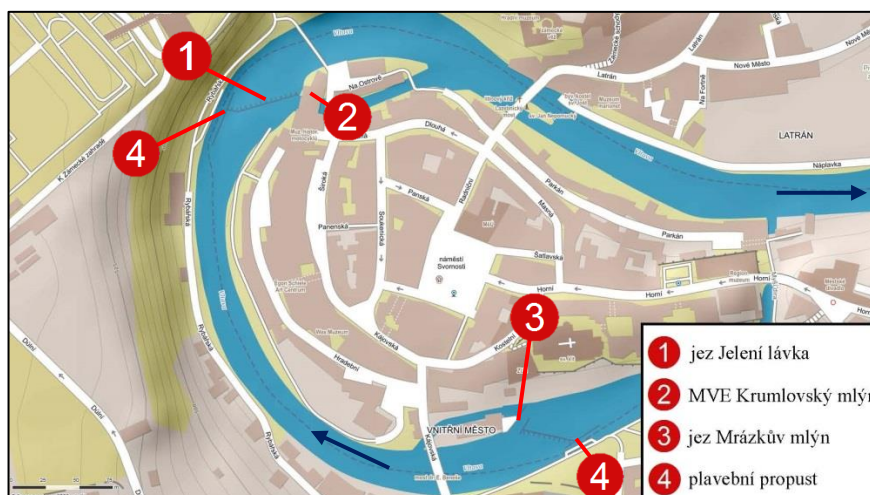
¹⁶⁴ MVE Zlatá koruna. *Hydroka* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.hydroka.cz/reference/mve-zlata-koruna/66>

¹⁶⁵ MVE Zlatá koruna. *Hydroka* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.hydroka.cz/reference/mve-zlata-koruna/66>

¹⁶⁶ *Výřez mapy upraven autorem práce.* 2020. Dostupné také z: mapy.cz

4.2.26 Jez Jelení lávka

Na 283. kilometru Vltavy se uprostřed Českého Krumlova nachází jez Jelení lávka. Svou vyhlášenost a atraktivitu mezi vodáky ztratil 1,5 m vysoký vzdouvací objekt po rekonstrukci v letech 2012 – 2013. Na pravé straně je vyveden derivační kanál napájející vodní elektrárnu v Krumlovském mlýně.



Obrázek 31: Jezy Jelení lávka a Mrázkův mlýn – mapa¹⁶⁷

První zmínky o malé vodní elektrárně v Krumlovském mlýně jsou již okolo roku 1900. V roce 1930 pak byla nainstalována dvě soustrojí s Francisovými turbínami a navrhovaným maximálním celkovým výkonem 60 kW. Při optimálním stavu vody se výkon pohybuje okolo 55 kW. V současné době je vyrobená energie využívána především pro vlastní spotřebu mlýna.^{168, 169, 170}

¹⁶⁷ *Výřez mapy upraven autorem práce.* 2020. Dostupné také z: mapy.cz

¹⁶⁸ Jez U Jelení lávky - Český Krumlov. *Turistický atlas* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: https://turistickyatlas.cz/vse/misto/7885_jez-u-jeleni-lavky-cesky-krumlov.html

¹⁶⁹ Malé vodní elektrárny. *Atlas zařízení využívajících obnovitelné zdroje energie* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.calla.cz/atlas/detail.php?id=1209>

¹⁷⁰ Krumlovský mlýn. *Krumlovský mlýn* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://krumlovskymlyn.cz/dalsi-sluzby/>

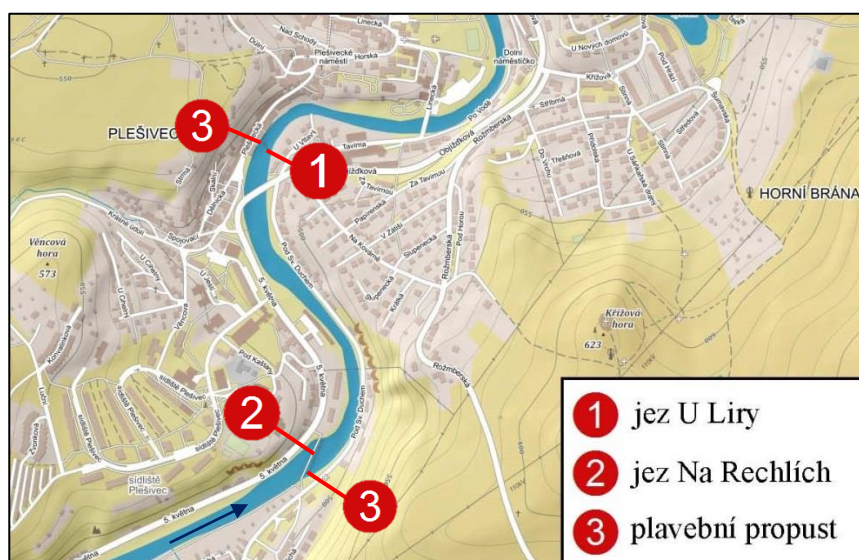
Tabulka 26: Technické parametry MVE Krumlovský mlýn^{171, 172}

MVE Krumlovský mlýn - Technické parametry	
Umístění	Pravý břeh
Počet strojů	2
Typ turbíny	Francisova turbína
Návrhový spád	1,8 m
Návrhový průtok	5 m ³ ·s ⁻¹
Celkový výkon	60 kW

4.2.27 Jezy Mrázkův mlýn, U Liry, Na Rechlich

V rozmezí necelých dvou říčních kilometrů se nachází tři jezy, které jsou významné především ze sportovního hlediska. Svou výškou v rozmezí 1 – 1,5 m nejsou však pro energetiku nijak významné.¹⁷³

Název jezu	Kilometr říčního toku	Výška jezu
Mrázkův mlýn	283	1,5 m
U Liry	284	1 m
Na Rechlich	284,9	1,1 m



Obrázek 32: Jezy U Liry a Na Rechlich – mapa¹⁷⁴

¹⁷¹ Malé vodní elektrárny. Atlas zařízení využívajících obnovitelné zdroje energie [online]. [cit. 2020-03-31].

Dostupné z: <http://www.calla.cz/atlas/detail.php?id=1209>

¹⁷² Krumlovský mlýn. Krumlovský mlýn [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://krumlovskymlyn.cz/dalsi-sluzby/>

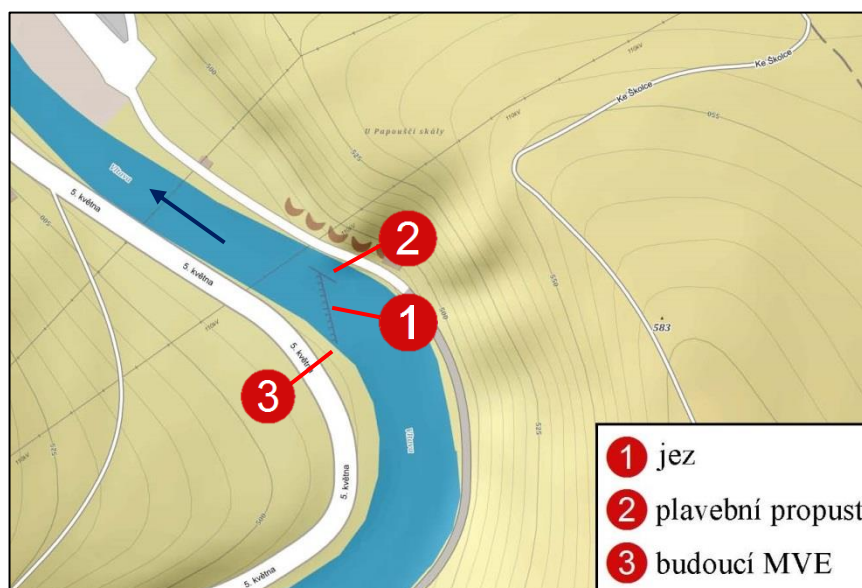
¹⁷³ Jezy na Vltavě. Půjčovna lodí a raftů Vltava, Lužnice [online]. 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.kanak.cz/pujcovna-lodi-vltava/o-vltave/jezy-na-vltave>

4.2.28 Jez U Papouščí skály

Jiným jménem též jez Konopa získal své současné jméno po roce 1999, kdy rakouská malířka pomalovala skalisko na pravém břehu barvami, jejichž fragmenty jsou dodnes patrné. V současné době probíhá na levém břehu výstavba malé vodní elektrárny a nového rybího přechodu využívající k napájení vzduť jezu. Elektrárna bude osazena dvěma soustrojími s přímoproudými Kaplanovými turbínami s celkovým výkonem 140 kW.^{175, 176}

Tabulka 27: Technické parametry MVE Papouščí skála¹⁷⁷

MVE Papouščí skála - Technické parametry	
Umístění	Levý břeh
Počet strojů	2
Typ turbíny	Přímoproudá Kaplanova turbína
Návrhový spád	2,3 m
Návrhový průtok	11 m ³ ·s ⁻¹
Celkový výkon	140 kW



Obrázek 33: Jez U Papouščí skály – mapa¹⁷⁸

¹⁷⁴ Výřez mapy upraven autorem práce. 2020. Dostupné také z: mapy.cz

¹⁷⁵ Jez Konopa (U Papouščí - počmáraný skály). *Turistický atlas* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: https://turistickyatlas.cz/vse/misto/7881_jez-konopa-u-papousci-pocmarany-skaly.html

¹⁷⁶ Situační výkres jezu s MVE Papouščí skála, rybím přechodem a novou sportovní propustí na Vltavě nad Českým Krumlovem. In: *Denik.cz* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.denik.cz/galerie/mala-vodni-elektrarna-papousci-skala.html?photo=3>

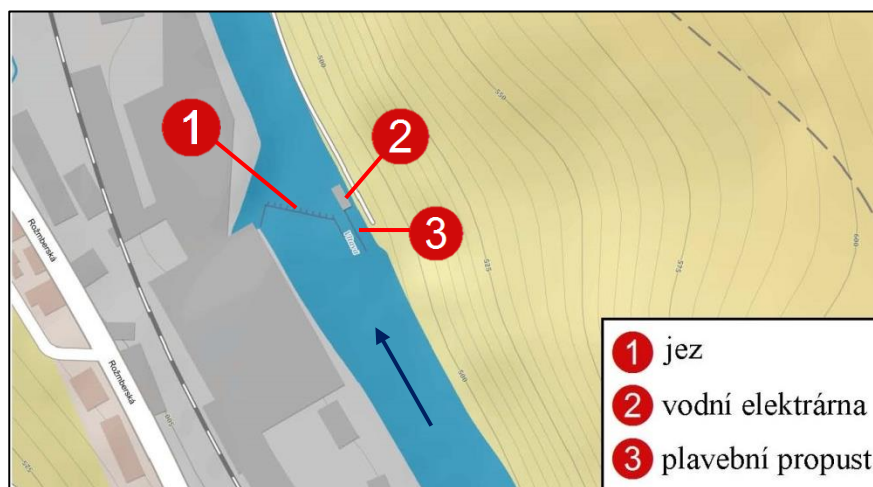
¹⁷⁷ Situační výkres jezu s MVE Papouščí skála, rybím přechodem a novou sportovní propustí na Vltavě nad Českým Krumlovem. In: *Denik.cz* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.denik.cz/galerie/mala-vodni-elektrarna-papousci-skala.html?photo=3>

4.2.29 Jez Pečkovský mlýn

Jez je významný především z pohledu vodáckého. Na jeho pravé straně je postavena MVE Větrní uvedená do provozu v roce 1999. Elektrárna je osazena Semi-Kaplanovou turbínou. Jedná se o horizontálně uloženou turbínu s pevným rozvaděčem nejčastěji používanou na nově budovaných malospádových vodních elektrárnách. Při rekonstrukcích většinou nahrazuje původně osazovanou vertikální Francisovu turbínu.^{179, 180}

Tabulka 28: Technické parametry MVE Větrní¹⁸¹

MVE Větrní - Technické parametry	
Umístění	Jez – pravá část
Počet strojů	1
Typ turbíny	Semi-Kaplanova turbína
Návrhový spád	2,4m
Návrhový průtok	8,4 m ³ ·s ⁻¹
Celkový výkon	146 kW



Obrázek 34: Jez Pečkovský mlýn – mapa¹⁸²

¹⁷⁸ Výřez mapy upraven autorem práce. 2020. Dostupné také z: mapy.cz

¹⁷⁹ Jez Pečkovský mlýn (papírna Větrní). *Turistický atlas* [online]. 2016 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: https://turistickyatlas.cz/vse/misto/7880_jez-peckovsky-mlyn-papirna-vetrni.html

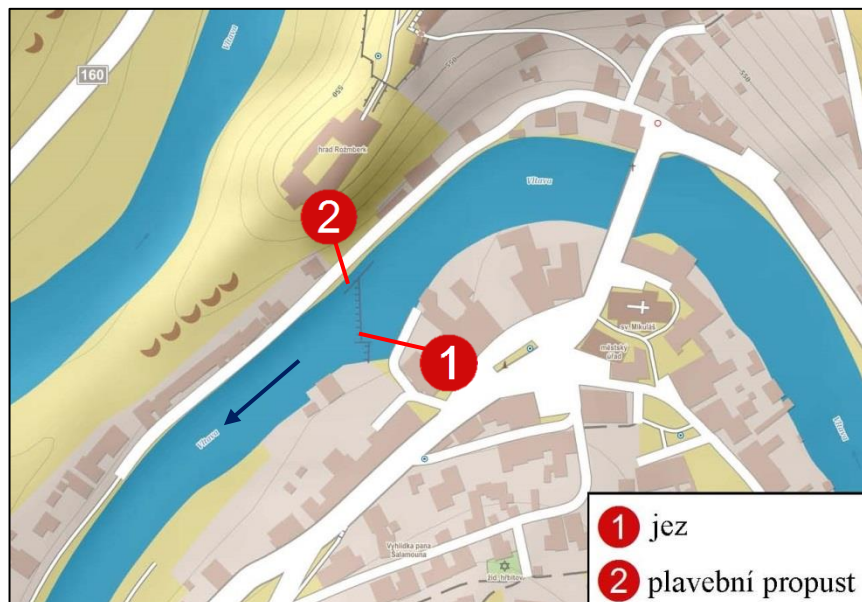
¹⁸⁰ LAIKA, Viktor. Turbína Semi-Kaplan. *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/semi-kaplan.htm>

¹⁸¹ Malé vodní elektrárny. *Atlas zařízení využívajících obnovitelné zdroje energie* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.calla.cz/atlas/detail.php?id=498>

¹⁸² Výřez mapy upraven autorem práce. 2020. Dostupné také z: mapy.cz

4.2.30 Jez Rožmberk

Kulturně zajímavý jez nacházející se v obci Rožmberk nad Vltavou je jedním ze sedmi hydroenergeticky nevyužitých jezů. Se svým spádem 1,4 m se řadí i mezi hydroenergeticky nevýznamné jezy, což dokazuje i nevyužití rekonstrukce v roce 1997 ke zbudování vodní elektrárny.^{183, 184}



Obrázek 35: Jez Rožmberk – mapa¹⁸⁵

¹⁸³ Jezy na Vltavě. *Půjčovna lodí a raftů Vltava, Lužnice* [online]. 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.kanak.cz/pujcovna-lodi-vltava/o-vltave/jezy-na-vltave>

¹⁸⁴ Jez Rožmberk nad Vltavou. *Turistický atlas* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: https://turistickyatlas.cz/vse/misto/7879_jez-rozmberk-nad-vltavou.html

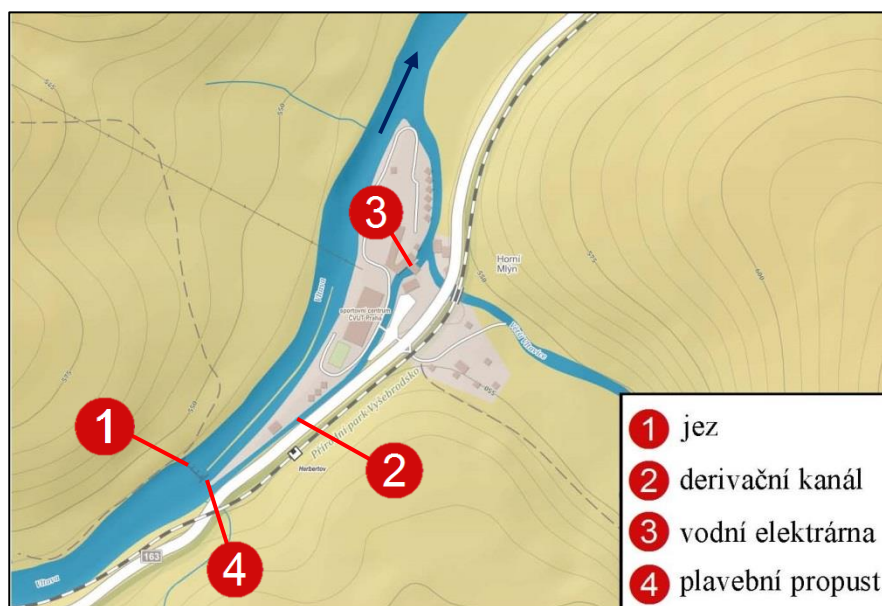
¹⁸⁵ *Výřez mapy upraven autorem práce*. 2020. Dostupné také z: mapy.cz

4.2.31 Jez Herbertov

Na 315. říčním kilometru, těsně před soutokem Vltavy a Větší Vltavice, umístěný, 1,5 m vysoký jez je kromě sportovních účelů významný napájením derivačního kanálu vedoucí vodu do malé vodní elektrárny, která patří ČVUT.¹⁸⁶

Tabulka 29: Technické parametry MVE ČVUT Herbertov¹⁸⁷

MVE ČVUT Herbertov - Technické parametry	
Umístění	Náhon – pravý břeh
Počet strojů	1
Typ turbíny	Kaplanova turbína
Návrhový spád	2,95m
Návrhový průtok	4,5 m ³ ·s ⁻¹
Celkový výkon	120 kW



Obrázek 36: Jez Herbertov – mapa¹⁸⁸

¹⁸⁶ Jez Herbertov. *Oficiální stránky města Český Krumlov* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.ckrumlov.cz/cz1250/region/vodapr/i_herber.htm

¹⁸⁷ *Obnovitelné zdroje energie – malá vodní energie*. 2 s. Dostupné také z: https://www.tc.cz/files/istec_publications/tl_mve_006.pdf

¹⁸⁸ *Výřez mapy upraven autorem práce*. 2020. Dostupné také z: mapy.cz

4.2.32 Jez U Bílého mlýna

Pro vodáky velmi zajímavý jez s vyvedeným 8 m derivačním kanálem, který napájí, dle výkonové klasifikace s $P < 35 \text{ KW}$, domácí vodní elektrárnu Bílý mlýn osazenou jedním soustrojím s Bánkiho turbínou.¹⁸⁹

Tabulka 30: Technické parametry DVE Bílý mlýn¹⁹⁰

DVE Bílý mlýn - Technické parametry	
Umístění	Náhon – pravý břeh
Počet strojů	1
Typ turbíny	Bánkiho turbína
Návrhový spád	1,7 m
Celkový výkon	22 kW



Obrázek 37: Jez U Bílého mlýna – mapa¹⁹¹

¹⁸⁹ Malé vodní elektrárny. Atlas zařízení využívajících obnovitelné zdroje energie [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.calla.cz/atlas/detail.php?id=352>

¹⁹⁰ Malé vodní elektrárny. Atlas zařízení využívajících obnovitelné zdroje energie [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.calla.cz/atlas/detail.php?id=352>

¹⁹¹ Výřez mapy upraven autorem práce. 2020. Dostupné také z: mapy.cz

4.2.33 VD Lipno II.

Menší ze dvou vodních děl Lipno se nachází u Vyššího Brodu. Bylo budováno v 50. letech 20. století souběžně s vodní nádrží Lipno I. s primárním účelem jako vyrovnávací nádrž pro výše položenou špičkovou vodní elektrárnu.



Obrázek 38: VD Lipno II. – mapa¹⁹²

11,5 m vysoká hráz je z větší části typu zemní hráze. Uprostřed se nachází část betonového, tížného typu s dvěma bezpečnostními přelivy. V levé části hráze se nachází pološpičková malá vodní elektrárna osazená jednou Kaplanovou turbínou o výkonu 1,5 MW.
193, 194

Tabulka 31: Technické parametry MVE Lipno II.¹⁹⁵

MVE Lipno II. - Technické parametry	
Umístění	Levý břeh
Počet strojů	1
Typ turbíny	Kaplanova turbína
Průměr oběžného kola	2 120 mm
Spád	4,0 – 10,0 m
Návrhový průtok	20 m ³ ·s ⁻¹
Celkový výkon	1 500 kW

¹⁹² Výřez mapy upraven autorem práce. 2020. Dostupné také z: mapy.cz

¹⁹³ Přehrada Lipno II. TV-ADams.wz.cz [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/prehrada_lipno_2.html

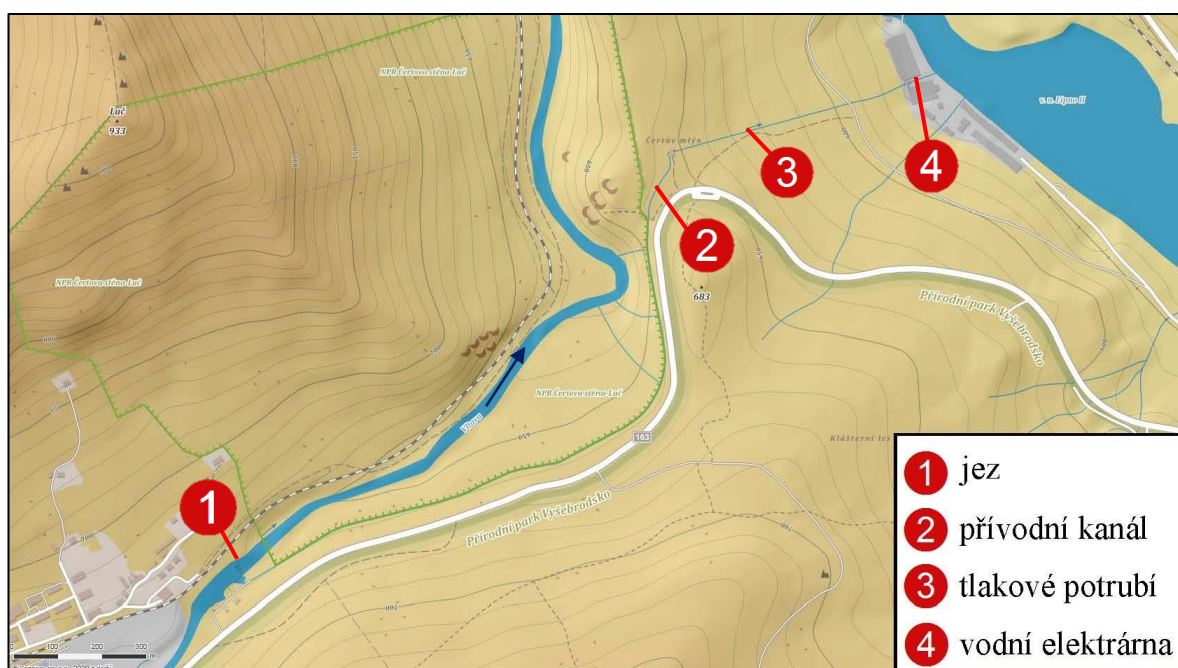
¹⁹⁴ Vodní dílo Lipno II. VisitVltava.cz: Vltava, řeka Vltava, přehrady na Vltavě [online]. 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.visitvltava.cz/cz/vodni-dilo-lipno-ii/22/>

¹⁹⁵ Přehrada Lipno II. TV-ADams.wz.cz [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/prehrada_lipno_2.html

4.2.34 Spirův jez

Historicky technicky významný, dnes už jen turisticky zajímavý jez. Byl vybudován koncem 19. století s primárním účelem přivodu vody do vodní elektrárny u Vyššího Brodu. Prvotní oficiální zmínka pochází z roku 1896, kdy se započalo s výstavbou přivodního kanálu. V roce 1898, kdy bylo vodní dílo výnosem Pražského Císařského dvora schváleno k provozu, však stále nebylo z důvodů obtížnosti stavby a neustálým drobným úpravám projektové dokumentace dokončeno. Jednou z posledních změn v projektu bylo rozhodnutí využití čtyř soustrojí s Francisovými turbínami místo původně plánovaných osmi Girardových turbín. Dílo bylo dokončeno v roce 1902 a o rok později spuštěno do provozu.

Přívod vody do elektrárny se dělil na dvě části. První byl přivodní kanál dlouhý 1 650 m se spádem 1 ‰. Druhou částí bylo jedno 560 m dlouhé tlakové potrubí o průměru 1,8 m schopné dodávat až $7,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Původně byla elektrárna osazena třemi hydrogenerátory s horizontálními Francisovými turbínami o výkonu 1 700 kW, napětí 15 kV a frekvenci 42 Hz. Výkon byl přenášen přímo do papíren Větrní. V roce 1911 byla elektrárna rozšířena čtvrtým soustrojím o výkonu 2 700 kW a transformovnou na napětí 22,5 kV.¹⁹⁶



Obrázek 39: Spirův jez a Spirova elektrárna – mapa¹⁹⁷

¹⁹⁶ Spirova elektrárna Vyšší Brod 1. díl - Výstavba. *Loučovice-Historie.cz: Historie Loučovic a širokého okolí* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.loucovice-historie.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=44:1-dil-vystavba&catid=14&Itemid=225

¹⁹⁷ *Výřez mapy upraven autorem práce.* 2020. Dostupné také z: mapy.cz

V průběhu první poloviny 20. století, především pak ve 20. letech probíhalo další rozšiřování elektrárny, opravy náhonu, či jezu. Posledním rozšířením elektrárny byla instalace pátého soustrojí s Francisovou turbínou o výkonu 9 000 kW. S instalovaným výkonem 16,8 MW byla elektrárna největší hydrocentrálou v Rakousko-Uherské monarchii.¹⁹⁸ Dle ČSN 70 0120 by se v té době řadila do kategorie středních vodních elektráren.¹⁹⁹

Elektrárna začala ztrácet svůj význam v 50. letech 20. století spolu se stavbou vodní nádrže Lipno I. Alespoň za sníženého provozu a postupného rozebírání některých částí pracovala kvůli závislosti papíren ve Větřní na dodávce elektrické energie s frekvencí 42 Hz až do 70. let minulého století, kdy byly stroje v papírnách modernizovány a Spirova elektrárna pozbyla potřeby. Od té doby objekty pouze chátrají. O případné obnově elektrárny se neuvažuje.²⁰⁰

Tabulka 32: Technické parametry Spirova elektrárna (mezi lety 1928 a 1959)^{201, 202, 203}

Spirova elektrárna - Technické parametry (V době maximálního instalovaného výkonu)	
Umístění	Náhon - Pravý břeh
Počet strojů	5
Typ turbíny	Francisova turbína
Návrhový spád	94,6 m
Návrhový průtok	21,4 m ³ ·s ⁻¹
Celkový výkon	16 800 kW
Dnes již není v provozu!!!	

¹⁹⁸ Spirova elektrárna Vyšší Brod 2. díl - Modernizace. *Loučovice-Historie.cz: Historie Loučovic a širokého okolí* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.loucovice-historie.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=46:spirova-elektrarna-dil-2-modernizace&catid=14&Itemid=225

¹⁹⁹ ČSN 75 0120. *Vodní hospodářství*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2009, 166 s.

²⁰⁰ Spirova elektrárna Vyšší Brod 3. díl - Konec elektrárny pod Čertovou stěnou. *Loučovice-Historie.cz: Historie Loučovic a širokého okolí* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.loucovice-historie.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=49:spirova-elektrarna-vyssi-brod-3-dil-konec-elektrarny-pod-certovou-stenou&catid=14&Itemid=225

²⁰¹ Spirova elektrárna Vyšší Brod 1. díl - Výstavba. *Loučovice-Historie.cz: Historie Loučovic a širokého okolí* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.loucovice-historie.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=44:1-dil-vystavba&catid=14&Itemid=225

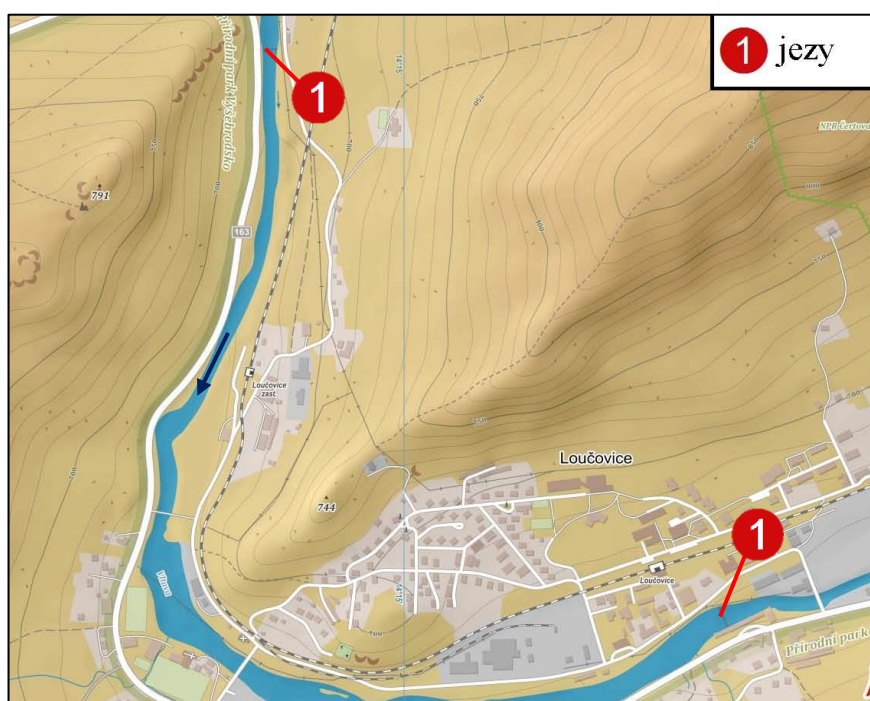
²⁰² Spirova elektrárna Vyšší Brod 2. díl - Modernizace. *Loučovice-Historie.cz: Historie Loučovic a širokého okolí* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.loucovice-historie.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=46:spirova-elektrarna-dil-2-modernizace&catid=14&Itemid=225

²⁰³ Spirova elektrárna Vyšší Brod 3. díl - Konec elektrárny pod Čertovou stěnou. *Loučovice-Historie.cz: Historie Loučovic a širokého okolí* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.loucovice-historie.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=49:spirova-elektrarna-vyssi-brod-3-dil-konec-elektrarny-pod-certovou-stenou&catid=14&Itemid=225

4.2.35 Loučovické jezy

Níže položený ze dvou Loučovických jezů byl vybudován za účelem odvedení vody do umělého kanálu a umožnění plavby polenového dříví kolem nesplavného úseku Vltavy a přivedení vody do vodní elektrárny ve Vyšším Brodě. V pozdějších letech byl ve své funkci přivaděče vody do kanálu nahrazen novějším Spirovým jezem. Dnes je jez se svým spádem 1 m zajímavý pouze pro vodáky.²⁰⁴

Výše položený jez se v současné době snad ani nedá považovat za regulární vzdouvací objekt. Jedná se spíše o rozvaleninu sloužící vodákům jako zpestření jízdy již tak nesnadným úsekem Vltavy.²⁰⁵



Obrázek 40: Loučovické jezy – mapa²⁰⁶

4.2.36 VD Lipno I.

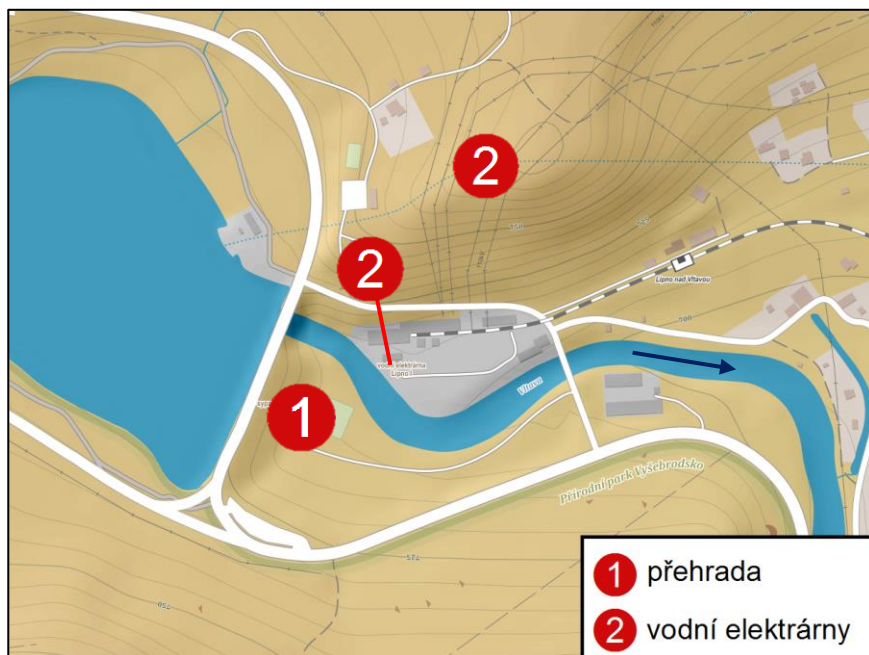
Na Vltavě nejvýše položené vodní dílo se nachází na 330. říčním kilometru. Přípravné práce začaly už v letech 1946 – 1947 a hlavní stavební práce pak po schválení úvodního projektu v letech 1952 – 1959. Primárním účelem stavby bylo energetické využití a ochrana území před povodněmi. Hráz je ze dvou třetin sypaného zemního typu a z jedné třetiny

²⁰⁴ Loučovický jez a Porákův kanál. *Hotel Kilián* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.hotelkilian.cz/cs/loucovicky-jez-a-porakuv-kanal#.XoNoCEAzBRZ>

²⁰⁵ Vltava – pod Lipnem. *Pádlér* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.padler.cz/vodacky-pruvodce/31792-vltava-pod-lipnem/>

²⁰⁶ *Výřez mapy upraven autorem práce*. 2020. Dostupné také z: mapy.cz

betonová, tízná s dvěma přelivovými poli. Vodní nádrž velikosti 48,70 km² je největší vodní plochou v ČR.



Obrázek 41: VD Lipno I. – mapa²⁰⁷

Vodní dílo obsahuje dvě elektrárny. Původně bylo počítáno pouze s malou vodní elektrárnou umístěnou v přehradní hrázi. Vzhledem k rostoucí spotřebě bylo rozhodnuto o využití spádu mezi Lipnem a Vyším Brodem pro zbudování špičkové elektrárny umístěné hluboko pod zemí.

Malá vodní elektrárna v tělese hráze obsahuje jednu Francisovu turbínu s výkonem 0,3 MW.

Tabulka 33: Technické parametry MVE Lipno I.^{208, 209}

MVE Lipno I. - Technické parametry	
Umístění	Hráz
Počet strojů	1
Typ turbíny	Francisova turbína
Spád	18,7 – 20,6 m
Návrhový průtok	1,89 m ³ ·s ⁻¹
Celkový výkon	300 kW

²⁰⁷ Výřez mapy upraven autorem práce. 2020. Dostupné také z: mapy.cz

²⁰⁸ VD Lipno I. In: *Povodí Vltavy* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/lipno-i.pdf>

²⁰⁹ Přehrada Lipno. *TV-ADams.wz.cz* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/prehrada_lipno.html

Velká špičková elektrárna je zbudována 200 m pod zemí v uměle vytvořené kaverně. Je osazena dvěma soustrojími s Francisovými turbínami, ke kterým je voda přiváděna tlakovým potrubím a odváděna 3,6 km dlouhým odpadním tunelem ústícím ve vyrovnávací nádrži Lipno II. Instalovaný výkon špičkové elektrárny je 120 MW.^{210, 211}

Tabulka 34: Technické parametry VE Lipno I.^{212, 213}

VE Lipno I. - Technické parametry	
Umístění	Umělá kaverna
Počet strojů	2
Typ turbíny	Francisova turbína
Průměr oběžného kola	1 180 mm
Spád	149,35 – 161,65 m
Návrhový průtok	92 m ³ ·s ⁻¹
Celkový výkon	120 000 kW

²¹⁰ VD Lipno I. In: *Povodí Vltavy* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/lipno-i.pdf>

²¹¹ Přehrada Lipno. *TV-ADams.wz.cz* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/prehrada_lipno.html

²¹² VD Lipno I. In: *Povodí Vltavy* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/lipno-i.pdf>

²¹³ Přehrada Lipno. *TV-ADams.wz.cz* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/prehrada_lipno.html

4.3 Kritéria hodnocení využití hydropotenciálu VD

Každé z vodních děl zbudovaných na toku má daný účel a význam, který lze klasifikovat mnoha kritérii (protipovodňová opatření, akumulace vody, energetické využití, atd.). Pro účely DP budou díla hodnocena pouze z pohledu energetiky.

Prvním kritériem je energetická významnost objektu. Energeticky významné vodní dílo se rozumí vzdouvací stavba se spádem vyšším než 2 m. V opačném případě je budování na místě neekonomické a dílo lze tedy hodnotit jako „energeticky nevýznamné“.

- Celkový počet VD 39
- Energeticky významná VD 24
- Energeticky nevýznamná VD 15

Druhým kritériem je energetické využití. Za energeticky využitá lze považovat dílo, které svým vzduším napájí vodní elektrárnu.

- Celkový počet VD 39
- Energeticky využitá VD 29
- Energeticky nevyužitá VD 10

4.4 Vyhodnocení analýzy

Pro zhodnocení analýzy využití hydropotenciálu Vltavy je nutné rozdělení problematiky do dvou částí:

- Současný stav využití hydropotenciálu Vltavy
- Možnosti rozšiřování využití energetického potenciálu Vltavy

4.4.1 Současný stav využití hydropotenciálu Vltavy

Na celkové délce 376,7 km Vltavy je vybudováno 33 vodních elektráren s celkovým instalovaným výkonem 802,588 MW. Z porovnání hodnotících kritérií je na první pohled patrné, že počet energeticky využitých děl je větší, než energeticky významných. Výjimku tvoří VD s vybudovaným derivačním kanálem a elektrárnou postavenou níže po proudu s možností vyššího spádu, než je spád samotného vzdouvacího objektu a historické objekty, především mlýny, které umístěním vodní elektrárny lákají turisty, tedy ekonomická ztráta z vybudované elektrárny je vynahrazena nárůstem příjmů z turismu. Zbývající nevyužitá vodní díla jsou z pohledu ekonomického neefektivní a nelze tedy předpokládat jejich budoucí energetické využití.

4.4.2 Možnosti rozšiřování využití energetického potenciálu Vltavy

První možností je zvýšení využití současných VD a to zbudováním VE na „volných“ vzdouvacích objektech a modernizací současných, či bývalých VE. Jak však vyplývá z předchozí analýzy, nelze tuto alternativu předpokládat, neboť všechna nevyužitá VD jsou ekonomicky neefektivní a s jejich úpravou pro VE tedy nelze počítat. Jedinou bývalou vodní elektrárnou na Vltavě je Spirova elektrárna, která však ztratila význam s vybudováním VE Lipno I a je neekonomické ji rekonstruovat (v dnešní době spíše znovu zbudovat). Modernizace elektráren v provozu pak probíhá dle aktuální potřeby.

Druhou možností je zbudování nových vodních děl s dostatečně velkým spádem, aby bylo využití výhodné. Primárním problémem při zbudování nových VD je ekologie. Jak bylo řečeno v kapitole 3, využití veškerého teoretického hydropotenciálu toku je nemožné. Jedním z hlavních důvodů je nutnost udržení alespoň minimální rychlosti vody v korytě pro zachování poříční ekologie. Nazývá se „líný“ odtok vody.²¹⁴ Lokality vhodné pro vybudování nových vodních děl jsou uvedeny v Generelu území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základních zásad využití těchto území. Přestože Generel není plánem výstavby, ale podkladem pro územní plánování, lze z, celkem 65, uvedených lokalit vycházet k předpokládaným budoucím rozšiřováním využití toků. Dle Generelu²¹⁵ není v dalších letech na Vltavě počítáno s budováním nových vzdouvacích objektů.

Pro zvyšování podílu vodní energie bude tedy nezbytné hledat nové alternativní zdroje. Příkladem může být využití plavební komory a energie vody při jejím napouštění a vypouštění. Tato problematika je stěžejním bodem diplomové práce.

²¹⁴ PAŽOUT, František. *Malé vodní elektrárny I*. Praha: SNTL, 1987.

²¹⁵ *Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základní zásady využití těchto území*. Praha, 2011, 153 s. Dostupné také z: https://www.dataplan.info/texty/DS/Generel%20LAPV_vc.protokolu.pdf

5 Návrh využití vodního zdymadla jako zdroje elektrické energie

5.1 Vodní zdymadlo

Dle definice se pod označením zdymadlo rozumí „*souhrnný název pro technické objekty zajišťující vzduť (zvednutí) vodní hladiny ve vodním toku a umožňující proplutí, či převedení plavidel mezi horní a dolní hladinou a obráceně.*“²¹⁶ Jedná se o soubor staveb, které jsou nedílnou součástí celého vodního díla. Součástí zdymadel je jez, či přehrada, zajišťující vzduť vody, plavební komora, rybí přechod a často také malá vodní elektrárna nebo objekty pro odběr vody k jiným účelům.²¹⁷

5.2 Definování plavební komory pro účely výroby elektrické energie

Z uvedené analýzy využitého hydropotenciálu Vltavy (kapitola 4) vyplývá, že většina zdymadel (souhrnných objektů) je již konvenčním způsobem, za pomoci průtočných či akumulacních elektráren, využita. Pro zvýšení využití hydropotenciálu daného zdymadla je, z důvodů zachování minimálního sanačního průtoku mimo VE, energie vody při napouštění a vypouštění PK jedinou možností.

Nevýhodou využití PK jako zdroje elektrické energie je časová nepředvídatelnost její výroby. Na rozdíl od velkých přečerpávacích elektráren je změna rozdílu hladin v PK v průběhu cyklu nezanedbatelná. Tento fakt citelně ovlivní cyklus výroby elektrické energie pomocí PK a je nezbytné brát jej v úvahu při prováděných výpočtech.

5.3 Model vodní elektrárny využívající cyklů plavební komory

Součástí DP je vytvoření matematického modelu MVE využívající cykly napouštění a vypouštění VPK Štvanice a napouštění MPK Štvanice. Pro výpočet teoretické možné vyrobené elektrické energie je využito vlastností přívodního potrubí vybrané plavební komory.

Napouštění a vypouštění VPK Štvanice a napouštění MPK Štvanice je řešeno pomocí kamenných obtokových kanálů s odbočkami rozmístěnými po celé délce PK pro její rovnoměrné napouštění. Vypouštění MPK Štvanice je dle výkresu (Příloha 6) řešeno přímo,

²¹⁶ *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvc.cz/>

²¹⁷ Zdymadlo. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Zdymadlo>

bez obtokových kanálů. Způsob provedení stávajícího přívodního potrubí je uveden v přílohách (Příloha 6, Příloha 7).

Pro účely matematického modelu MVE využívající cyklů napouštění a vypouštění VPK Štvanice a napouštění MPK Štvanice bylo navrženo nové ocelové potrubí kruhového průřezu. Výhodou tohoto potrubí jsou menší hydraulické ztráty a možnost upravení průřezu dle rozměrů navržené turbíny.

- Přívodní potrubí se skládá ze 4 částí:
 - Hlavní část: konstantní průměr, obsahuje odbočky do PK
 - Zúžená část: zúžené místo pro umístění regulačního ventilu a turbíny
 - Zužovací část: pozvolné zúžení přivaděče z hlavní do zúžené části
 - Rozšiřovací část: postupné rozšíření zúžené části přivaděče za turbínou do hlavní části přivaděče
- Zjednodušený schématický řez přívodního potrubí PK je uveden v přílohách (VPK -Příloha 2, MPK - Příloha 3).

Model je rozdělen na dvě samostatné, na sobě nezávislé části:

1. Model napouštění velké a malé plavební komory Štvanice
 - Obecné rovnice uvedené v textu DP jsou shodné pro velkou i malou PK.
2. Model vypouštění velké plavební komory Štvanice
 - Konstanty využití v modelu jsou uvedeny v tabulce v příloze (Příloha 4).

5.3.1 Zjednodušující předpoklady

Pro tvorbu matematického modelu VE využívající cyklického napouštění a vypouštění VPK Štvanice a napouštění MPK Štvanice byla stanovena zjednodušení:

- Potrubí pro napouštění a vypouštění vody z VPK je totožné
- Přívodní potrubí VPK i MPK Štvanice je plně zaplaveno
- Přívodní potrubí nátoků 1 a 2 (resp. Výtoků 1 a 2) je shodné
- Typ napouštění a vypouštění PK zůstane zachován (obtoky/přímé)
- V textu DP uváděny rovnice pouze pro jeden nátok/výtok → pokud není řečeno jinak, jsou rovnice uváděné níže v textu pro oba nátoky/výtoky totožné
- Přívodní potrubí VPK obsahuje celkem 27 odboček
- Přívodní potrubí MPK obsahuje celkem 9 odboček
- Objemový tok je ve všech odbočkách shodný
- Odbočky jsou vyvedeny v pravidelných rozestupech

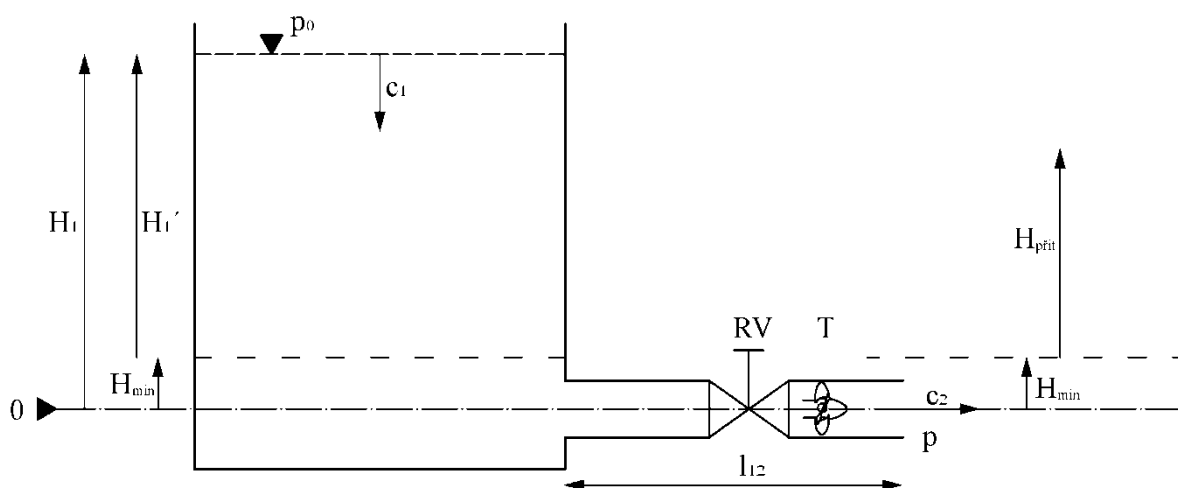
- Objemový tok vody je ve všech odbočkách shodný
- Výtokové otvory mají shodný průměr jako hlavní potrubí
 - Uvažovány odbočky se zaoblením hran
- Při napouštění je hladina nad PK konstantní ($H_1 = \text{konst.} \rightarrow c_1 = 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)
- Při vypouštění je hladina pod PK konstantní
- Při napouštění poslední odbočka (T-kus) napouštěcího potrubí uvažována jako koleno (za poslední odbočkou neproudí žádná voda)
 - Ztrátový součinitel poslední odbočky stanoven: $\zeta = 1,4$ ²¹⁸
- Při vypouštění první vtokový otvor (T-kus) do vypouštěcího potrubí uvažován jako koleno (před prvním vtokem neproudí žádná voda)
 - Ztrátový součinitel první odbočky stanoven: $\zeta = 1,4$ ²¹⁹
- Pro výpočet místních ztrát v částech zužování a rozšiřování stanovena střední rychlost proudění vody c_{AVG}
- Pro výpočet délkových ztrát energie v částech zužování a rozšiřování potrubí jsou jednotlivé kónické části nahrazeny 10 stejně dlouhými schodovými stupni
 - Pro výpočet ztrátové energie v jednotlivých částech uvažována vždy vstupní rychlost jednotlivých segmentů
- Využitá turbína má konstantní otáčky
- Rychlost vody v potrubí před a za turbínou je shodná
- Pro výpočet měrné energie turbíny zvolen jeden výpočtový poloměr (střední poloměr) \rightarrow rozdíl vstupního a výstupního úhlu β je konstantní
- Účinnosti převodů a generátorů dány střední hodnotou rozmezí účinností součástí MVE podobného výkonu

²¹⁸ HOLATA, Miroslav, Pavel GABRIEL, ed. *Malé vodní elektrárny*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0828-4.

²¹⁹ HOLATA, Miroslav, Pavel GABRIEL, ed. *Malé vodní elektrárny*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0828-4.

5.3.2 Matematický model napouštění PK Štvanice

Matematické modely napouštění velké a malé plavební komory jsou téměř totožné. Jediným rozdílem jsou zadávané konstanty rozměrů PK, délka přívodního potrubí, počet nátoků do PK a čas napouštění komory, jejichž změna se neprojeví ve vytvořených blocích modelu, ale jen v naměřených výstupních hodnotách. Následující kapitola s výčtem použitých obecných rovnic a navržených bloků v programu Matlab Simulink platí pro modely napouštění VPK i MPK Štvanice.



Obrázek 42: Zjednodušené principiální schéma napouštění VPK Štvanice (autor DP)

H_1	Výška hladiny vody před PK
H_{min}	Minimální výška hladiny vody v PK
H_1'	Výška hladiny vody před PK nad minimální hladinou
p_0	Tlak nad hladinou vody (atmosférický)
c_1	Rychlost poklesu vody před PK v průběhu napouštění
RV	Řídicí ventil
T	Turbína
l_{12}	Délka přívodního potrubí
c_2	Rychlost vody na výtoku z přívodního potrubí
p	Tlak v místě výtoku z přívodního potrubí
H_{prit}	Výška hladiny vody v PK nad minimální hladinou

- Blokové schéma matematického modelu napouštění PK Štvanice je uvedeno v příloze (Příloha 5).

5.3.2.1 Bernoulliho rovnice pro nátok

- Základ výpočtu průběhu napouštění PK

$$\frac{p_0}{\rho} + \frac{c_1^2}{2} + g \cdot H_1 = \frac{p}{\rho} + \frac{c_2^2}{2} + g \cdot H_2 + e_{dis} + e_{turb} + \dot{c}_2 \cdot l_{12} \quad (5)$$

p_0	Atmosférický tlak [Pa] ($p_0 = 10^5$ Pa)
ρ	Hustota vody [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] ($\rho = 1000$ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
c_1	Rychlost poklesu vody nad PK [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] (dle zjednodušujících předpokladů $c_1 = 0$)
g	Gravitační zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$] ($g = 9,81$ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)
H_1	Výška hladiny vody před PK nad referenční hladinou [m] (dle zjednodušujících předpokladů $H_1 = \text{konst.}$)
p	Tlak v místě výtokového otvoru [Pa]
c_2	Rychlost proudění vody ve výtokovém otvoru [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
H_2	Výška výtokového otvoru nad referenční hladinou [m] ($H_2 = 0$ m)
e_{dis}	Měrná ztrátová energie [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$]
e_{turb}	Měrná energie vsazené turbíny [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$]
\dot{c}_2	Zrychlení vody v přívodním potrubí [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]
l_{12}	délka přívodního potrubí [m]

- Vyjádření $\dot{c}_2 \rightarrow$ využití v modelu

$$\frac{p_0}{\rho} + g \cdot (H_{min} + H_1') = \frac{p_0 + \rho \cdot g \cdot (H_{min} + H_{přit})}{\rho} + \frac{c_2^2}{2} + e_{dis} + e_{turb} + \dot{c}_2 \cdot l_{12} \quad (6)$$

$$\dot{c}_2 = \frac{g \cdot (H_1' + H_{přit}) - \frac{c_2^2}{2} - e_{dis} - e_{turb}}{l_{12}} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (7)$$

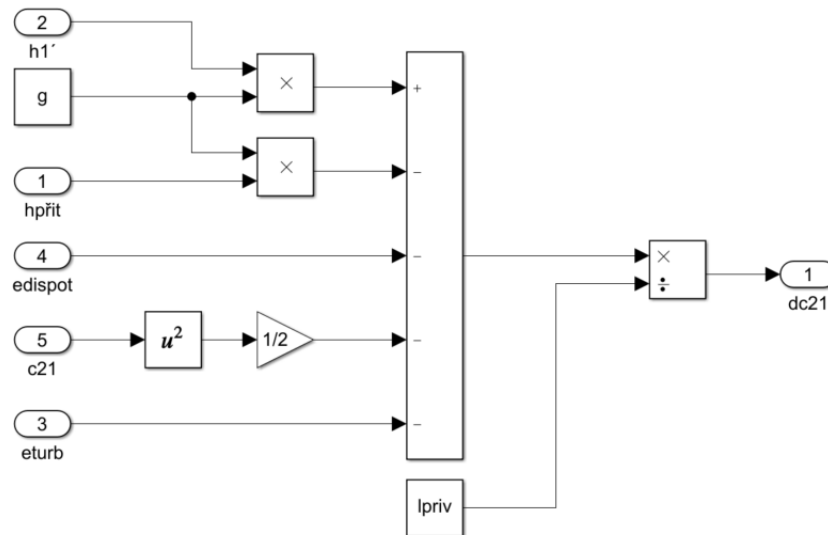
Kde:

$$c_2 = \int_0^T \dot{c}_2 dt \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (8)$$

$H_1' = \text{Hloubka}_{\max} - \text{Hloubka}_{\min}$

Hloubka_{\max} , Hloubka_{\min} : zadané konstanty dle povoleného rozmezí max a min provozních hladin (viz. Příloha 7²²⁰)

²²⁰ LEBEDOVÁ, M. POVODÍ VLTAVY. MŘ VD Štvanice. Česká republika, 2003.



Obrázek 43: Blokové schéma Bernoulliho rovnice využité v modelu napouštění PK Štvanice

5.3.2.2 Výpočet výšky vody v PK nad minimální hladinou

- $H_{přit}$ [m]
- Výpočet $H_{přit}$ z přitečeného objemového toku \dot{V}

1. Nátok

$$\dot{V}_1 = c_{21} \cdot S_{potr} \quad [m^3 \cdot s^{-1}; m \cdot s^{-1}, m^2] \quad (9)$$

2. Nátok

$$\dot{V}_2 = c_{22} \cdot S_{potr} \quad [m^3 \cdot s^{-1}; m \cdot s^{-1}, m^2] \quad (10)$$

Celkem

$$\dot{V} = \dot{V}_1 + \dot{V}_2 \quad [m^3 \cdot s^{-1}; m^3 \cdot s^{-1}, m^3 \cdot s^{-1}] \quad (11)$$

Přitečený objem vody do PK

$$V = \int_0^T \dot{V} dt \quad [m^3; m^3 \cdot s^{-1}] \quad (12)$$

Výška vody v PK nad minimální hladinou

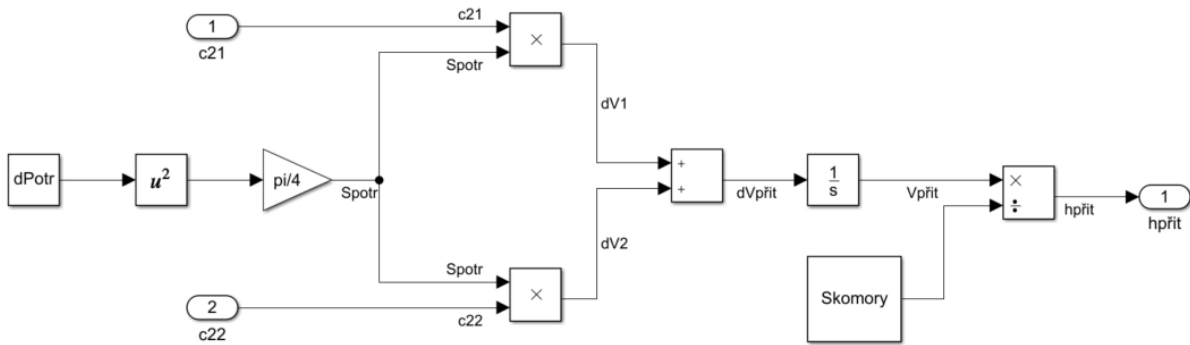
$$H_{přit} = \frac{V}{S_{komory}} \quad [m; m^3, m^2] \quad (13)$$

\dot{V}_1, \dot{V}_2objemový tok v nátocích č. 1 a č. 2 [$m^3 \cdot s^{-1}$]

\dot{V}celkový objemový tok [$m^3 \cdot s^{-1}$]

c_{21}, c_{22}rychlost vody v nátocích č. 1 a č. 2 [$m \cdot s^{-1}$]

S_{potr}, S_{komory}průřezy potrubí/komory [m^2]



Obrázek 44: Blokové schéma výpočtu výšky vody v PK nad minimální hladinou – napouštění PK Štvanice

5.3.2.3 Výpočet měrné ztrátové energie v přivaděči do PK

- e_{dis} [J·kg⁻¹]
- Obecný vzorec pro měrnou ztrátovou energii

$$e_{dis} = \zeta \cdot \frac{c^2}{2} \quad [J \cdot kg^{-1}; -, m \cdot s^{-1}] \quad (14)$$

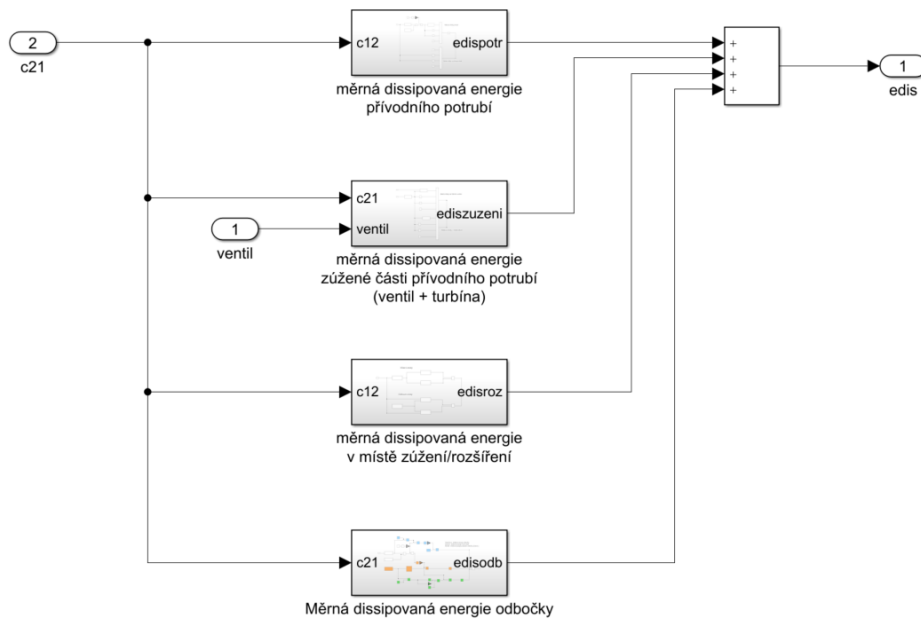
ζ ...ztrátový součinitel [-]

c ...rychlost proudění vody v daném místě [m·s⁻¹]

Pro výpočet e_{dis} rozdělení přívodního potrubí na jednotlivé úseky

- Hlavní část
- Zúžená část
- Zužovací část
- Rozšiřovací část
- Celková měrná ztrátová energie pak bude:

$$e_{dis} = \sum_{i=1}^n e_{dis_i} \quad [J \cdot kg^{-1}] \quad (15)$$



Obrázek 45: Blokové schéma výpočtu celkové měrné ztrátové energie – napouštění PK Štvanice

- Schémata jednotlivých bloků v přílohách (Příloha 8, Příloha 9, Příloha 10).

Ztráty v potrubí se dále dělí:

- Délkové – vznikají po celé délce přívodního potrubí. Ztrátový součinitel je závislý na rychlosti proudění kapaliny, délce daného úseku potrubí a jeho průměru

$$\zeta = \lambda \cdot \frac{l}{D} \quad [-] \quad (16)$$

λ ...součinitel třecích ztrát [-]

l ...délka potrubí [m]

D ...průměr potrubí [m]

Součinitel třecích ztrát λ je závislý na velikosti Reynoldsova čísla a typu proudění tekutiny.

- Reynoldsovo číslo – kvalitativní rozlišení proudění. Vyjadřuje poměr setrvačných a vazkých sil.

$$Re = \frac{\bar{c} \cdot D}{\nu} \quad [-] \quad (17)$$

\bar{c} ...střední rychlost [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

D ...průměr trubice [m]

ν ...kinematická viskozita [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$]

Na základě Reynoldsova experimentu byly stanoveny dva základní druhy proudění.

- Laminární (vrstevnaté) – $Re < 2\,300$: Vytváření tzv. proudových vrstev, které po sobě vzájemně kloužou a s výjimkou zanedbatelných molekulárních částic nedochází k jejich směšování.²²¹
 - Součinitel třecích ztrát λ_L je závislý na Reynoldsově čísle

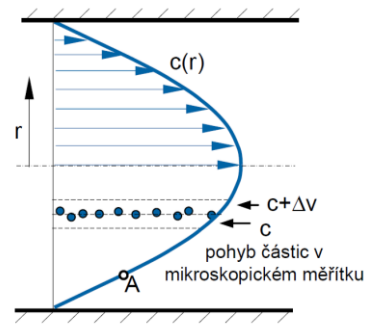
$$\lambda_L = \lambda(Re) = \frac{64}{Re} \quad [-] \quad (18)$$

- Turbulentní – $Re > 7\,000$: K prolínání jednotlivých proudových vrstev dochází na makroskopické úrovni a probíhá v celém průřezu potrubí²²²
 - Součinitel třecích ztrát λ_T je závislý na Reynoldsově čísle (Re), průměru potrubí (D) a ekvivalentní drsnosti stěn (δ).

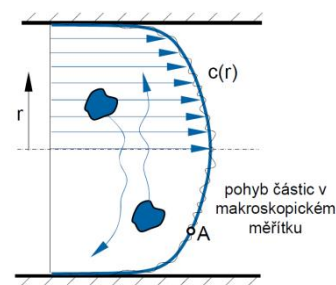
$$\lambda_T = \lambda\left(Re, \frac{\delta}{D}\right) \quad [-] \quad (19)$$

- Průběh λ_T je určen experimentálně.
- V rozmezí $2\,300 \leq Re \leq 7\,000$ se nachází přechodová oblast.

Celkový průběh součinitele třecích ztrát λ je dán Colebrook – Moody – White diagramem (Příloha 13). V modelu DP byl použit subsystém z předmětu MDS využívající pro výpočet součinitele λ výše zmíněného diagramu.



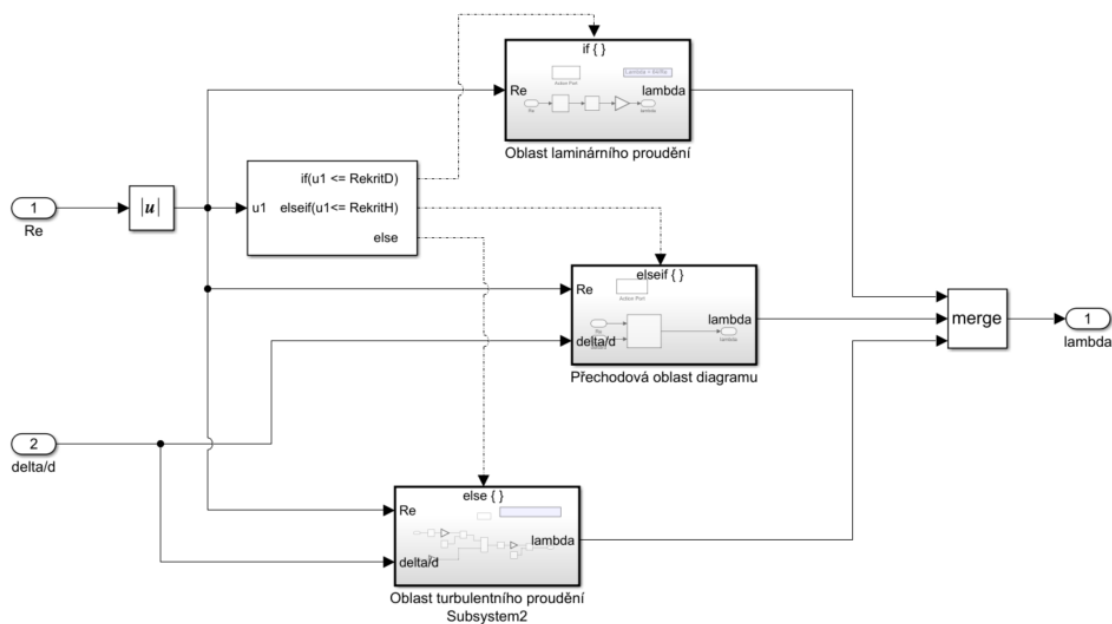
Obrázek 46: Laminární proudění



Obrázek 47: Turbulentní proudění

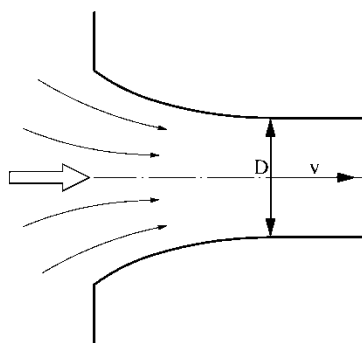
²²¹ KOČÁRNÍK, Petr. *Strojní struktury elektráren*. Praha, 2017, 14 s. Materiál k přednáškám z předmětu SSE.

²²² KOČÁRNÍK, Petr. *Strojní struktury elektráren*. Praha, 2017, 14 s. Materiál k přednáškám z předmětu SSE.



Obrázek 48: Blokové schéma Colebrook – Moody – White diagramu²²³

- b) Místní – vznikají v místě změny průřezu potrubí, směru proudění, či odbočky. Ztrátový součinitel je dán tabulkovými hodnotami pro jednotlivé změny potrubí
- V modelu napouštění bylo uvažováno s těmito místními ztrátami
 - Na vtoku potrubí: $\zeta_M = 0,4$ – Uvažováno ideální zaoblení vstupních hran²²⁴



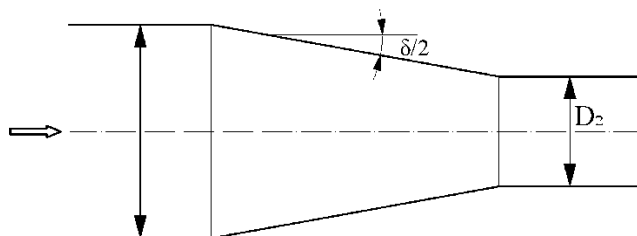
Obrázek 49: Tvar vtokového objektu do tlakového přivaděče pro $\zeta = 0,04$ ²²⁵

²²³ KOČÁRNÍK, Petr. *Modelování dynamických soustav*. Materiály k předmětu Modelování dynamických soustav.

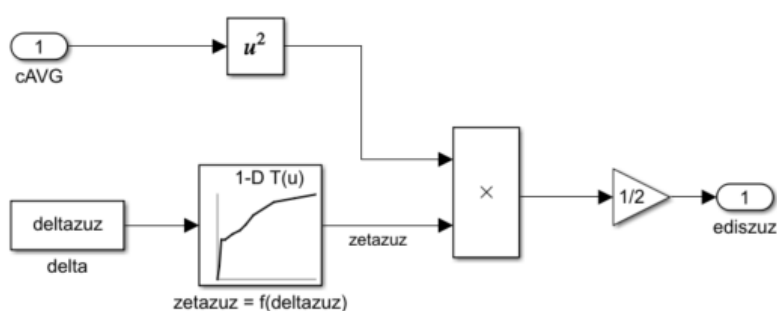
²²⁴ HOLATA, Miroslav, Pavel GABRIEL, ed. *Malé vodní elektrárny*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0828-4.

²²⁵ HOLATA, Miroslav, Pavel GABRIEL, ed. *Malé vodní elektrárny*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0828-4.

- Zužovací část před ventilem a turbínou: Součinitel místních ztrát $\zeta_{zuž}$ je závislý na velikosti zužovacího úhlu δ . Tabulka závislosti $\zeta_{zuž} = f(\delta)$ pro pozvolné zúžení je uvedena v příloze (Příloha 14).

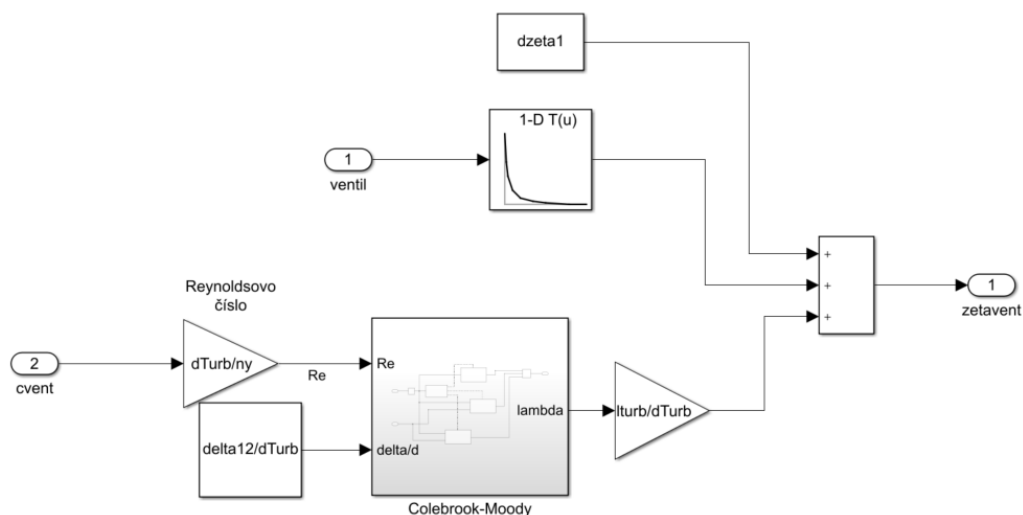


Obrázek 50: Pozvolné zúžení přivaděče²²⁶



Obrázek 51: Blokové schéma výpočtu místních ztrát v zužovací části potrubí

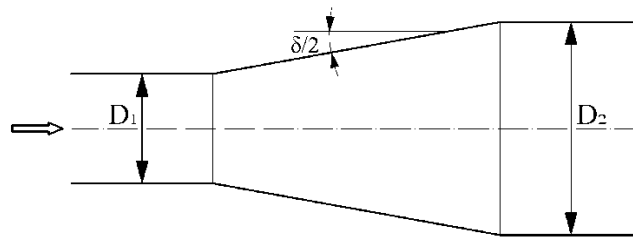
- Ztrátový součinitel ventilu ζ_{vent} je závislý na jeho otevření. V modelu DP byl pro určení ζ_{vent} využit subsystem z předmětu MDS uvažující charakteristiky zavíracího ventilu.



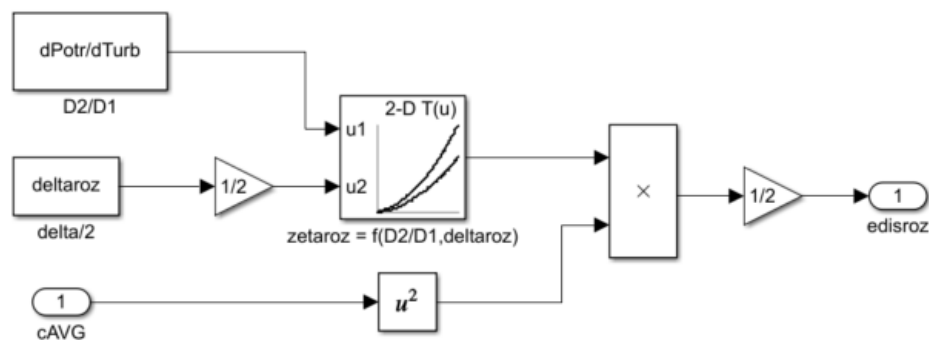
Obrázek 52: Blokové schéma výpočtu ztrátového součinitele řídicího ventilu^{227-upraveno autorem DP}

²²⁶ HOLATA, Miroslav, Pavel GABRIEL, ed. *Malé vodní elektrárny*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0828-4.

- Blokové schéma místních ztrát řídicího ventilu a délkových ztrát zúženého místa přívodního potrubí je uvedeno v příloze (Příloha 9).
- Rozšiřovací část za ventilem a turbínou: Součinitel místních ztrát ζ_{roz} je závislý na poměru průměrů potrubí před a za rozšířením a velikosti rozšiřovacího úhlu δ . Graf závislosti $\zeta_{roz} = f\left(\frac{D_2}{D_1}, \delta\right)$ je uveden v příloze (Příloha 15).



Obrázek 53: Pozvolný difuzor²²⁸

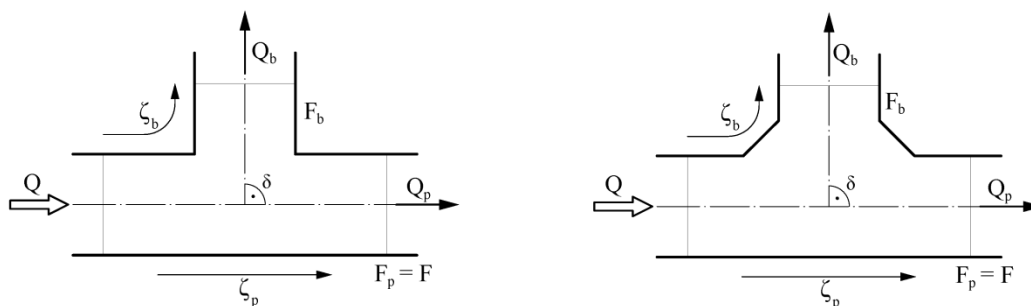


Obrázek 54: Blokové schéma výpočtu místních ztrát v pozvolném difuzoru

- Bloková schémata ztrát v zužovací a rozšiřovací části jsou uvedena v přílohách (Příloha 10, Příloha 11, Příloha 12).
- Výtokové odbočky v potrubí: v odbočce se vyskytují dva součinitele místních ztrát.

²²⁷ KOČÁRNÍK, Petr. *Modelování dynamických soustav*. Materiály k předmětu Modelování dynamických soustav.

²²⁸ HOLATA, Miroslav, Pavel GABRIEL, ed. *Malé vodní elektrárny*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0828-4.



Obrázek 55: Odbočka $\delta = 90^\circ$ bez a se zaoblením hran (autor DP)

- Ztrátový součinitel odbočky $\zeta_b = f\left(\frac{Q_b}{Q}, \delta\right)$ je závislý na poměru průtoku odbočkou k celkovému průtoku a úhlu natočení odbočky δ . Graf závislosti ζ_b je uveden v příloze (Příloha 16). Dle zjednodušujících předpokladů byla zvolena křivka $\delta = 90^\circ$ se zaoblením hran odbočky.
- Ztrátový součinitel přímého úseku ζ_p je dán rovnicí²²⁹:

$$\zeta_p = c_p \left[1 + \left(\frac{Q_p F}{Q F_p} \right)^2 - 2 \frac{Q_p F}{Q F_p} \right] \quad [-] \quad (20)$$

c_p ...korekční součinitel [-] $c_p = 1$

Q_p ...průtok vody v přímém směru [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

Q ...celkový průtok vody [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

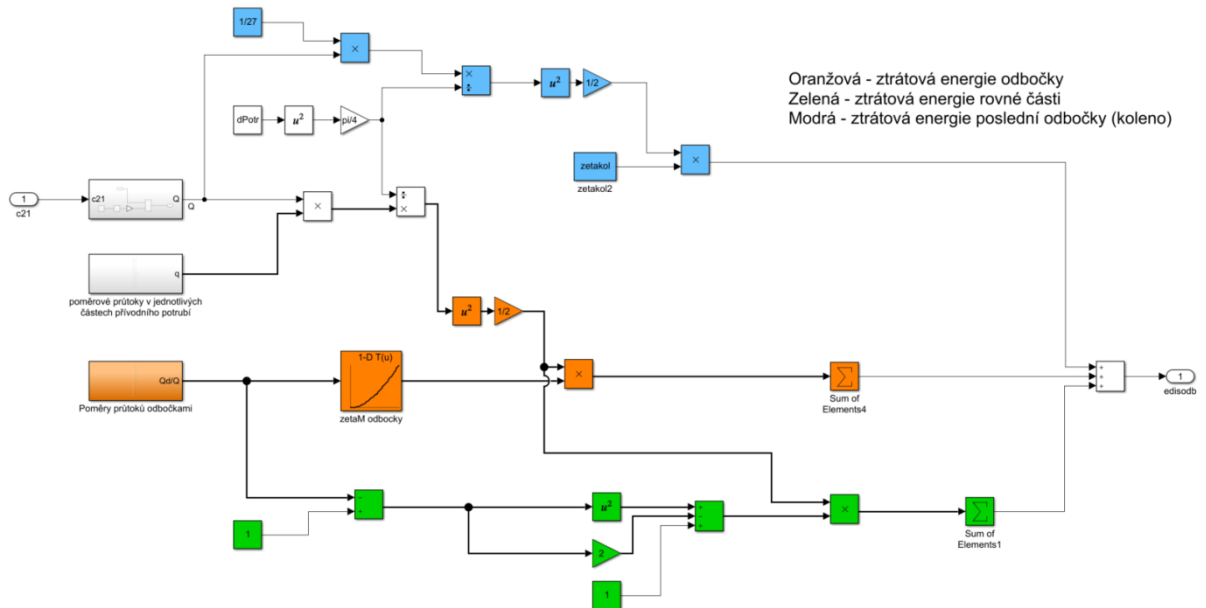
F, F_p ...síly působící na odbočku potrubí [N] ($F = F_p$)

$$\zeta_p = 1 + \left(\frac{Q_p}{Q} \right)^2 - 2 \frac{Q_p}{Q} \quad [-] \quad (21)$$

$$Q_p = Q - Q_b \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (22)$$

- Poslední odbočka: Dle zjednodušujících předpokladů je poslední odbočka uvažována jako koleno s velikostí ztrátového součinitele $\zeta_{\text{kol}} = 1,4$.

²²⁹ HOLATA, Miroslav, Pavel GABRIEL, ed. *Malé vodní elektrárny*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0828-4.



Obrázek 56: Blokové schéma měrné ztrátové energie výtokových odboček – napouštění PK Štvanice

- Rozdílný počet výtokových odboček mezi velkou a malou plavební komorou se projeví pouze v množství dílčích ztrátových energií. Princip výpočtu e_{disodb} zůstane nezměněn.

5.3.2.4 Výpočet měrné energie turbíny

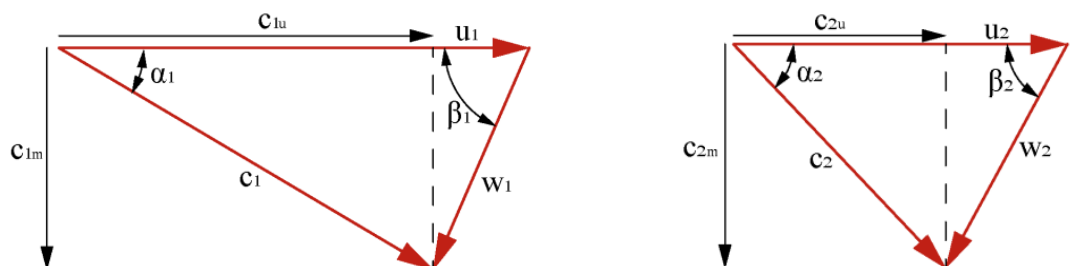
- e_{turb} [J·kg⁻¹]
- Výpočet měrné energie turbíny pomocí Eulerovy energetické rovnice

$$e_{turb} = (c_{1u} \cdot u_1 - c_{2u} \cdot u_2) \quad [J \cdot kg^{-1}; m \cdot s^{-1}, m \cdot s^{-1}] \quad (23)$$

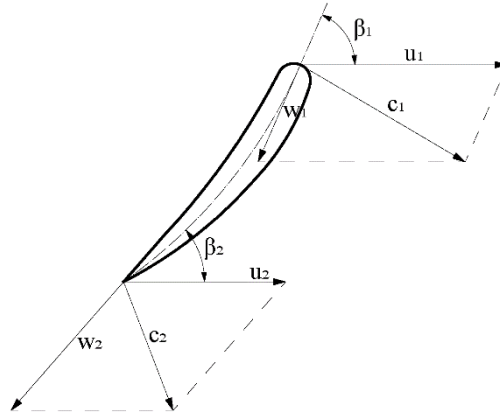
u_1, u_2 :obvodová rychlost oběžného kola turbíny [m·s⁻¹] – vstup a výstup turbíny

c_{1u}, c_{2u} :obvodová složka absolutní rychlosti tekutiny [m·s⁻¹] – vstup a výstup turbíny

- Parametry pro výpočet měrné energie turbíny lze získat pomocí vstupního a výstupního rychlostního trojúhelníku turbíny:



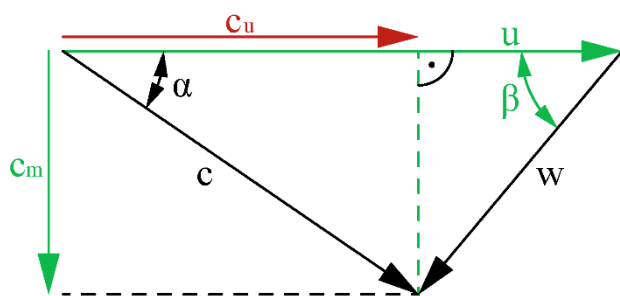
Obrázek 57: Vstupní a výstupní rychlostní trojúhelník turbíny (autor DP)



Obrázek 58: Vstupní a výstupní rychlostní trojúhelníky na lopatce turbíny²³⁰

- Pro transformaci energie vody v energii rotační byla navržena přímoproudá Kaplanova turbína z následujících důvodů:
 - Téměř čistě horizontální tvar přívodního potrubí
 - Malý spád – $H_{\max} = 5,65$ m
 - Relativně velký maximální průtok
 - Natáčecí lopatky oběžného kola → řízení času napouštění a vypouštění PK a množství vyrobené elektrické energie
 - Nejmenší citlivost účinnosti turbíny na poměru $\frac{Q}{Q_m}$
- Z výše uvedených zjednodušujících předpokladů, vlastností a parametrů navržené turbíny vyplývá:
 - $u_1 = u_2 = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot R_{\text{výpoč}}$
 n :otáčky navržené turbíny [$\text{ot} \cdot \text{s}^{-1}$]
 $R_{\text{výpoč}}$:výpočtový poloměr navržené turbíny [m]
 - $c_{1m} = c_{2m} =$ rychlost vody v potrubí v místě turbíny
 - $\Delta\beta_{12} = 5^\circ = \text{konst.}$ – navrženo pro výpočtový poloměr

²³⁰ BEDNÁŘ, Josef. *Turbíny*. Českovice: Marcela Bednářová, 2013. ISBN 978-80-905437-0-6.



Zelená: Znamé veličiny
Červená: Cílová neznámá veličina
Černá: Neznámé veličiny

Obrázek 59: Rychlostní trojúhelník turbíny s vyznačenými známými a cílovými veličinami (autor DP)

- Využití Sinovy a Cosinovy věty pro výpočet c_u (platí pro vstupní i výstupní rychlostní trojúhelník)

- Sinova věta

$$\frac{c_m}{\sin \beta} = \frac{w}{\sin 90^\circ} \rightarrow w = \frac{c_m}{\sin \beta} \quad [m \cdot s^{-1}; m \cdot s^{-1}, -] \quad (24)$$

- Cosinova věta

$$c^2 = u^2 + w^2 - 2 \cdot u \cdot w \cdot \cos \beta \quad [m \cdot s^{-1}; m \cdot s^{-1}, m \cdot s^{-1}, -] \quad (25)$$

- Výpočet c_u

$$c_u = \sqrt{c^2 - c_m^2} \quad [m \cdot s^{-1}; m \cdot s^{-1}, m \cdot s^{-1}] \quad (26)$$

- Měrná energie turbíny

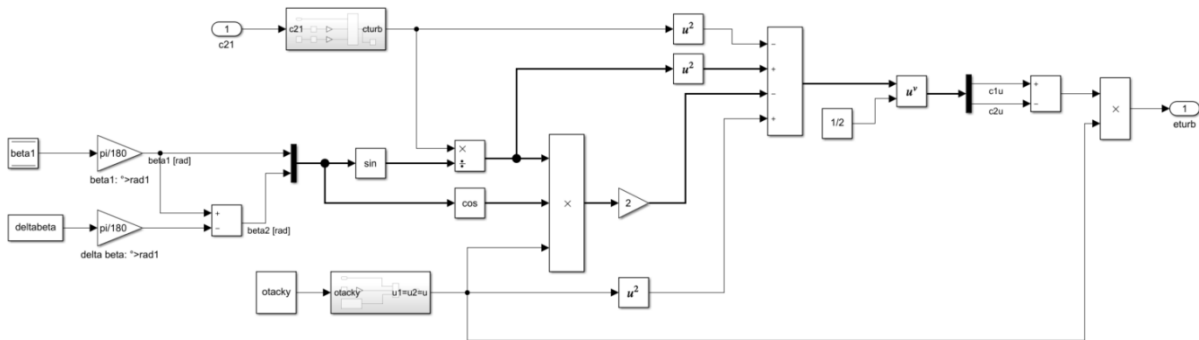
$$e_{turb} = (c_{1u} \cdot u_1 - c_{2u} \cdot u_2) \quad [J \cdot kg^{-1}; m \cdot s^{-1}, m \cdot s^{-1}] \quad (27)$$

$$e_{turb} = \left(\sqrt{c_1^2 - c_{1m}^2} \cdot u_1 - \sqrt{c_2^2 - c_{2m}^2} \cdot u_2 \right) \quad [J \cdot kg^{-1}; m \cdot s^{-1}, m \cdot s^{-1}, m \cdot s^{-1}] \quad (28)$$

$$e_{turb} = \left(\sqrt{u_1^2 + w_1^2 - 2 \cdot u_1 \cdot w_1 \cdot \cos \beta_1 - c_{1m}^2} \cdot u_1 - \sqrt{u_2^2 + w_2^2 - 2 \cdot u_2 \cdot w_2 \cdot \cos \beta_2 - c_{2m}^2} \cdot u_2 \right) \quad (29)$$

$$e_{turb} = \left(\sqrt{u_1^2 + \left(\frac{c_{1m}}{\sin \beta_1} \right)^2 - 2 \cdot u_1 \cdot \frac{c_{1m}}{\sin \beta_1} \cdot \cos \beta_1 - c_{1m}^2} \cdot u_1 - \sqrt{u_2^2 + \left(\frac{c_{2m}}{\sin \beta_2} \right)^2 - 2 \cdot u_2 \cdot \frac{c_{2m}}{\sin \beta_2} \cdot \cos \beta_2 - c_{2m}^2} \cdot u_2 \right) \quad (30)$$

$$e_{turb} = \left(\sqrt{u^2 + \left(\frac{c_m}{\sin \beta_1} \right)^2 - 2 \cdot u \cdot \frac{c_m}{\sin \beta_1} \cdot \cos \beta_1 - c_m^2} \cdot u - \sqrt{u^2 + \left(\frac{c_m}{\sin \beta_2} \right)^2 - 2 \cdot u \cdot \frac{c_m}{\sin \beta_2} \cdot \cos \beta_2 - c_m^2} \cdot u \right) \quad (31)$$



Obrázek 60: Blokové schéma výpočtu měrné energie turbíny

5.3.2.5 Výkon turbíny

- P_t [W]
- Mechanický výkon turbíny je dán vztahem:

$$P_t = e_{turb} \cdot \dot{m} = e_{turb} \cdot Q \cdot \rho \quad [W] \quad (32)$$

e_{turb}měrná energie turbíny [$J \cdot kg^{-1}$]
 \dot{m}hmotnostní průtok [$kg \cdot s^{-1}$]
 Qprůtok vody [$m^3 \cdot s^{-1}$]
 ρhustota vody [$kg \cdot m^{-3}$]

- Turbína se nachází v místě před odbočkami \rightarrow turbínou protéká veškerá voda v daném nátoku. Pro průtok turbínou tedy platí:

$$Q = c_2 \cdot S_{potr} \quad [m^3 \cdot s^{-1}; m \cdot s^{-1}, m^2] \quad (33)$$

- Výkon turbíny:

$$P_t = e_{turb} \cdot c_2 \cdot S_{potr} \cdot \rho \quad [W; J \cdot kg^{-1}, m \cdot s^{-1}, m^2, kg \cdot m^3] \quad (34)$$

5.3.2.6 Elektrický výkon na svorkách generátoru

- P_{el} [W]
- $$P_{el} = P_t \cdot \eta_{turb} \cdot \eta_{přev} \cdot \eta_{gen} \quad [W] \quad (35)$$

η_{turb}účinnost turbíny [-]

$$\eta_{turb} = f\left(\frac{Q}{Q_m}\right) \quad [-] \quad (36)$$

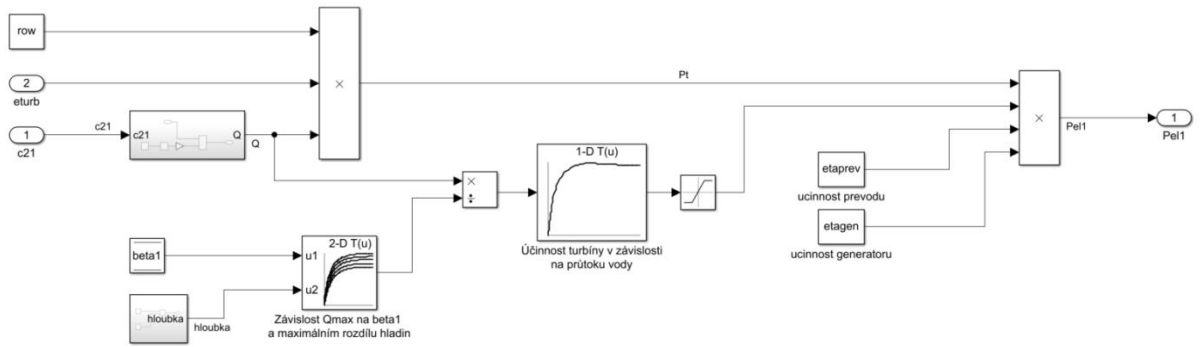
Qaktuální průtok vody turbínou [$m^3 \cdot s^{-1}$]

Q_m ...maximální průtok vody [$m^3 \cdot s^{-1}$]

$\eta_{přev}$účinnost převodů [-]

η_{gen}účinnost generátoru [-]

- Vztahy jsou totožné pro oba nátoky



Obrázek 61: Blokové schéma výpočtu elektrického výkonu

Celkový elektrický výkon (P [W])

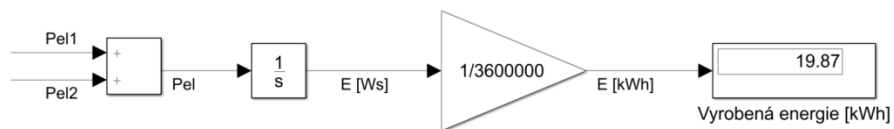
$$P = P_{el1} + P_{el2} \quad [W] \quad (37)$$

P_{el1} , P_{el2} : elektrický výkon generátorů jednotlivých přívodních potrubí

5.3.2.7 Vyrobená elektrická energie

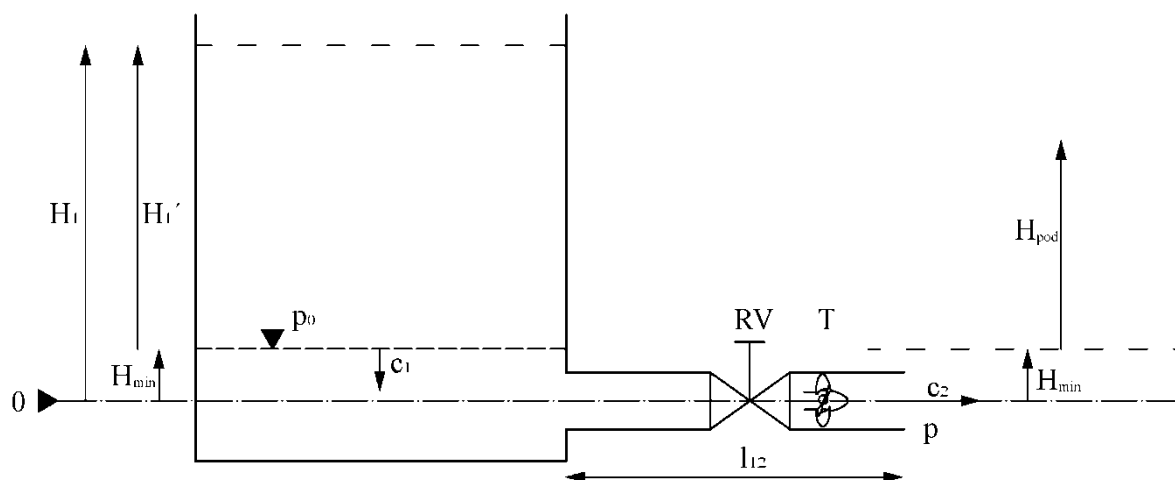
- E [kWh]
- Pro vyrobenou elektrickou energii platí vztah:

$$E = \int_0^T P dt [Ws] = \frac{\int_0^T P dt}{3600 \cdot 10^3} [kWh] \quad (38)$$



Obrázek 62: Blokové schéma výpočtu vyrobené elektrické energie

5.3.3 Matematický model vypouštění VPK Štvanice



Obrázek 63: Zjednodušené principiální schéma vypouštění VPK Štvanice (autor DP)

H_1	Výška hladiny vody v PK
H_{min}	Minimální výška hladiny vody v PK
H_1'	Výška hladiny vody v PK nad minimální hladinou
p_0	Tlak nad hladinou vody (atmosférický)
c_1	Rychlost poklesu vody v PK v průběhu vypouštění
RV	Řídicí ventil
T	Turbína
l_{12}	Délka přívodního potrubí
c_2	Rychlost vody na výtoku z vypouštěcího potrubí
p	Tlak v místě výtoku z vypouštěcího potrubí
$H_{přit}$	Výška hladiny vody pod PK nad minimální hladinou

- Blokové schéma matematického modelu vypouštění VPK Štvanice je uvedeno v příloze (Příloha 17).

5.3.3.1 Bernoulliho rovnice pro výtok

- Základ výpočtu průběhu vypouštění PK

$$\frac{p_0}{\rho} + \frac{c_1^2}{2} + g \cdot H_1 = \frac{p}{\rho} + \frac{c_2^2}{2} + g \cdot H_2 + e_{dis} + e_{turb} + \dot{c}_2 \cdot l_{12} \quad (39)$$

p_0	Atmosférický tlak [Pa] (10^5 Pa)
ρ	Hustota vody [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] ($\rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
c_1	Rychlost poklesu vody v PK [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
g	Gravitační zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$] ($g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)
H_1	Výška hladiny vody v PK nad referenční hladinou [m]
p	Tlak v místě výtokového otvoru za PK [Pa]

c_2	Rychlost proudění vody ve výtakovém otvoru [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
H_2	Výška výtakového otvoru nad referenční hladinou [m] ($H_2 = 0$ m)
e_{dis}	Měrná ztrátová energie [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$]
e_{turb}	Měrná energie vsazené turbíny [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$]
\dot{c}_2	Zrychlení vody ve výtakovém potrubí [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]
l_{12}	délka výtakového potrubí [m]

- Vyjádření $\dot{c}_2 \rightarrow$ využití v modelu

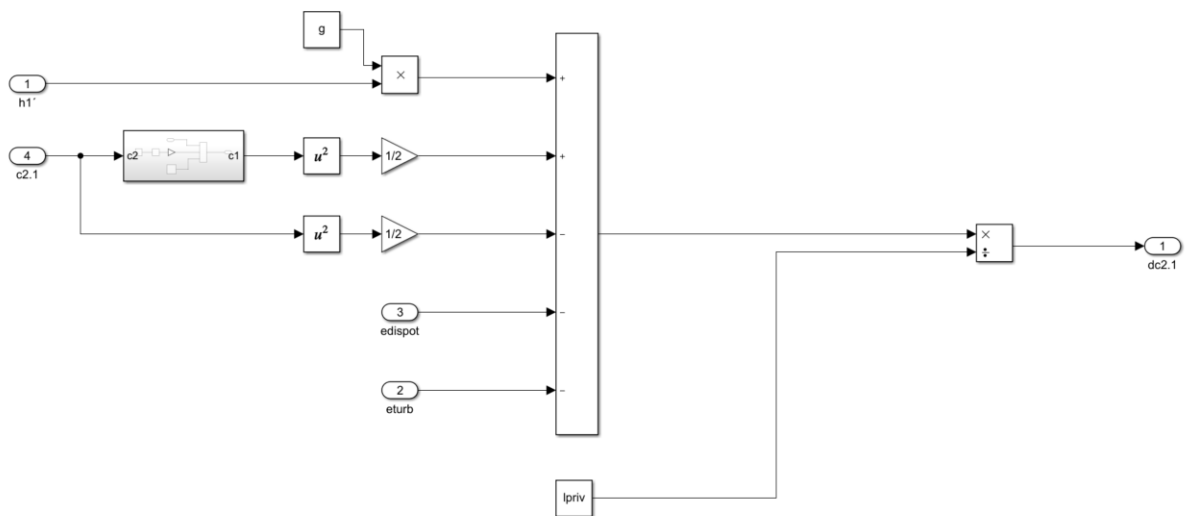
$$\frac{p_0}{\rho} + \frac{c_1^2}{2} + g \cdot (H_{min} + H'_1) = \frac{p_0 + \rho \cdot g \cdot (H_{min} + H_{pod})}{\rho} + \frac{c_2^2}{2} + e_{dis} + e_{turb} + \dot{c}_2 \cdot l_{12} \quad (40)$$

H_{pod} Výška vody nad minimální hladinou za PK [m] (dle zjednodušujících předpokladů $H_{pod} = 0$)

$$\dot{c}_2 = \frac{g \cdot H'_1 + \frac{c_1^2}{2} - \frac{c_2^2}{2} - e_{dis} - e_{turb}}{l_{12}} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (41)$$

Kde:

$$c_2 = \int_0^T \dot{c}_2 dt \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (42)$$



Obrázek 64: Blokové schéma Bernoulliho rovnice využití v modelu vypouštění VPK Štvanice

5.3.3.2 Výpočet výšky vody v PK nad minimální hladinou

- H_1' [m]

$$H_1' = H_{loubka} - H_{od} \quad [m] \quad (43)$$

$$H_{loubka} = H_{loubka_{max}} - H_{loubka_{min}} \quad [m] \quad (44)$$

$H_{loubka_{max}}, H_{loubka_{min}}$ zadané konstanty dle povoleného rozmezí max a min provozních hladin [m] (viz. Příloha 7²³¹)

H_{od} Výška vyteklé vody z PK [m]

- Výpočet H_{od} z vyteklého objemového toku

1. Výtok

$$\dot{V}_1 = c_{2.1} \cdot S_{potr} \quad [m^3 \cdot s^{-1}; m \cdot s^{-1}, m^2] \quad (45)$$

2. Výtok

$$\dot{V}_2 = c_{2.2} \cdot S_{potr} \quad [m^3 \cdot s^{-1}; m \cdot s^{-1}, m^2] \quad (46)$$

Celkem

$$\dot{V} = \dot{V}_1 + \dot{V}_2 \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (47)$$

Vyteklý objem vody z PK

$$V = \int_0^T \dot{V} dt \quad [m^3] \quad (48)$$

Výška vyteklé vody z PK

$$H_{od} = \frac{V}{S_{komory}} \quad [m; m^3, m^2] \quad (49)$$

\dot{V}_1, \dot{V}_2objemový tok ve výtocích č. 1 a č. 2 [$m^3 \cdot s^{-1}$]

\dot{V}celkový objemový tok [$m^3 \cdot s^{-1}$]

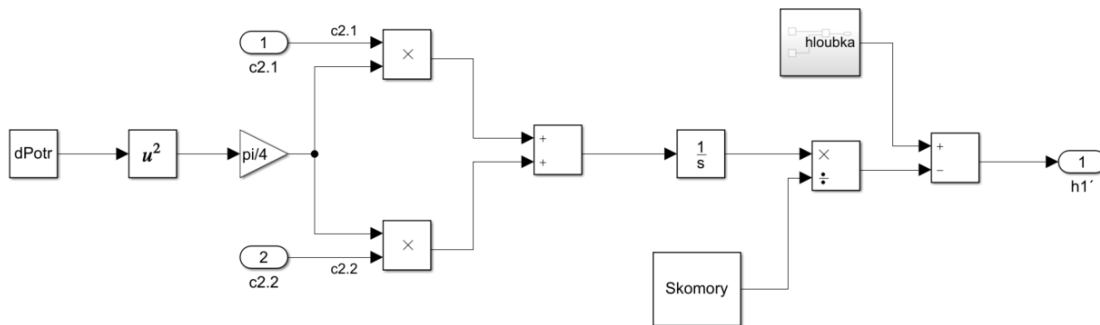
$c_{2.1}, c_{2.2}$rychlost vody ve výtocích č. 1 a č. 2 [$m \cdot s^{-1}$]

S_{potr}, S_{komory}průřezy potrubí/komory [m^2]

Výška vody v PK nad minimální hladinou

$$H_1' = H_{loubka_{max}} - H_{loubka_{min}} - \frac{V}{S_{komory}} \quad [m] \quad (50)$$

²³¹ LEBEDOVÁ, M. POVODÍ VLTAVY. MŘ VD Štvanice. Česká republika, 2003.



Obrázek 65: Blokové schéma výpočtu výšky vody v PK nad minimální hladinou – vypouštění VPK Štvanice

5.3.3.3 Výpočet měrné ztrátové energie ve výtoku z PK

- e_{dis} [$J \cdot kg^{-1}$]
- Výpočet e_{dis} pro vypouštění je principiálně shodný s výpočtem ztrátové energie pro napouštění (Str. 72)
- Obecný vzorec pro měrnou ztrátovou energii

$$e_{dis} = \zeta \cdot \frac{c^2}{2} \quad [J \cdot kg^{-1}; -, m \cdot s^{-1}] \quad (51)$$

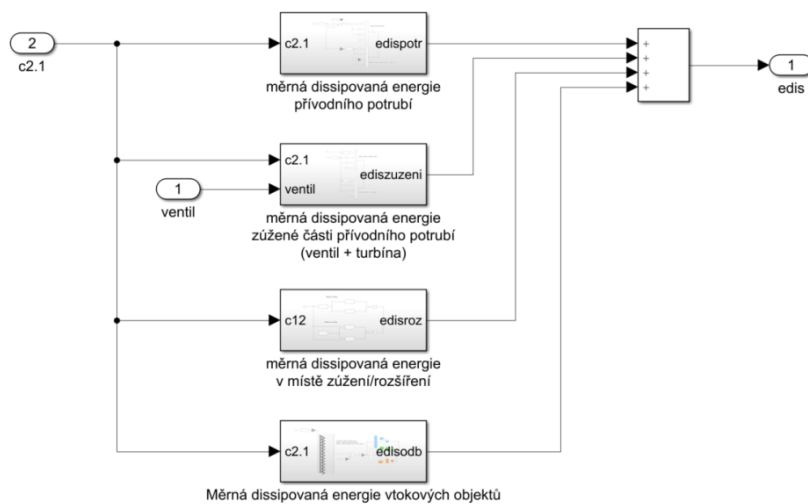
ζ ...ztrátový součinitel [-]

c ...rychlost proudění vody v daném místě [$m \cdot s^{-1}$]

Pro výpočet e_{dis} rozdělení přívodního potrubí na jednotlivé úseky

- Hlavní část
- Zúžená část
- Zužovací část
- Rozšiřovací část
- Celková měrná ztrátová energie:

$$e_{dis} = \sum_{i=1}^n e_{dis_i} \quad [J \cdot kg^{-1}] \quad (52)$$



Obrázek 66: Blokové schéma výpočtu celkové měrné ztrátové energie – vypouštění VPK Štvanice

- Schémata jednotlivých bloků v přílohách (Příloha 8, Příloha 9, Příloha 10).

a) Délkové ztráty (Str 73)

$$e_{disl} = \zeta_l \cdot \frac{c^2}{2} \quad [J \cdot kg^{-1}; -, m \cdot s^{-1}] \quad (53)$$

ζ_l ...ztrátový součinitel délkových ztrát [-]

c ...rychlost proudění vody v daném místě [$m \cdot s^{-1}$]

- Výpočet ztrátového součinitele délkových ztrát viz str. 73 - a)

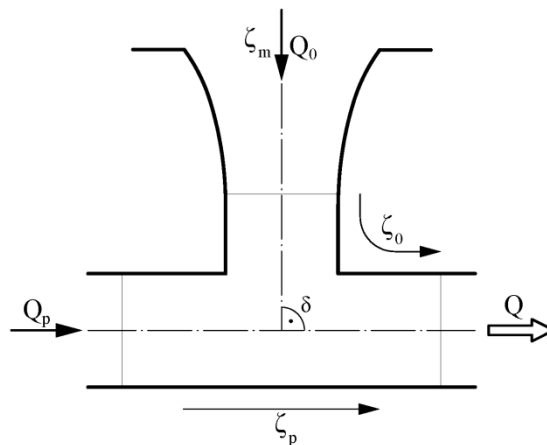
b) Místní ztráty (Str. 75)

- V modelu napouštění bylo uvažováno s těmito místními ztrátami
 - Na vtoku potrubí: $\zeta_M = 0,4$ – Uvažováno ideální zaoblení vstupních hran²³²
 - Celkem 27 nátoků – dle počtu odboček z hlavního přivaděče do PK
 - Zužovací část před ventilem a turbínou: Součinitel místních ztrát $\zeta_{zuž}$ je závislý na velikosti zužovacího úhlu δ . Tabulka závislosti $\zeta_{zuž} = f(\delta)$ pro pozvolné zúžení je uvedena v příloze (Příloha 14).
 - Ztrátový součinitel ventilu ζ_{vent} je závislý na jeho otevření. V modelu DP byl pro určení ζ_{vent} využit subsystem z předmětu MDS uvažující charakteristiky zavíracího ventilu.
 - Rozšiřovací část za ventilem a turbínou: Součinitel místních ztrát ζ_{roz} je závislý na poměru průměrů potrubí před a za rozšířením a velikosti

²³² HOLATA, Miroslav, Pavel GABRIEL, ed. *Malé vodní elektrárny*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0828-4.

rozšiřovacího úhlu δ . Graf závislosti $\zeta_{\text{roz}} = f\left(\frac{D_2}{D_1}, \delta\right)$ je uveden v příloze (Příloha 15).

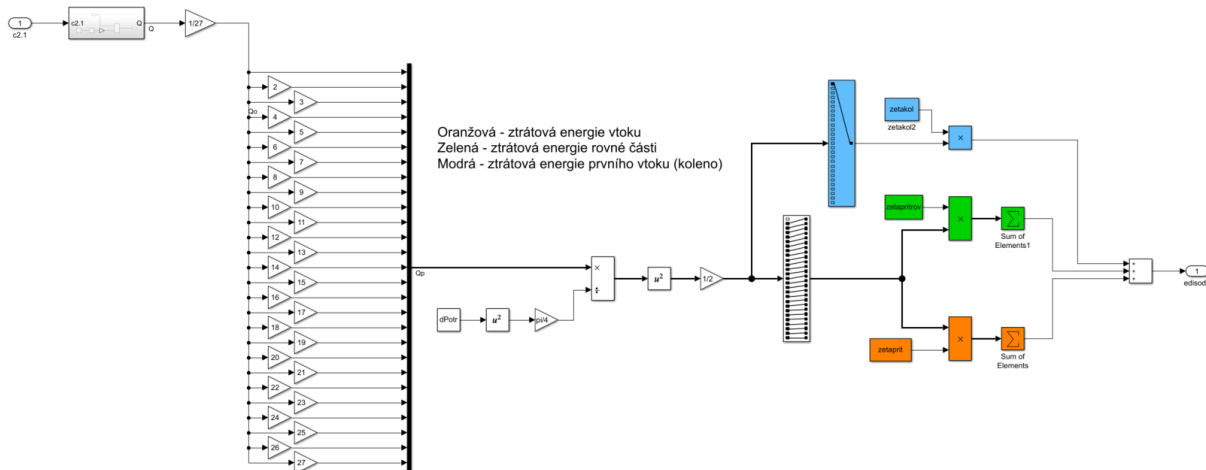
- Bloková schémata pro ztráty v zužující části, na ventilu a v pozvolném difuzoru při vypouštění jsou dle zjednodušujících předpokladů (str. 67) shodná s výpočtem ztrát při napouštění (Obrázek 51, Obrázek 52, Obrázek 54).
- Vtokové odbočky v potrubí: V odbočce se vyskytují dva součinitele místních ztrát.



Obrázek 67: Vtoková odbočka $\delta = 90^\circ$ s přidáním ztrátovým součinitelem nátoky potrubí (autor DP)

- Ztrátový součinitel odbočky při spojení $\zeta_0 = 1,5$
- Ztrátový součinitel přímého úseku při spojení $\zeta_p = 1$ ²³³

²³³ LABOUTKA, Karel a Tomáš SUCHÁNEK. Hodnoty součinitelů místních ztrát - T-kusy a křížení - přehled. *Tzbinfo* [online]. Topinfo s.r.o., 2020 [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/23-hodnoty-soucinitelu-mistnich-ztrat-t-kusy-a-krizeni-prehled>



Obrázek 68: Blokové schéma měrné ztrátové energie vtokových odboček – vypouštění VPK Štvanice

5.3.3.4 Výpočet měrné energie turbíny

- e_{turb} [J·kg⁻¹]
- Výpočet e_{turb} pro vypouštění je principiálně shodný s výpočtem měrné energie turbíny pro napouštění (Str. 79).

$$e_{turb} = \left(\sqrt{u^2 + \left(\frac{c_m}{\sin \beta_1}\right)^2} - 2 \cdot u \cdot \frac{c_m}{\sin \beta_1} \cdot \cos \beta_1 - c_m^2 \cdot u - \sqrt{u^2 + \left(\frac{c_m}{\sin \beta_2}\right)^2} - 2 \cdot u \cdot \frac{c_m}{\sin \beta_2} \cdot \cos \beta_2 - c_m^2 \cdot u \right) [J \cdot kg^{-1}] \quad (54)$$

- Blokové schéma výpočtu e_{turb} je shodné pro napouštění i vypouštění VPK Štvanice (Obrázek 60)

5.3.3.5 Výkon turbíny

- P_t [W]
- Mechanický výkon turbíny je dán vztahem:

$$P_t = e_{turb} \cdot \dot{m} = e_{turb} \cdot Q \cdot \rho \quad [W] \quad (55)$$

e_{turb}měrná energie turbíny [J·kg⁻¹]

\dot{m}hmotnostní průtok [kg·s⁻¹]

Qprůtok vody [m³·s⁻¹]

ρhustota vody [kg·m⁻³]

- Turbína se nachází v místě před odbočkami → turbínou protéká veškerá voda v daném nátoku. Pro průtok turbínou tedy platí:

$$Q = c_2 \cdot S_{potr} \quad [m^3 \cdot s^{-1}; m \cdot s^{-1}, m^2] \quad (56)$$

- Výkon turbíny P_t [W]:

$$P_t = e_{turb} \cdot c_2 \cdot S_{potr} \cdot \rho \quad [W; J \cdot kg^{-1}, m \cdot s^{-1}, m^2, kg \cdot m^3] \quad (57)$$

5.3.3.6 Elektrický výkon na svorkách generátoru

- P_{el} [W]

$$P_{el} = P_t \cdot \eta_{turb} \cdot \eta_{přev} \cdot \eta_{gen} \quad [W] \quad (58)$$

η_{turb}účinnost turbíny [-]

$$\eta_{turb} = f\left(\frac{Q}{Q_m}\right) \quad [-] \quad (59)$$

Qaktuální průtok vody turbínou [$m^3 \cdot s^{-1}$]

Q_mmaximální průtok vody [$m^3 \cdot s^{-1}$]

$\eta_{přev}$účinnost převodů [-]

η_{gen}účinnost generátoru [-]

- Vztahy jsou totožné pro oba nátoky
- Blokové schéma pro výpočet P_{el} je shodné pro napouštění i vypouštění VPK Štvanice (Obrázek 61)

Celkový elektrický výkon (P [W])

$$P = P_{el_1} + P_{el_2} \quad [W] \quad (60)$$

5.3.3.7 Vyrobená elektrická energie

- E [kWh]

- Pro vyrobenou elektrickou energii platí vztah:

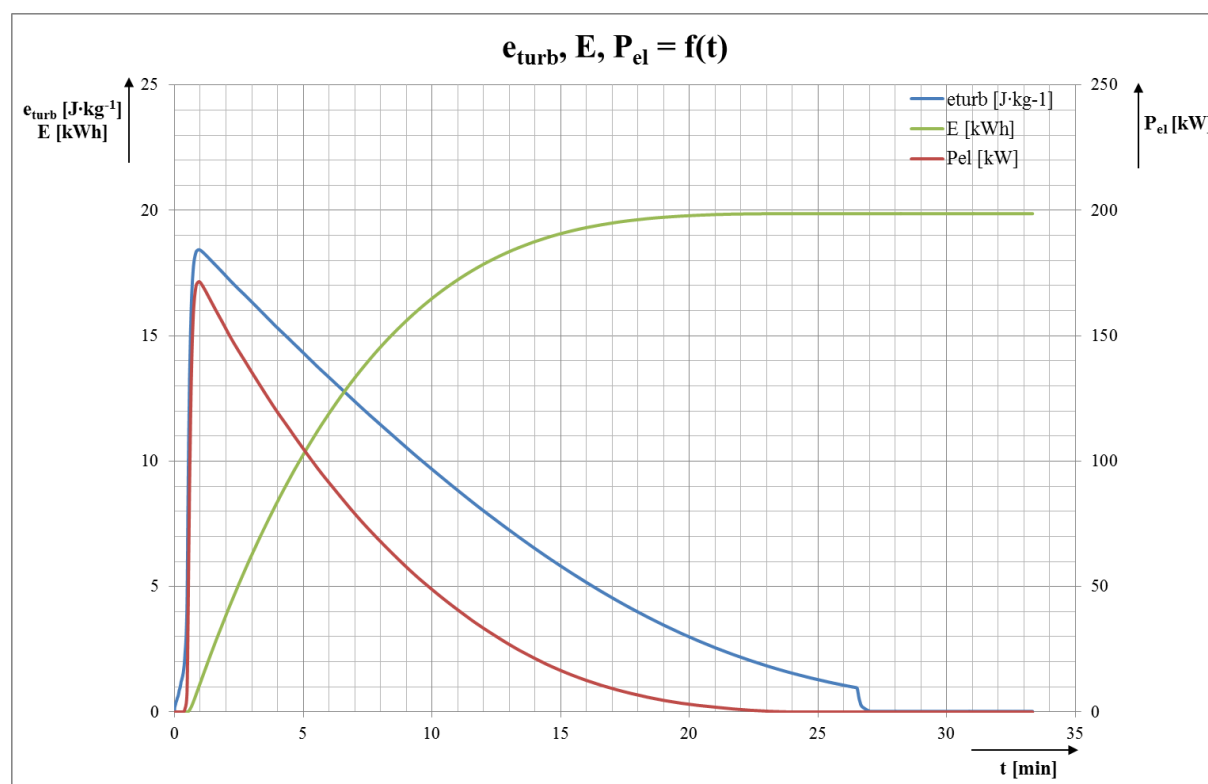
$$E = \int_0^T P dt [Ws] = \frac{\int_0^T P dt}{3600 \cdot 10^3} \quad [kWh] \quad (61)$$

- Blokové schéma pro výpočet E je shodné pro napouštění i vypouštění VPK Štvanice (Obrázek 62)

5.4 Výstupní hodnoty z matematického modelu

5.4.1 Časové průběhy veličin modelu napouštění VPK Štvanice

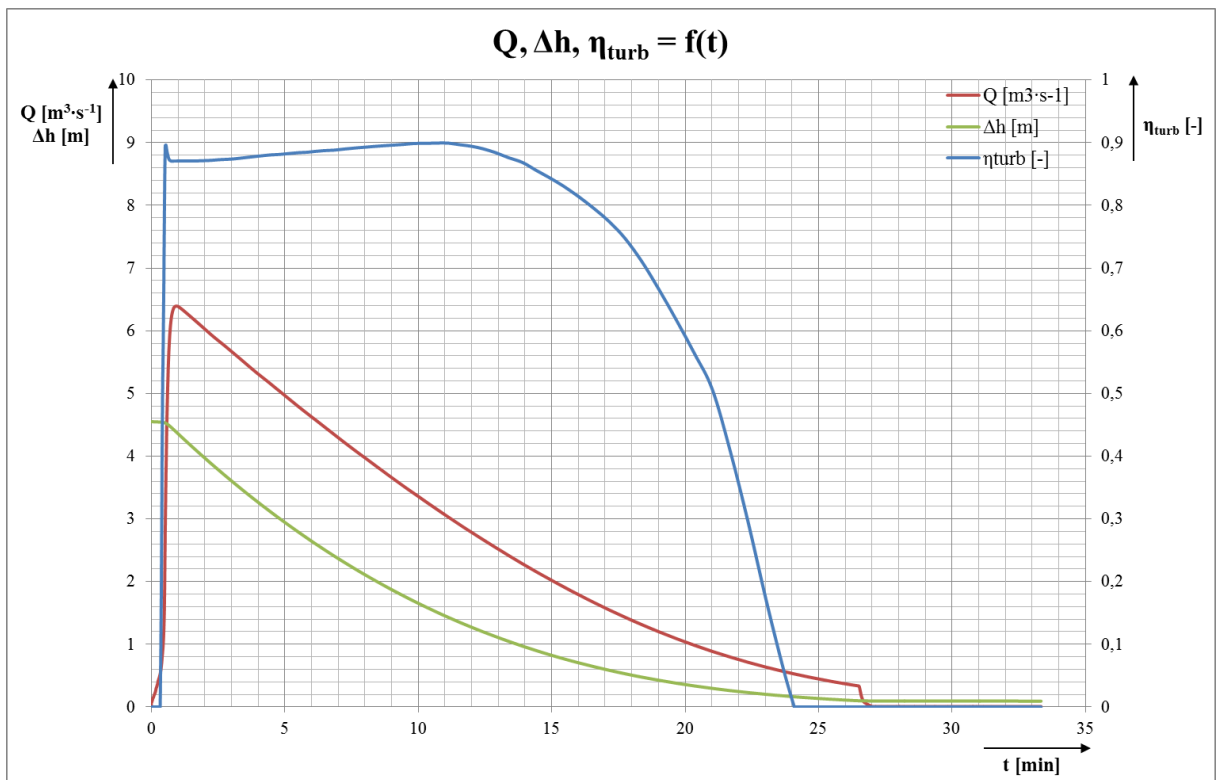
- Průběhy pro:
 - Rozdíl hladin: $4,55 \text{ m}^{234,235}$
 - Úhel natočení oběžných lopatek turbíny: 27°
- V textu uvedeny typy průběhů vyskytujících se v matematickém modelu.
- Tvary uvedených průběhů jsou shodné pro všechny tři vytvořené matematické modely.
- Průběhy, které nejsou uvedené přímo v textu, se nachází v přílohách (Příloha 18 až Příloha 27).
- Uvedené průběhy jsou totožné pro oba nátoky (viz. 5.3.1 Zjednodušující předpoklady)



Graf 1: Časový průběh měrné energie turbíny $e_{\text{turb}} [\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}]$, celkového elektrického výkonu $P_{\text{el}} [\text{kW}]$ a vyrobené elektrické energie $E [\text{kWh}]$ při $\beta_1 = 27^\circ$ a $H = 4,55 \text{ m}$ - napouštění VPK Štvanice

²³⁴ Hodnota stanovena na základě rozdílu minimálních provozních hladin VPK Štvanice

²³⁵ LEBEDOVÁ, M. POVODÍ VLTAVY. *MŘ VD Štvanice*. Česká republika, 2003.



Graf 2: Časový průběh průtoku vody potrubím Q [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], rozdílu hladin Δh [m] a účinnosti turbíny η_{turb} [-] při $\beta_1 = 27^\circ$ a $H = 4,55$ m - napouštění VPK Štvanice

5.4.1.1 Popis časových průběhů

Průtok vody hlavní částí přívodního potrubí Q [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] (Graf 2)

Po otevření řídicího ventilu velikost průtoku vody hlavní částí přívodního potrubí strmě stoupá až na svoji maximální hodnotu, následně pozvolna klesá v závislosti na velikosti odebírané a ztrátové energie a velikosti rozdílu hladin. Ve chvíli dosažení maximálního povoleného rozdílu hladin pro ukončení cyklu (v matematickém modelu nastaveno $\Delta h_{\text{pov}} = 0,1$ m) se řídicí ventil začne uzavírat \rightarrow zlom průběhu v $t \approx 2,5$ min. Pozvolnější nástup velikosti průtoku je způsoben lineární otevírací charakteristikou řídicího ventilu.

Měrná energie turbíny e_{turb} [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$] (Graf 1)

Tvar průběhu měrné energie turbíny je díky zvoleným parametrům turbíny (otáčky turbíny $n_{\text{turb}} = \text{konst.}$) shodný s tvarem průběhu průtoku vody.

Účinnost turbíny η_{turb} [-] (Graf 2)

Velikost účinnosti turbíny je dána závislostí na poměru stávajícího a maximálního průtoku (viz. ²³⁶ str. 78 obr. 12-1). V průběhu je vidět prudký nárůst až do maximální

²³⁶ VLACH, Josef. *Čísla pro energetiky*. První. Praha: Český svaz zaměstnavatelů v energetice, 2003. ISBN 80-239-1841-9.

hodnoty, která však není pro $\frac{Q}{Q_m} = 1$, následný téměř skokový průběh vlivem strmého nárůstu Q na maximální hodnotu a postupné zvyšování účinnosti zpět do maximální hodnoty a následný pokles až k nule. Zlomové změny v průběhu jsou dány skutečností, že $\eta_{\text{turb}} \geq 0$.

Elektrický výkon na svorkách generátoru P_{el} [kW] (Graf 1)

Prudký nárůst výkonu a následný pokles je dán tvarem Q a e_{turb} . Nulová hodnota na začátku průběhu a následná skoková změna je dána vlivem funkce účinnosti turbíny. Po dosažení maximální hodnoty P_{el} klesá exponenciálně až k nulové hodnotě.

Vyrobená elektrická energie E [kWh] (Graf 1)

Velikost vyrobené elektrické energie stoupá v čase z nulové hodnoty do maximální po logaritmické křivce. Pozvolnější náběh křivky je dán díky nulové počáteční hodnotě velikosti P_{el} a jejímu prudkému, nikoli však skokovému, nárůstu na maximální hodnotu.

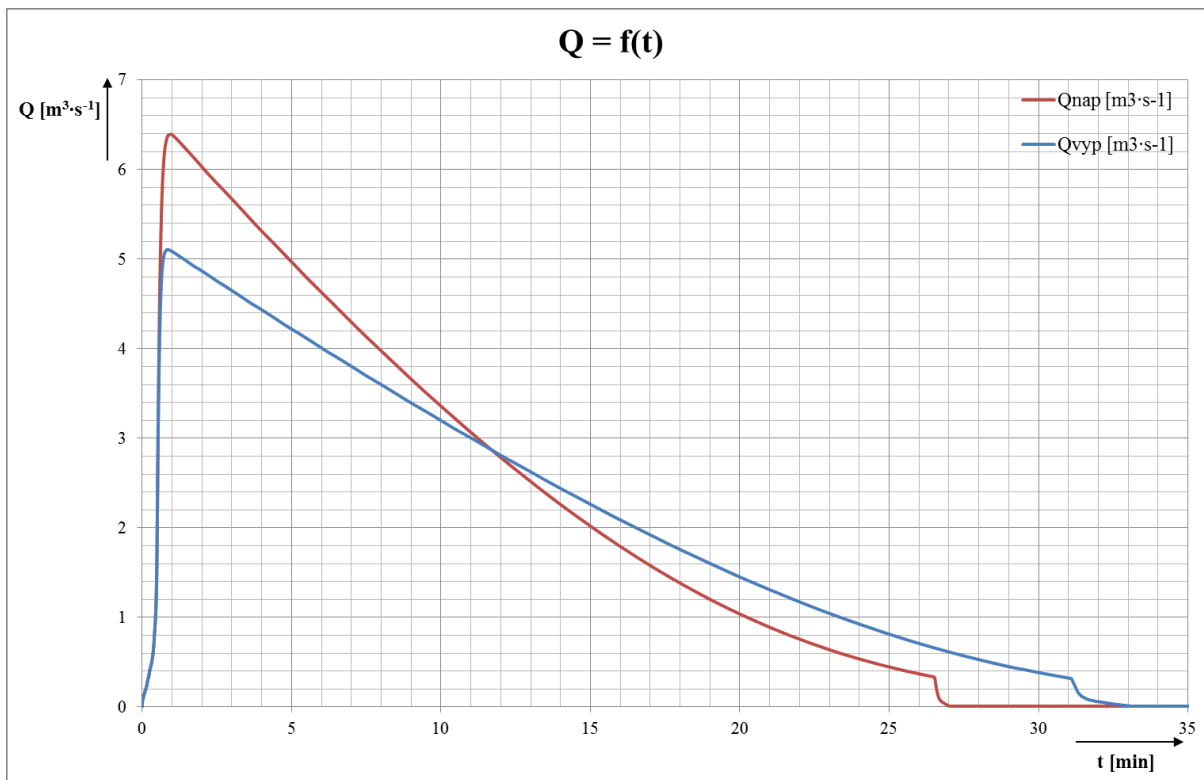
Rozdíl hladin Δh [m] (Graf 2)

Průběh Δh lze rozdělit na 4 části. První část je v rozmezí začátku simulace a času plného otevření řídicího ventilu. Druhá, hlavní část probíhá při plném otevření ŘV a má tvar klesající exponenciály. Při poklesu rozdílu hladin na určenou úroveň (pro matematický model zvoleno $\Delta h = 0,1$ m) se začne ŘV zavírat. Poslední částí je ustálená hodnota, kdy je řídicí ventil uzavřen a rozdíl hladin je v přijatelných mezích pro otevření vrat PK.

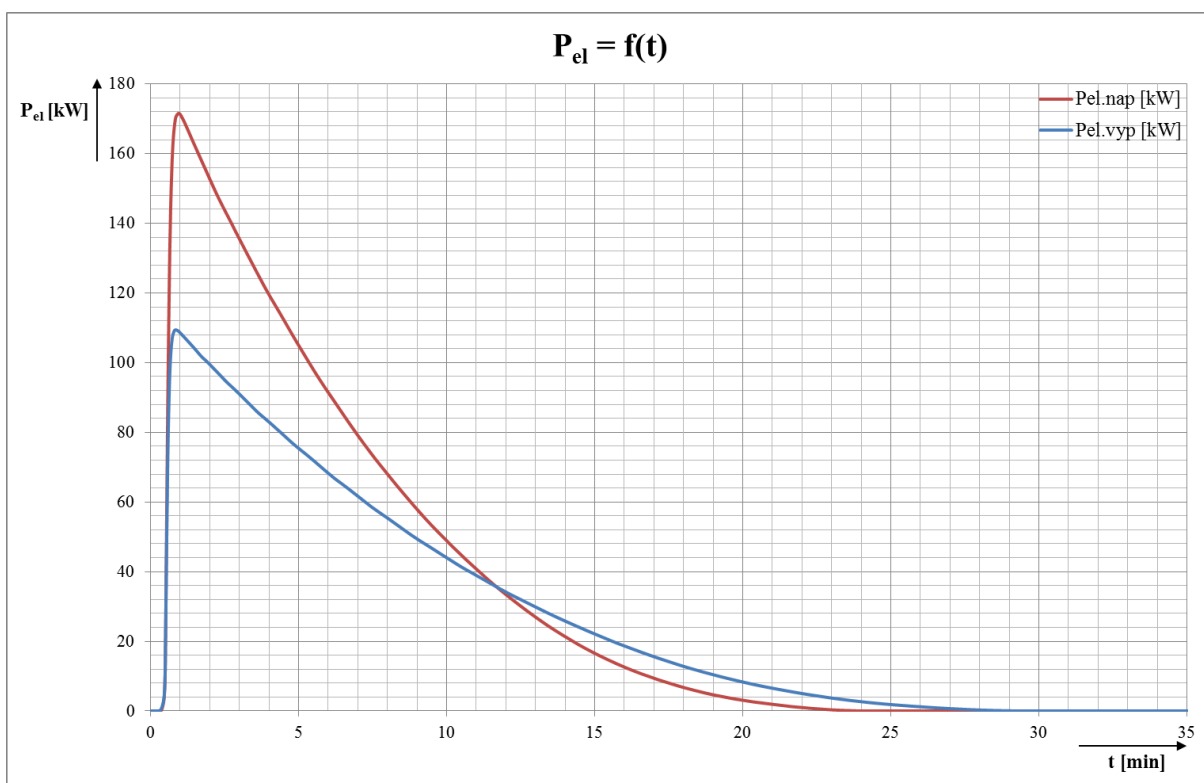
5.4.2 Časové průběhy veličin -porovnání napouštění a vypouštění VPK

Ačkoliv je přívodní potrubí pro plnění i prázdnění VPK Štvanice shodné, velikost vyrobené energie a času cyklu se při stejném natočení lopatek oběžného kola turbíny liší. Odlišnost je dána rozdílnými ztrátovými energiemi v jednotlivých modelech. V následujících grafech (Graf 3, Graf 4, Graf 5) jsou uvedeny průběhy průtoku vody, elektrického výkonu a vyrobené el. energie při shodném rozdílu hladin a natočení lopatek turbíny pro modely napouštění a vypouštění VPK Štvanice. Z uvedených grafů je na první pohled patrné, že průběhy při napouštění VPK dosahují vyšších špičkových hodnot při kratší době trvání cyklu.

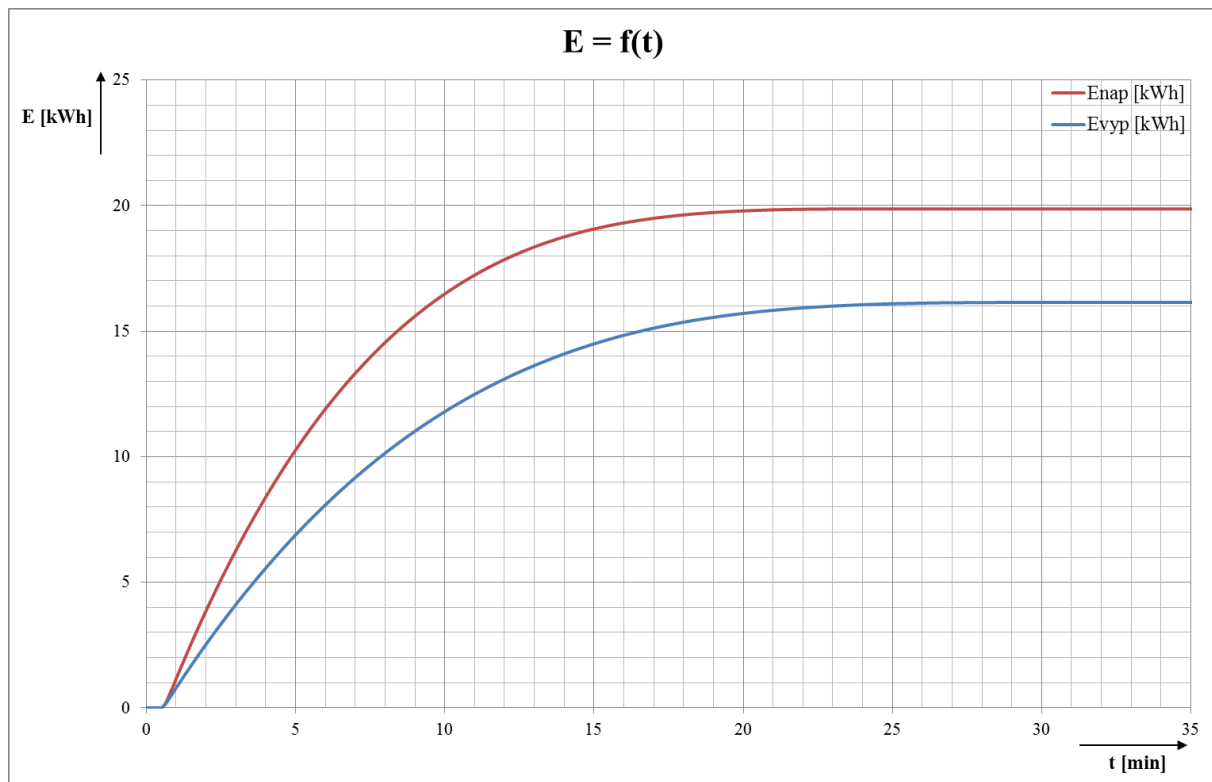
- Průběhy pro:
 - Rozdíl hladin: 4,55 m
 - Úhel natočení oběžných lopatek turbíny: 27°



Graf 3: Časový průběh průtoku vody potrubím $Q [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$ při $\beta_1 = 27^\circ$ a $H = 4,55 \text{ m}$ – porovnání napouštění a vypouštění VPK Štvanice



Graf 4: Časový průběh elektrické energie na svorkách generátoru $P_{el} [\text{kW}]$ při $\beta_1 = 27^\circ$ a $H = 4,55 \text{ m}$ – porovnání napouštění a vypouštění VPK Štvanice



Graf 5: Časový průběh vyrobené elektrické energie E [kWh] při $\beta_1 = 27^\circ$ a $H = 4,55$ m – porovnání napouštění a vypouštění VPK Štvanice

6 Ekonomické zhodnocení a proveditelnost návrhu

Následující kapitola je věnována porovnání vyrobené a spotřebované elektrické energie komplexem PK Štvanice, ekonomickému zhodnocení MVE využívající cyklů plavebních komor a vyhodnocení celkové proveditelnosti zbudování a využití tohoto typu elektrárny.

6.1 Spotřeba elektrické energie PK Štvanice

Spotřeba elektrické energie objektu PK Štvanice byla v roce 2019 64 908,8 kWh. Převážná část byla dodána místní MVE.

Tabulka 35: Spotřeba elektrické energie plavebních komor Štvanice pro rok 2018 a 2019²³⁷

	2018			2019		
	z MVE	ze sítě PRE	celkem	z MVE	ze sítě PRE	celkem
Měsíc	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
leden	4 903,0	334,0	5 237,0	6 479,0	47,0	6 526,0
únor	4 392,0	2 487,0	6 879,0	4 889,0	27,0	4 916,0
březen	9 108,0	551,0	9 659,0	4 781,0	241,0	5 022,0
duben	3 033,0	506,0	3 539,0	1 940,0	3 557,0	5 497,0
květen	3 352,0	1 874,0	5 226,0	1 275,0	4 835,0	6 110,0
červen	7 889,0	1 419,0	9 308,0	3 689,0	35,0	3 724,0
červenec	7 929,0	464,0	8 393,0	0,2	2 430,0	2 430,2
srpen	4 803,0	6 054,0	10 857,0	2 210,1	93,0	2 303,1
září	527,0	6 696,0	7 223,0	3 290,3	988,0	4 278,3
říjen	20,0	6 215,0	6 235,0	6 554,8	105,0	6 659,8
listopad	15,0	9 422,0	9 437,0	9 120,7	828,0	9 948,7
prosinec	17,0	8 310,0	8 327,0	7 308,7	185,0	7 493,7
celkem	45 988,0	44 332,0	90 320,0	51 537,8	13 371,0	64 908,8

Pro stanovení potřebné minimální vyrobené energie za jeden cyklus PK bylo využito údajů o počtu proplavených komor pro dané roky (Tabulka 36).

²³⁷ POVODÍ VLTAVY. *Spotřeba elektrické energie plavebních komor Štvanice*. 1. Praha, 2020.

Tabulka 36: Počet proplavených komor v letech 2018 a 2019²³⁸

Měsíc	2018			2019		
	malá PK	velká PK	celkem	malá PK	velká PK	celkem
leden	66	40	106	68	33	101
únor	48	36	84	71	44	115
březen	206	110	316	165	126	291
duben	406	348	754	399	319	718
květen	329	610	939	555	466	1 021
červen	14	755	769	621	518	1 139
červenec	702	276	978	570	422	992
srpen	846	4	850	569	468	1 037
září	528	391	919	468	431	899
říjen	351	282	633	527	491	1 018
listopad	202	93	295	358	365	723
prosinec	194	97	291	200	167	367
celkem	3 892	3 042	6 934	4 571	3 850	8 421

6.1.1 Průměrná spotřeba elektrické energie na jednu proplavenou komoru

- Roční průměrná spotřeba na jednu proplavenou komoru

- Rok 2018

$$PS_{2018} = \frac{CS_{2018}}{CPK_{2018}} = \frac{90\,320}{6\,934} \cong 13,03 \text{ [kWh; kWh, -]} \quad (62)$$

- Rok 2019

$$PS_{2019} = \frac{CS_{2019}}{CPK_{2019}} = \frac{64\,908,8}{8\,421} \cong 7,71 \text{ [kWh; kWh, -]} \quad (63)$$

- Průměr

$$PS_{AVG} = \frac{CS_{2018} + CS_{2019}}{CPK_{2018} + CPK_{2019}} \text{ [kWh; kWh, -]} \quad (64)$$

$$PS_{AVG} = \frac{90\,320 + 64\,908,8}{6\,934 + 8\,421} \cong 10,11 \text{ [kWh]} \quad (65)$$

- Průměrná měsíční spotřeba na jednu proplavenou komoru

$$PS_M = \frac{CS_M}{CPK_M} \text{ [kWh; kWh, -]} \quad (66)$$

Hodnota průměrné spotřeby na jednu PK pro jednotlivé měsíce je uvedena v tabulce (Tabulka 37).

²³⁸ POVODÍ VLTAVY. *VD Štvanice*. 1. Praha, 2020.

Tabulka 37: Průměrná spotřeba na jednu PK jednotlivých měsíců v letech 2018 a 2019

Měsíc	PS _M [kWh]		
	2018	2019	Průměr
leden	49,41	64,61	56,83
únor	81,89	42,75	59,27
březen	30,57	17,26	24,19
duben	4,694	7,656	6,139
květen	5,565	5,984	5,784
červen	12,10	3,270	6,830
červenec	8,582	2,450	5,494
srpen	12,77	2,221	6,974
září	7,860	4,759	6,326
říjen	9,850	6,542	7,810
listopad	31,99	13,76	19,04
prosinec	28,62	20,42	24,04

6.2 Vyrobená elektrická energie

Vlivem vložení turbíny do přívodního potrubí a odebráním energie vody k transformaci na elektrickou energii dochází, oproti času uvedenému v manipulačním řádu, k prodloužení doby cyklu. Množství vyrobené energie a čas plnění a prázdnění PK je závislý na úhlu natočení lopatek oběžného kola navržené turbíny. Tabulky a grafy délky cyklu PK a vyrobené el. energie v závislosti na úhlu natočení lopatek oběžného kola turbíny jsou uvedeny v přílohách (Příloha 28 až Příloha 36).

Délka cyklů PK uvedená v MŘ VD Štvanice²³⁹

- Velká plavební komora
 - Plnění: 13 min 25 s
 - Prázdnění: 13 min 25 s
- Malá plavební komora
 - Plnění: 10 min
 - Prázdnění: 6 min

6.2.1 Průměrná minimální vyrobená energie pomocí jednoho cyklu PK

Pro stanovení průměrné minimální vyrobené elektrické energie nezbytné pro provoz plavebních komor Štvanice je, vzhledem k využití MPK jen při napouštění, nutné stanovit počet výrobních cyklů, který se od proplavených komor liší. Pro jejich stanovení bylo

²³⁹ POVODÍ VLTAVY. Manipulační řád pro vodní dílo Štvanice na Vltavě. 1. Praha: Povodí Vltavy, 2020, 44 s.

předpokládáno, že počet plnění je roven počtu prázdnění. Data pro výpočet jsou uvedena v tabulkách (Tabulka 35, Tabulka 36).

- Rok 2018

$$E_{minR_{2018}} = \frac{CS_{2018}}{\frac{CPK_{M_{2018}}}{2} + CPK_{V_{2018}}} = \frac{90\,320}{\frac{3\,892}{2} + 3\,042} \cong 18,11 [kWh] \quad (67)$$

- Rok 2019

$$E_{minR_{2019}} = \frac{CS_{2019}}{\frac{CPK_{M_{2019}}}{2} + CPK_{V_{2019}}} = \frac{64\,908,8}{\frac{4\,571}{2} + 3\,850} \cong 10,58 [kWh] \quad (68)$$

- Průměr

$$E_{minR_{AVG}} = \frac{CS_{2018} + CS_{2019}}{\frac{CPK_{M_{2018}}}{2} + \frac{CPK_{M_{2019}}}{2} + CPK_{V_{2018}} + CPK_{V_{2019}}} [kWh] \quad (69)$$

$$E_{minR_{AVG}} = \frac{90\,320 + 64\,908,8}{\frac{3\,892}{2} + \frac{4\,571}{2} + 3\,042 + 3\,850} \cong 13,96 [kWh] \quad (70)$$

Skutečné množství vyrobené elektrické energie je závislé na aktuální spotřebě a možnosti prodloužení plavebního cyklu.

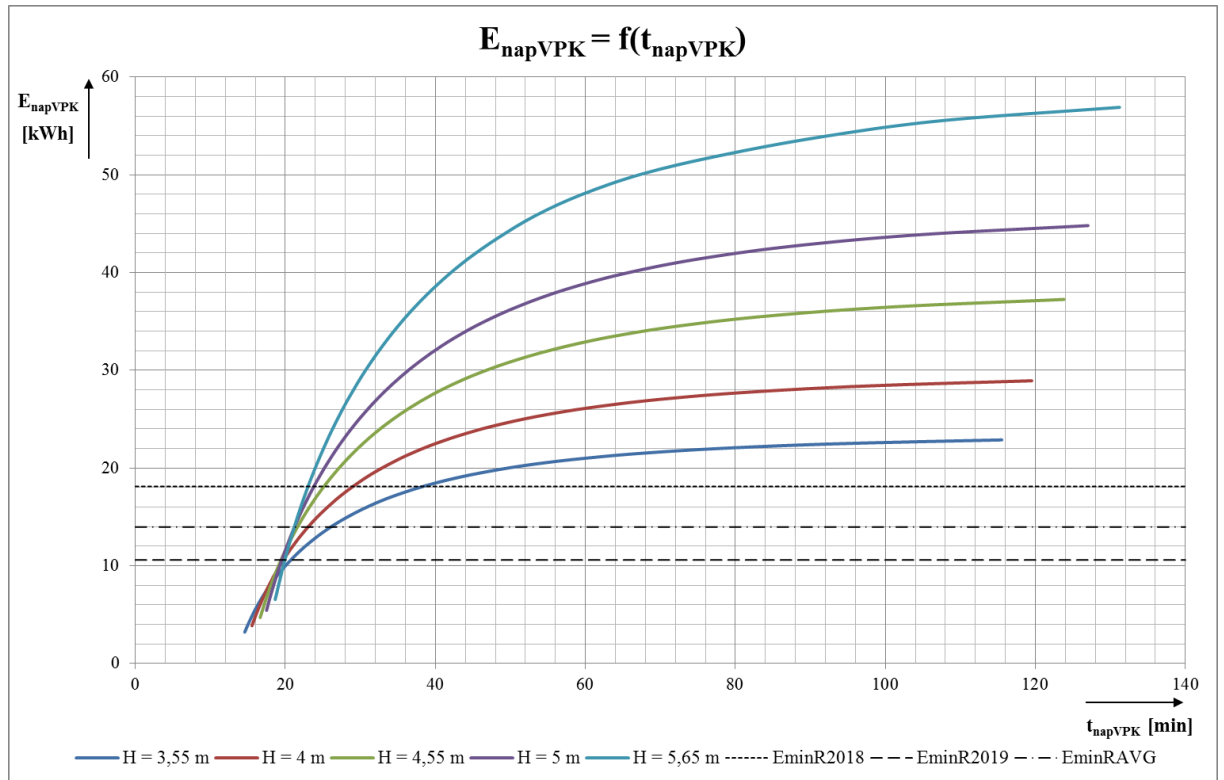
V tabulce (Tabulka 38) je uvedeno minimální vyrobené množství elektrické energie na jeden cyklus v případě rozdělení na jednotlivé měsíce.

Tabulka 38: Průměrná minimální elektrická energie vyrobená jedním cyklem PK pro jednotlivé měsíce

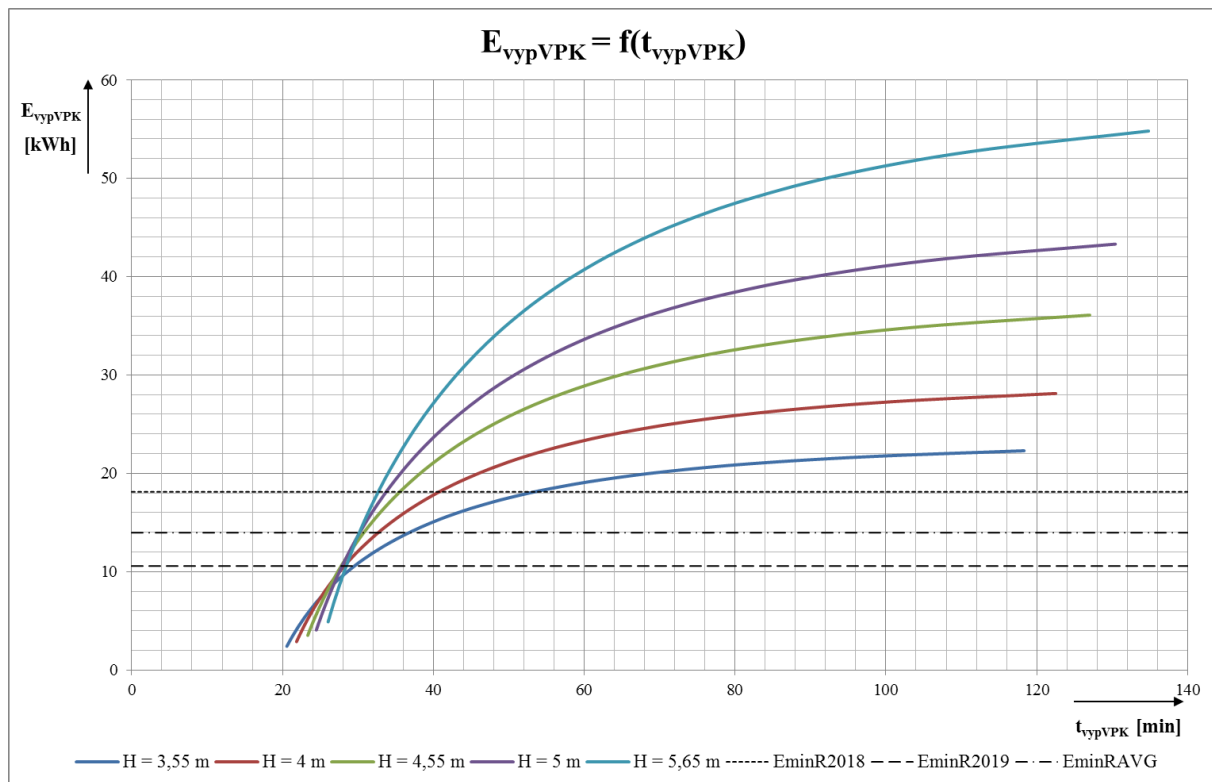
Měsíc	E _{minM} [kWh]		
	2018	2019	Průměr
leden	71,74	97,40	84,02
únor	114,7	61,84	84,55
březen	45,35	24,09	34,83
duben	6,423	10,60	8,449
květen	6,748	8,218	7,468
červen	12,22	4,495	8,194
červenec	13,39	3,437	8,113
srpen	25,43	3,061	11,16
září	11,03	6,434	8,713
říjen	13,63	8,827	10,64
listopad	48,64	18,29	26,27
prosinec	42,92	28,07	34,32

6.2.2 Závislost vyrobené elektrické energie na délce cyklu PK

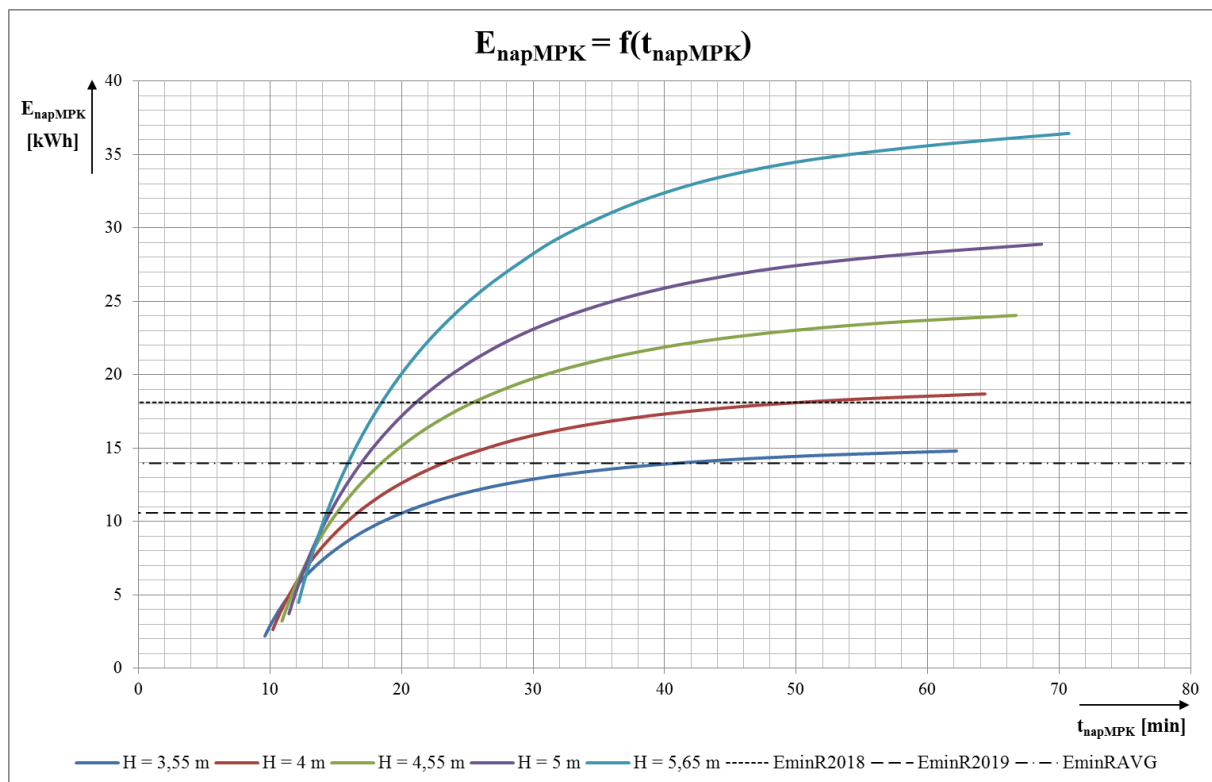
V následujících grafech (Graf 6, Graf 7, Graf 8) jsou zobrazeny závislosti vyrobené elektrické energie na délce cyklu plavební komory s vyznačenou minimální průměrnou roční vyrobenou energií. Tabulkové hodnoty pro jednotlivé grafy se nacházejí v přílohách (Příloha 28, Příloha 31, Příloha 34).



Graf 6: Závislost vyrobené elektrické energie E_{napVPK} [kWh] na čase napouštění VPK Štvanice t_{napVPK} [min] s minimálními hodnotami roční střední energie E_{minR} [kWh]



Graf 7: Závislost vyrobené elektrické energie E_{vypVPK} [kWh] na čase vypouštění VPK Štvanice t_{vypVPK} [min] s minimálními hodnotami roční střední energie E_{minR} [kWh]



Graf 8: Závislost vyrobené elektrické energie E_{napMPK} [kWh] na čase napouštění MPK Štvanice t_{napMPK} [min] s minimálními hodnotami roční střední energie E_{minR} [kWh]

6.2.3 Prodloužení času cyklu PK

Tabulkové hodnoty a grafy závislosti vyrobené el. energie na době přesahu trvání cyklu PK oproti času uvedenému v MŘ s vyznačenou minimální průměrnou roční vyrobenou energií jsou uvedeny v přílohách (Příloha 37 až Příloha 42).

6.2.3.1 Průměrný čas prodloužení cyklu PK

Průměrný čas prodloužení plavebního cyklu plavebních komor byl stanoven pomocí minimální roční střední energie. Pro zjištění Δt_{AVG} jednotlivých cyklů bylo využito prosté střední hodnoty, pro výpočet celkové Δt_{AVG} pro jednotlivé roky průměru váženého.

- Použité vzorce:

- Δt_{AVG} pro jednotlivé cykly (napouštění a vypouštění VPK, napouštění MPK)

$$\Delta t_{AVG} = \frac{\Delta t_{3,55m} + \Delta t_{4m} + \Delta t_{4,55m} + \Delta t_{5m} + \Delta t_{5,65m}}{5} \quad [min] \quad (71)$$

- Průměrná délka přesahu času na jednu plavební komoru Δt_{AVGPK}

$$\Delta t_{AVGPK} = \frac{CVYMPK \cdot \Delta t_{AVGMPKnap} + \frac{CVPK}{2} \cdot \Delta t_{AVGVPKnap} + \frac{CVPK}{2} \cdot \Delta t_{AVGVPKvyp}}{CPK} \quad [min] \quad (72)$$

- Průměrná délka přesahu času na jednu výrobní plavební komoru $\Delta t_{AVGVYPK}$

$$\Delta t_{AVGVYPK} = \frac{CVYMPK \cdot \Delta t_{AVGMPKnap} + \frac{CVPK}{2} \cdot \Delta t_{AVGVPKnap} + \frac{CVPK}{2} \cdot \Delta t_{AVGVPKvyp}}{CVYPK} \quad [min] \quad (73)$$

- Hodnoty jednotlivých časových přesahů jsou uvedené v tabulce (Tabulka 39).

Tabulka 39: Naměřené a vypočtené hodnoty přesahů časů oproti manipulačnímu řádu pro rok 2018 a 2019

		H = 3,55 m	H = 4 m	H = 4,55 m	H = 5 m	H = 5,65 m	Δt_{AVG} [min]	
2018	$\Delta t_{VPK_{nap18}}$ [min]	24,99	15,61	11,72	10,38	11,23	14,79	
	$\Delta t_{VPK_{vyp18}}$ [min]	40,09	27,75	22,12	20,32	22,65	26,58	
	$\Delta t_{MPK_{nap18}}$ [min]*	52,18	40,63	15,46	11,10	11,28	26,13	
	Průměrná délka přesahu času na jednu plavební komoru						$\Delta t_{AVG18PK} =$	16,06
	Průměrná délka přesahu času na jednu výrobní plavební komoru						$\Delta t_{AVG18VYPK} =$	22,05
2019	$\Delta t_{VPK_{nap19}}$ [min]	7,305	6,306	6,003	6,104	6,509	6,446	
	$\Delta t_{VPK_{vyp19}}$ [min]	16,12	14,77	14,36	14,48	15,03	14,95	
	$\Delta t_{MPK_{nap19}}$ [min]	10,06	6,638	5,070	4,552	4,306	6,125	
	Průměrná délka přesahu času na jednu plavební komoru						$\Delta t_{AVG19PK} =$	6,57
	Průměrná délka přesahu času na jednu výrobní plavební komoru						$\Delta t_{AVG19VYPK} =$	9,01
Průměr	$\Delta t_{VPK_{nAVG}}$ [min]	12,65	9,605	8,195	7,799	7,772	9,204	
	$\Delta t_{VPK_{pAVG}}$ [min]	23,35	19,25	17,34	16,81	16,92	18,73	
	$\Delta t_{MPK_{nAVG}}$ [min]	31,03	13,18	8,444	6,916	5,919	13,10	
	Průměrná délka přesahu času na jednu plavební komoru						$\Delta t_{AVGPK} =$	9,68
	Průměrná délka přesahu času na jednu výrobní plavební komoru						$\Delta t_{AVGVYPK} =$	14,18

*) E_{maxMPK} při $H = 3,55$ m je menší než $E_{minR2018} \rightarrow$ Pro dodržení E_{AVGMPK} byla zvýšena hodnota E_{MPK} pro $H = 5,65$ m na minimální požadovanou mez.

6.3 Ekonomické zhodnocení

Pro ekonomickou analýzu návrhu MVE využívající cyklů PK byly stanoveny předpoklady:

- Ekonomické zhodnocení prováděno z pohledu projektu \rightarrow nejsou uvažovány odpisy a platba daně z příjmu.
- Parametry PK (spotřeba el. energie a počet proplavených lodí) jsou brány z průměrů sledovaných let 2018 a 2019.
- Součástí navrhované MVE je lokální bateriové úložiště umožňující dočasné skladování vyrobené el. energie pro možnost jejího maximálního zhodnocení.
 - Veškerá vyrobená el. energie prodána ve špičce za 3,50 Kč/kWh
 - Veškerá spotřebovaná el. energie zakoupená mimo špičku za 1 Kč/kWh
- Ceny jednotlivých komponentů byly stanoveny na základě podobnosti s jinými návrhy MVE a PVE.^{240,241,242,243}

²⁴⁰ VYSOUDIL, Martin. *Návrh malé vodní elektrárny*. Brno, 2009, 67 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Martin Belatka.

²⁴¹ KOŠÍČEK, Jiří. *Návrh malé vodní elektrárny*. Brno, 2014, 84 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Lukáš Radil, Ph.D.

Ceny dílčích komponentů a vstupní parametry pro výpočet ekonomického zhodnocení se nachází v tabulkách (Tabulka 40, Tabulka 41).

Tabulka 40: Cenový odhad nákladů dílčích komponentů

Komponent	Cena za ks	Počet ks	Celkem	
Turbína	500 000 Kč	6	3 000 000 Kč	
Generátor	100 000 Kč	6	600 000 Kč	
Převody	20 000 Kč	6	120 000 Kč	
Přívodní potrubí	VPK	800 000 Kč	2	1 600 000 Kč
	MPK	550 000 Kč	2	1 100 000 Kč
Řídicí ventil	50 000 Kč	6	300 000 Kč	
Bateriové uložení a kompenzace	1 000 000 Kč	1	1 000 000 Kč	
Řídicí systém	800 000 Kč	1	800 000 Kč	
Kabelové propojení	500 000 Kč	1	500 000 Kč	
Stavební úkony	3 000 000 Kč	1	3 000 000 Kč	
Ostatní	500 000 Kč	1	500 000 Kč	
Celkem (bez DPH)			12 520 000 Kč	

²⁴² HLAVICA, Tomáš. *Návrh malé vodní elektrárny*. Brno, 2013, 53 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc.

²⁴³ HÖLL, Jan, Miroslav KOPŘIVA, Vladimír SKOUMAL, Marcela PŘEHNÁLKOVÁ, Hana RUTAROVÁ a Petr MICHÁLEK. ENERGETIS S.R.O. *Vyhledávací studie vhodných lokalit pro možnou realizaci*. 1. Šumperk, 2010, 59 s. Dostupné také z: <https://zam.uur.cz/Kucerova/MPO-Studie%20vhodn%C3%BDch%20lokalit%20pro%20p%C5%99e%20C4%8Derp%C3%A1vac%C3%AD%20vodn%C3%AD%20elektr%C3%A1rny/pasporty/Souhrnn%C3%A1%20zpr%C3%A1va%2013.%2010.%202010-def.pdf>

Tabulka 41: Vstupní parametry pro ekonomické zhodnocení MVE Štvanice PK

Investiční náklady	12 520 000,00 Kč	
Životnost	20 let	
Parametry PK pro průměrný rok		
Proplaveno PK	Celkem	7 678,00
	MPK	4 232,00
	VPK	3 446,00
Spotřeba el. energie na 1 PK	10,11 kWh	
Celková spotřeba	77 624,58 kWh·rok ⁻¹	
Množství vyrobené elektrické energie		
Minimální množství pro VS	77 624,58 kWh·rok ⁻¹	
Maximální střední hodnota vyrobené el.energie	181 343,41 kWh·rok ⁻¹	
Celková výroba el. energie při $\beta_1 = 25^\circ$ (*)	101 748,88 kWh·rok ⁻¹	
Idealizovaná cena prodané a nakoupené el. energie		
Cena prodané el. energie	3,50 Kč·kWh ⁻¹	
Cena koupené el. energie	1,00 Kč·kWh ⁻¹	
Ostatní vstupy		
Diskont	6 %	
Meziroční eskalace nákladů a cen elektřiny	1,02	
Degradace	1 %·rok ⁻¹	

(*) Střední zlomový úhel pro funkci $t_{\text{cyklu}} = f(\beta_1)$ (viz. Příloha 29, Příloha 32, Příloha 35)

Na základě výstupních hodnot, množství vyrobené elektrické energie a délky času cyklu(kapitola 6.2 Vyrobená elektrická energie), vytvořeného matematického modelu, byly provedeny tři analýzy pro různé množství vyrobené el. energie.

- 1) $E_{\text{vyrobená}} = E_{\text{spotřebovaná}}$
- 2) $E_{\text{vyrobená}} = E_{\text{max}}$
- 3) $E_{\text{vyrobená}} = E_{\beta_1 = 25^\circ}$

Výstupem výpočtu je stanovení čisté současné hodnoty a vnitřního výnosového procenta pro jednotlivé případy.

- Čistá současná hodnota (NPV [Kč])

$$NPV = \sum_{t=0}^{T_{\check{z}}} CF_t \cdot (1 + r)^{-t} \quad (74)$$

- Vnitřní výnosové procento (IRR [-])

$$0 = \sum_{t=0}^{T_{\check{z}}} CF_t \cdot (1 + IRR)^{-t} - IN \quad (75)$$

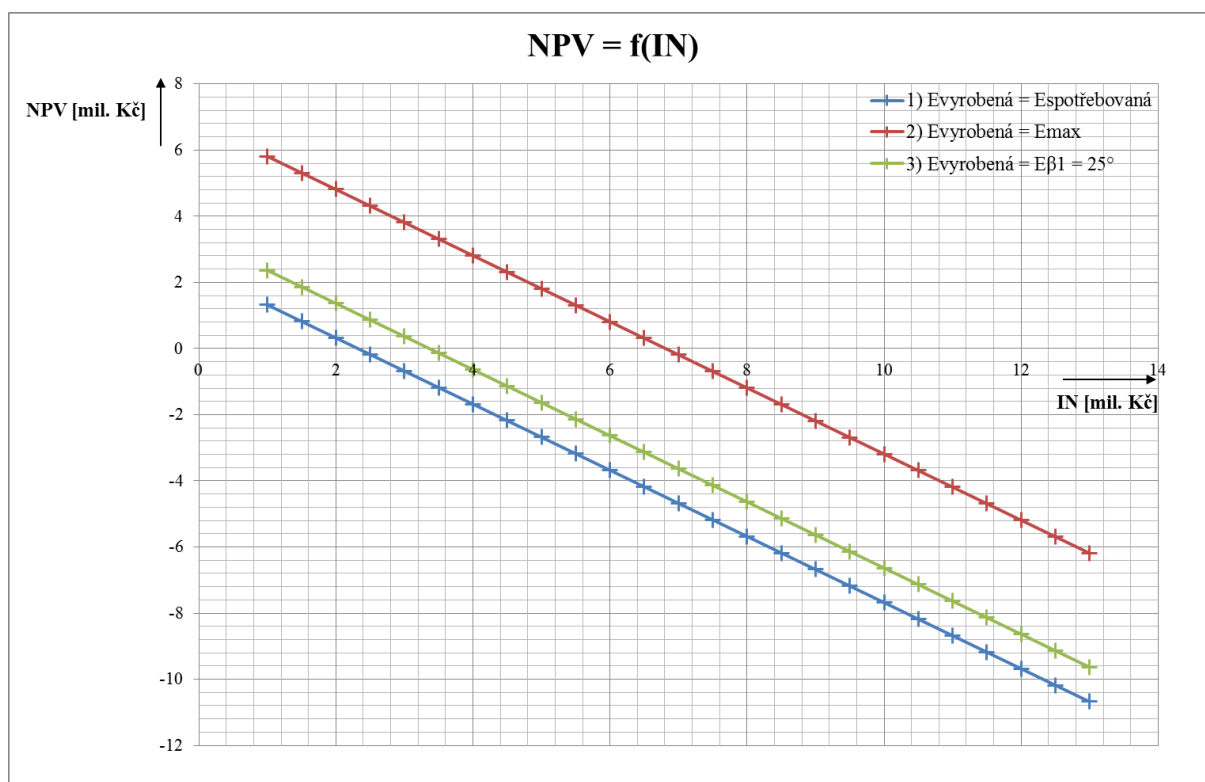
- Pro výpočet využita funkce v MS Excel.

Výsledky pro jednotlivé případy jsou uvedené v tabulce (Tabulka 42). Tabulky hodnot a grafy průběhů CF pro jednotlivé případy jsou uvedeny v přílohách (Příloha 43 až Příloha 49).

Tabulka 42: Čistá současná hodnota a vnitřní výnosové procento pro jednotlivé případy analýzy

Vyrobená el. energie = Spotřebovaná el. energie	
NPV	= -10 200 349 Kč
IRR	= -9 %
Výroba maximálního množství el. energie	
NPV _{max}	= -5 709 772 Kč
IRR _{max}	= 0 %
Výroba el. energie při natočení oběžných lopatek turbíny $\beta_1 = 25^\circ$	
NPV _{25^\circ}	= -9 155 772 Kč
IRR _{25^\circ}	= -1,62 %

Pro zjištění hranice ekonomické efektivity byla pro jednotlivé případy vypracována citlivostní analýza závislosti NPV a IRR na velikosti celkové vstupní investice. Tabulka hodnot a závislosti IRR na velikosti IN se nachází v přílohách (Příloha 50 a Příloha 51).



Graf 9: Závislost velikosti NPV [mil. Kč] na velikosti IN [mil. Kč]

6.4 Zhodnocení proveditelnosti

Z uvedených výpočtů vyplývá, že MVE využívající cykly PK Štvanice by byla schopna za rok vyrobit potřebné množství elektrické energie $E = 77,625$ MWh při průměrném prodloužení plavebního cyklu komory s umístěnou turbínou o přibližně 14 min pro průměr sledovaných let. Celkový čas cyklu pak přesahuje dvojnásobek času uvedeného v manipulačním řádu VD Štvanice. Vhodnou optimalizací výroby el. energie by však bylo možné dobu přesahu zkrátit. V případě rozdělení spotřeby na jednotlivé měsíce je v zimních měsících, díky nižším teplotám, větší spotřeba, než maximální možná výroba, způsobená nízkým počtem proplavených komor.

Vzhledem k charakteru výroby elektrické energie by pro soběstačnost objektu bylo nezbytné technické řešení s možností jejího uložení, pravděpodobně pomocí lokálního bateriového úložiště. Z teoretického hlediska by pak přebytečnou část energie vyrobenou v letních měsících bylo možné uchovat a využít později. Z praktického hlediska však toto řešení není reálné. Pravděpodobnější možností je úložiště s menší kapacitou a pracovním charakterem v jednotkách dnů. V měsících, kdy by byla výroba vyšší než spotřeba, by sloužilo k dočasnému uchování vyrobené elektrické energie a její přebytek nad úroveň spotřeby by byl v době špiček prodáván do sítě. V zimních měsících při vyšší spotřebě by zajišťovalo odběr elektrické energie ze sítě nezávisle na provozu PK, například v době mimo špičky, čímž by se ušetřilo na její ceně. Tato možnost byla navržena pro část ekonomické analýzy návrhu.

Ačkoliv by navrhované řešení v celkovém součtu bylo schopné produkovat více, než je požadovaná minimální hodnota, jedná se, v porovnání s celkovou kapacitou vodních elektráren v ČR, o zanedbatelné množství vyrobené elektrické energie. V krajním případě maximální možné produkce $E_{\max} = 181,34$ MWh by se čas cyklu zvedl v průměru o přibližně 90 min, tedy na mez neúnosnou pro účely proplavby lodí.

Dle analýzy současného stavu využití hydropotenciálu v ČR (kap. 3) je, při nepřetržitém průtoku, z ekonomického hlediska zlomovým bodem minimální spád 2 m, pod jehož hranicí se investice nevyplatí. Ačkoliv je nejmenší maximální spád v navrhovaném modelu (3,55 m) nad touto hranicí, díky nestálosti výroby je nutné návrh MVE využívající cyklů plavebních komor umístěných v ČR řadit pod tuto kritickou hranici. Provedené výpočty základních ekonomických ukazatelů (kap. 6.3) tuto hypotézu, i přes uvažování ideálního prodeje veškeré vyrobené el. energie za cenu 3,5 Kč/kWh a nákup pro vlastní spotřebu za 1 Kč/kWh, potvrzují.

Pro zvolené vstupní parametry je, pro případ výroba el. energie = vlastní spotřeba, NPV = -10 200 349 Kč a IRR = -9 %. Z ekonomického hlediska je tedy tato varianta provozu nepřijatelná. Při maximální možné výrobě el. energie dosahuje IRR = 0 %, což se však stále pohybuje hluboko pod hranicí vytyčenou vstupními požadavky a navíc je tato možnost z hlediska primární funkce PK, kvůli případnému průměrnému prodloužení plavebního cyklu o přibližně 90 min., nereálná.

Z vytvořené citlivostní analýzy závislosti NPV na IN je vidět, že v případě $E_{\text{vyrobená}} = E_{\text{spotřebovaná}}$, což je vzhledem k primární funkci PK a celkovému času výsledného plavebního cyklu, nejpravděpodobnější možné provedení, by pro NPV > 0 musela být velikost vstupní investice pouhých 2 mil. Kč, což je pouhá $\frac{1}{6}$ celkových odhadovaných investičních nákladů.

Z celkové analýzy proveditelnosti vyplývá, že v současné době je projekt MVE využívající cyklů plavební komory v České republice, jak z technického, tak z ekonomického hlediska, nerealizovatelný. Hlavním důvodem jsou relativně malé objemy plavebních komor a překonávané spády, tedy i nízké množství vyrobené el. energie, což zapříčiňuje nepřijatelné investiční náklady na 1 kWe. V posledních letech však stoupá tlak na ekologickou výrobu elektrické energie. Tento faktor by v budoucnu mohl, v kombinaci s již plánovaným rozšiřováním některých PK na dolní Vltavě pro splňování požadavků na plavební cestu třídy Va²⁴⁴, vést k přehodnocení realizace.

²⁴⁴ ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 222/1995 Sb. Vyhláška Ministerstva dopravy o vodních cestách, plavebním provozu v přístavech, společné havárii a dopravě nebezpečných věcí. In: *Sbírka zákonů České republiky*. Česká republika, 1995, částka 61, číslo 222. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-222>

7 Závěr

Diplomová práce se zabývala otázkou možností zvyšování využití hydroenergetického potenciálu již využívaných velkých vodních toků. První část je zaměřena na analýzu celkového stavu využití hydropotenciálu v ČR se zaměřením na řeku Vltavu a její vodní díla. Druhá část se zabývá návrhem matematického modelu malé vodní elektrárny využívající cyklů plavebních komor. K tomuto účelu byl využit program Matlab Simulink. Navrhovaný model byl umístěn do lokace vodního díla Štvanice. Poslední část je zaměřena na ekonomické zhodnocení a celkovou proveditelnost návrhu.

Přínosem této práce je celkové shrnutí aktuálního využití hydropotenciálu v České republice. Jednotlivá vodní díla zabudovaná na Vltavě (celkem 39) jsou přehledně a podrobně popsána se zaměřením na jejich energetické a dopravní využití. Diplomová práce také zodpovídá otázku případného zvyšování využití hydropotenciálu velkých vodních toků.

Z analýzy současného využití energetického potenciálu Vltavy vyplývá, že nezbývá mnoho prostoru k jeho zvyšování. Navrhovaným technickým řešením pro zvýšení energetického využití vodních toků v ČR bylo využití cyklů plavebních komor k výrobě elektrické energie. K tomuto účelu byl vytvořen matematický model v programu Matlab Simulink situovaný na vodní dílo Štvanice nacházející se na 51. říčním kilometru Vltavy. Pomocí tohoto modelu a následné ekonomické analýzy bylo zjištěno, že při současných cenách technického vybavení je zbudování uvažovaného zdroje v ČR finančně nevýhodné.

Obsah práce vyčerpal a splnil všechny body zadání:

- Současný stav využití hydropotenciálu v ČR
- Analýza nevyužitého hydropotenciálu Vltavy
- Návrh vodního zdymadla jako zdroje elektrické energie
- Ekonomické zhodnocení a proveditelnost návrhu

Přínosem této práce pro autora bylo seznámení se se všemi vodními díly na Vltavě a jejich využitím. Tématika staveb vodních děl jej inspirovala k rozhodnutí pokračovat ve studiu na fakultě stavební.

Prvotním podkladem pro analýzu vodních děl uvedených v této práci byla „*Dokumentace a prezentace technického kulturního dědictví na Labsko-vltavské vodní cestě*“, která obsahuje informace o deseti VD na dolní Vltavě tj. od Mělníka (VD Vraňany-Hořín) až po VD Štěchovice. Diplomová práce obsahuje popis všech vodních děl na Vltavě (celkem 39 VD se 40 vzdouvacími objekty). Tato práce by mohla sloužit jako podklad pro dokončení dokumentace Vltavské vodní cesty.

Závěrem lze konstatovat, že budování nových zdrojů se v budoucnu nelze vyhnout. Ačkoliv je navrhované řešení z ekonomického hlediska v ČR v současné době k realizaci nevhodné, je možné, že díky neustávajícím ekologickým potřebám na snížení emisí a čistotu elektrické energie bude tato možnost i přes její ekonomickou neefektivitu v budoucnu, po případných úpravách, znovu zvažena.

Seznam použité literatury

- [1] 20 20 20 do roku 2020: šance pro zelenou Evropu. *Evropský parlament* [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+IM-PRESS+20080122IPR19355+0+DOC+XML+V0//CS>
- [2] BECK, S. a R. COLLINS. Moody diagram. Lines created using Swami and Jaine formula. Plot created on Matlab. *Wikimedia Commons* [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Moody_diagram.jpg
- [3] BEDNÁŘ, Josef. *Turbíny: (malé vodní elektrárny)*. Českovice: Marcela Bednářová, 2013. ISBN 978-80-905437-0-6.
- [4] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 222/1995 Sb. Vyhláška Ministerstva dopravy o vodních cestách, plavebním provozu v přístavech, společné havárii a dopravě nebezpečných věcí. In: *Sbírka zákonů České republiky*. Česká republika, 1995, částka 61, číslo 222. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-222>
- [5] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). In: *Sbírka zákonů České republiky*. Česká republika, 2001, částka 98, číslo 254. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>
- [6] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 178/2012 Sb. Vyhláška, kterou se stanoví seznam významných vodních toků a způsob provádění činností souvisejících se správou vodních toků. In: *Sbírka zákonů České republiky*. Česká republika, 2012, částka 62, číslo 178. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-178>
- [7] České Budějovice – Jiráskův jez. *Turistika.cz: Pro větší zážitek z cest a výletů* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.turistika.cz/mista/ceske-budejovice-jiraskuv-jez/detail>
- [8] ČSN 75 0120. *Vodní hospodářství: Terminologie hydrotechniky*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2009, 166 s.
- [9] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy ČR 2019*. 1. Praha, 2019. Dostupné také z: https://www.eru.cz/documents/10540/5381883/Rocni_zprava_provoz_ES_2019.pdf/debe8a88-e780-4c44-8336-a0b7bbd189bc

- [10] *Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základní zásady využití těchto území*. Praha, 2011, 153 s. Dostupné také z: https://www.dataplan.info/texty/DS/Generel%20LAPV_vc.protokolu.pdf
- [11] HLAVICA, Tomáš. *Návrh malé vodní elektrárny*. Brno, 2013, 53 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc.
- [12] HLUBOKÁ NAD VLTAVOU - PLAVEBNÍ KOMORA. *Ředitelství vodních cest České republiky* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.rvccr.cz/vodni-cesty/hluboka-nad-vltavou-plavebni-komora>
- [13] Hněvkovice - jez. *Ředitelství vodních cest České republiky* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.rvccr.cz/vodni-cesty/hnevkovice-jez>
- [14] HOLATA, Miroslav, Pavel GABRIEL, ed. *Malé vodní elektrárny: projektování a provoz*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0828-4.
- [15] HÖLL, Jan, Miroslav KOPŘIVA, Vladimír SKOUMAL, Marcela PŘEHNÁLKOVÁ, Hana RUTAROVÁ a Petr MICHÁLEK. ENERGETIS S.R.O. *Vyhledávací studie vhodných lokalit pro možnou realizaci: Souhrnná zpráva*. 1. Šumperk, 2010, 59 s. Dostupné také z: <https://zam.uur.cz/Kucerova/MPO-Studie%20vhodn%C3%BDch%20lokalit%20pro%20p%C5%99e%C4%8Derp%C3%A1vac%C3%AD%20vodn%C3%AD%20elektr%C3%A1rny/pasporty/Souhrn%C3%A1%20zpr%C3%A1va%2013.%2010.%202010-def.pdf>
- [16] Jez Herbertov. *Oficiální stránky města Český Krumlov* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.ckrumlov.cz/cz1250/region/vodapr/i_herber.htm
- [17] Jez Konopa (U Papouščí - počmáraný skály). *Turistický atlas* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: https://turistickyatlas.cz/vse/misto/7881_jez-konopa-u-papousci-pocmarany-skaly.html
- [18] Jez Pečkovský mlýn (papírna Větrní). *Turistický atlas* [online]. 2016 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: https://turistickyatlas.cz/vse/misto/7880_jez-peckovsky-mlyn-papirna-vetrni.html
- [19] Jez Rožmberk nad Vltavou. *Turistický atlas* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: https://turistickyatlas.cz/vse/misto/7879_jez-rozemberk-nad-vltavou.html

- [20] Jez U Jelení lávky - Český Krumlov. *Turistický atlas* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: https://turistickyatlas.cz/vse/misto/7885_jez-u-jeleni-lavky-cesky-krumlov.html
- [21] Jezy na Vltavě. *Půjčovna lodí a raftů Vltava, Lužnice* [online]. 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.kanak.cz/pujcovna-lodi-vltava/o-vltave/jezy-na-vltave>
- [22] Jezy: Příčné stavby na vodních tocích. *Encyklopedie Českých Budějovic* [online]. 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.encyklopedie.cbudejovice.cz/clanek/jezy>
- [23] Jiráskův jez. *TV-ADams.wz.cz* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/jiraskuv_jez.html
- [24] KOČÁRNÍK, Petr. *Modelování dynamických soustav*. Materiály k předmětu Modelování dynamických soustav.
- [25] KOČÁRNÍK, Petr. *Strojní struktury elektráren: Vodní elektrárny*. Praha, 2017, 16 s. Materiál k přednáškám z předmětu SSE.
- [26] KOČÁRNÍK, Petr. *Strojní struktury elektráren: Základy mechaniky tekutin*. Praha, 2017, 14 s. Materiál k přednáškám z předmětu SSE.
- [27] KOŠÍČEK, Jiří. *Návrh malé vodní elektrárny*. Brno, 2014, 84 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Lukáš Radil, Ph.D.
- [28] Krumlovský mlýn: Malá vodní elektrárna. *Krumlovský mlýn* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://krumlovskymlyn.cz/dalsi-sluzby/>
- [29] LABOUTKA, Karel a Tomáš SUCHÁNEK. Hodnoty součinitelů místních ztrát - T-kusy a křížení - přehled. *Tzbinfo* [online]. Topinfo s.r.o., 2020 [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/23-hodnoty-soucinitelu-mistnich-ztrat-t-kusy-a-krizeni-prehled>
- [30] LAIKA, Viktor. Turbína Semi-Kaplan. *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/semi-kaplan.htm>
- [31] LAIKA, Viktor. Historické mezníky. *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/uvod/stoleti.htm>

- [32] LAIKA, Viktor. Hydropotenciál Čech a Moravy. *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/uvod/hydropotencial.htm>
- [33] LEBEDOVÁ, M. POVODÍ VLTAVY. *MŘ VD Štvanice: Příčný řez PK*. Česká republika, 2003.
- [34] LEBEDOVÁ, M. POVODÍ VLTAVY. *MŘ VD Štvanice: Půdorys plavebních komor*. Česká republika, 2003.
- [35] Loučovický jez a Porákův kanál. *Hotel Kilián* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.hotelkilian.cz/cs/loucovicky-jez-a-porakuv-kanal#.XoNoCEAzBRZ>
- [36] Malé vodní elektrárny: Boršov nad Vltavou. *Atlas zařízení využívajících obnovitelné zdroje energie* [online]. 2008 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.calla.cz/atlas/detail.php?id=318>
- [37] Malé vodní elektrárny: Březí - Zátkův mlýn. *Atlas zařízení využívajících obnovitelné zdroje energie* [online]. 2008 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.calla.cz/atlas/detail.php?id=319>
- [38] Malé vodní elektrárny: České Vrbné. *Atlas zařízení využívajících obnovitelné zdroje energie* [online]. 2008 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.calla.cz/atlas/detail.php?id=311>
- [39] Malé vodní elektrárny: Český Krumlov - Krumlovský mlýn. *Atlas zařízení využívajících obnovitelné zdroje energie* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.calla.cz/atlas/detail.php?id=1209>
- [40] Malé vodní elektrárny: Větní. *Atlas zařízení využívajících obnovitelné zdroje energie* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.calla.cz/atlas/detail.php?id=498>
- [41] Malé vodní elektrárny: Vyšší Brod - Bílý mlýn. *Atlas zařízení využívajících obnovitelné zdroje energie* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.calla.cz/atlas/detail.php?id=352>
- [42] MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné*

- zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [43] MELICHAR, Jan. *Malé vodní turbíny*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN 80-010-1403-7.
- [44] MVE Planá. *TV-ADams.wz.cz* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/vd/jez_plana.html
- [45] MVE Zlatá koruna. *Hydroka* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.hydroka.cz/reference/mve-zlata-koruna/66>
- [46] *Obnovitelné zdroje energie – malá vodní energie: Středisko ČVUT Herbertov*. 2 s. Dostupné také z: https://www.tc.cz/files/istec_publications/tl_mve_006.pdf
- [47] PAŽOUT, František. *Malé vodní elektrárny 1: Ekonomika - předpisy*. Praha: SNTL, 1987.
- [48] Plavební komora vodního díla Hněvkovice. *IMateriály: portál časopisů Materiály pro stavbu a Stavitel pro odborníky ve stavebnictví* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: https://www.imaterialy.cz/rubriky/zajimava-stavba/plavebni-komora-vodniho-dila-hnevkovice_45838.html
- [49] Podívejte se na téměř dokončenou plavební komoru v Českém Vrbném. *IDNES.cz* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/ceske-budejovice/zpravy/podivejte-se-na-temer-dokoncenu-plavebni-komoru-v-ceskem-vrbnem.A100917_180615_budejovice-zpravy_alt
- [50] POVODÍ VLTAVY. *Studie proveditelnosti zprůchodnění migračních překážek na vodních tocích v povodí Vltavy*. Dostupné také z: http://www.pvl.cz/migrace-vltava/projekt/4_KATALOG_PRICNYCH_PREKAZEK/4_katalog_pricnych_prekazek_Vltava.pdf
- [51] POVODÍ VLTAVY. *Manipulační řád pro vodní dílo Štvanice na Vltavě: Revize*. 1. Praha: Povodí Vltavy, 2020, 44 s.
- [52] POVODÍ VLTAVY. *Spotřeba elektrické energie plavebních komor Štvanice*. 1. Praha, 2020.
- [53] POVODÍ VLTAVY. *VD Štvanice: Data o počtu proplavených plavebních komor*. 1. Praha, 2020.

- [54] PROCHÁZKA, Radek. Elektroenergetika 1: Základní pojmy a definice. *PowerWiki* [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <http://www.powerwiki.cz/attach/EN1Podklady/Elektroenergetika-1-Zakladni%20pojmy%20a%20definice.pdf>
- [55] Projekt „Analýza efektivního využití malých vodních elektráren z hlediska přírodního potenciálu vodních toků jako energetického zdroje". *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 2008-2019 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/vodni_elektrarny_vyuziti_analyza
- [56] Přehrada Hněvkovice. *TV-ADams.wz.cz* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/prehrada_hnevkovice.html
- [57] Přehrada Kamýk. *TV-ADams.wz.cz* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/vd/prehrada_kamyk.html
- [58] Přehrada Lipno II. *TV-ADams.wz.cz* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/prehrada_lipno_2.html
- [59] Přehrada Lipno. *TV-ADams.wz.cz* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/prehrada_lipno.html
- [60] Přehrada Orlík. *TV-ADams.wz.cz* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/prehrada_orlik.html
- [61] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [62] *Rozvoj podporovaných zdrojů energie do roku 2030: podkladový dokument pro účely přípravy Vnitrostátního plánu v oblasti energetiky a klimatu*. Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2019.
- [63] Seznam vodních elektráren v Česku. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2020, 22. 7. 2020 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam_vodn%C3%ADch_elektr%C3%A1ren_v_%C4%8Cesku
- [64] Situační výkres jezu s MVE Papouščí skála, rybím přechodem a novou sportovní propustí na Vltavě nad Českým Krumlovem. In: *Deník.cz* [online]. [cit. 2020-03-

- 31]. Dostupné z: <https://www.denik.cz/galerie/mala-vodni-elektrarna-papousci-skala.html?photo=3>
- [65] *Slovní sdělení zaměstnance Povodí Vltavy*. 2018.
- [66] Spirova elektrárna Vyšší Brod 1. díl - Výstavba. *Loučovice-Historie.cz: Historie Loučovic a širokého okolí* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.loucovice-historie.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=44:1-dil-vystavba&catid=14&Itemid=225
- [67] Spirova elektrárna Vyšší Brod 2. díl - Modernizace. *Loučovice-Historie.cz: Historie Loučovic a širokého okolí* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.loucovice-historie.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=46:spirova-elektrarna-dil-2-modernizace&catid=14&Itemid=225
- [68] Spirova elektrárna Vyšší Brod 3. díl - Konec elektrárny pod Čertovou stěnou. *Loučovice-Historie.cz: Historie Loučovic a širokého okolí* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.loucovice-historie.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=49:spirova-elektrarna-vyssi-brod-3-dil-konec-elektrarny-pod-certovou-stenou&catid=14&Itemid=225
- [69] Stecherův mlýn. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Stecher%C5%AFv_ml%C3%BDn
- [70] ŠAMÁNEK, Libor. Využití energie vody: Další rozvoj hydroenergetiky. KOLEKTIV AUTORŮ, . *Obnovitelné zdroje energie a možnost jejich uplatnění v České republice* [online]. Praha: ČEZ, 2007, s. 43-78 [cit. 2020-01-04].
- [71] ŠKORPIL, Jan a Milan KASÁRNÍK. *Obnovitelné zdroje energie I.: Vodní elektrárny*. 2. vyd. přeprac. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-708-2675-4.
- [72] *Technické památky Labsko-Vltavské vodní cesty: Software: Dokumentace a evidence technického kulturního dědictví na Labsko-vltavské vodní cestě* [online].

- Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.lvvv.cz/>
- [73] Trilčův jez. *TV-ADams.wz.cz* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/vd/jez_trilcuv_jez.html
- [74] TRNAVSKÝ, Jiří. Podíl OZE v Evropě roste pomalu. *Energie 21: Časopis obnovitelných zdrojů energie* [online]. Profi Press s. r. o., 2013-2019 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.energie21.cz/podil-oze-v-evrope-i-v-cesku-roste-pomalu/>
- [75] VD Hněvkovice. In: *Povodí Vltavy* [online]. 2013 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/hnevkovice.pdf>
- [76] VD Kamýk. In: *Povodí Vltavy* [online]. 2013 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/kamyk.pdf>
- [77] VD Kořensko. In: *Povodí Vltavy* [online]. 2013 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/korensko.pdf>
- [78] VD Lipno I. In: *Povodí Vltavy* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/lipno-i.pdf>
- [79] VD Slapy. In: *Povodí Vltavy* [online]. 2013 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/slapy.pdf>
- [80] VLACH, Josef. *Čísla pro energetiky*. První. Praha: Český svaz zaměstnavatelů v energetice, 2003. ISBN 80-239-1841-9.
- [81] Vltava. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2019 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Vltava>
- [82] Vltava – pod Lipnem. *Pádlér* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.padler.cz/vodacky-pruvodce/31792-vltava-pod-lipnem/>

- [83] Vltavská vodní cesta: Vodní dílo Modřany. *Povodí Vltavy* [online]. Povodí Vltavy, 2013 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/vodohospodarske-informace/vodni-dila/vltavska-vodni-cesta/vodni-dilo-modrany>
- [84] Vltavská vodní cesta: Vodní dílo Podbaba. *Povodí Vltavy* [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/vodohospodarske-informace/vodni-dila/vltavska-vodni-cesta/vodni-dilo-podbaba>
- [85] Vltavská vodní cesta: Vodní dílo Smíchov. *Povodí Vltavy* [online]. Povodí Vltavy, 2013 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/vodohospodarske-informace/vodni-dila/vltavska-vodni-cesta/vodni-dilo-smichov>
- [86] VOBOŘIL, David. Vodní elektrárny - princip, rozdělení, elektrárny v ČR. *O energetice* [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni>
- [87] Vodní dílo Lipno II. *VisitVltava.cz: Vltava, řeka Vltava, přehrady na Vltavě* [online]. 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.visitvltava.cz/cz/vodni-dilo-lipno-ii/22/>
- [88] Vodní dílo Orlik. In: *Povodí Vltavy* [online]. 2013 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/orlik.pdf>
- [89] Vodní elektrárny v České republice: Kolik vyrobí elektřiny?. *Nazeleno: Chytrá řešení pro každého* [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/energie/vodni-energie/vodni-elektrarny-v-ceske-republice-kolik-vyrobi-elektriny.aspx>
- [90] Vodní nádrž Kořensko. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%AD_n%C3%A1dr%C5%BE_Ko%C5%99ensko
- [91] Vyrábí elektřinu a ještě ochrání část Hluboké nad Vltavou před povodní. *Česká televize* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/regiony/1011664-vyrabi-elektrinu-a-jeste-ochrani-cast-hluboke-nad-vltavou-pred-povodni>

- [92] *Výřez mapy upraven autorem práce.* 2020. Dostupné také z: mapy.cz
- [93] VYSOUDIL, Martin. *Návrh malé vodní elektrárny.* Brno, 2009, 67 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Martin Belatka.
- [94] WAGNER, Hermann-Josef a Jyortirmay MATHUR. *Introduction to hydro energy systems basics, technology and operation.* 1., st Edition. Berlin: Springer, 2011. ISBN 978-364-2207-082.
- [95] Zdymadlo. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Zdymadlo>
- [96] Zdymadlo České Vrbné. *TV-ADams.wz.cz* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/vd/jez_ceske_vrbne.html
- [97] Zdymadlo Hluboká. *TV-ADams.wz.cz* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/vd/jez_hluboka.html
- [98] Zdymadlo Mířejovice. *TV-ADams.wz.cz* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/vd/jez_mirejovice.html

Přehled grafů

Graf 1: Časový průběh měrné energie turbíny e_{turb} [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$], celkového elektrického výkonu P_{el} [kW] a vyrobené elektrické energie E [kWh] při $\beta_1 = 27^\circ$ a $H = 4,55$ m - napouštění VPK Štvanice.....	92
Graf 2: Časový průběh průtoku vody potrubím Q [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$], rozdílu hladin Δh [m] a účinnosti turbíny η_{turb} [-] při $\beta_1 = 27^\circ$ a $H = 4,55$ m - napouštění VPK Štvanice	93
Graf 3: Časový průběh průtoku vody potrubím Q [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$] při $\beta_1 = 27^\circ$ a $H = 4,55$ m – porovnání napouštění a vypouštění VPK Štvanice.....	95
Graf 4: Časový průběh elektrické energie na svorkách generátoru P_{el} [kW] při $\beta_1 = 27^\circ$ a $H = 4,55$ m – porovnání napouštění a vypouštění VPK Štvanice	95
Graf 5: Časový průběh vyrobené elektrické energie E [kWh] při $\beta_1 = 27^\circ$ a $H = 4,55$ m – porovnání napouštění a vypouštění VPK Štvanice.....	96
Graf 6: Závislost vyrobené elektrické energie E_{napVPK} [kWh] na čase napouštění VPK Štvanice t_{napVPK} [min] s minimálními hodnotami roční střední energie E_{minR} [kWh]	101
Graf 7: Závislost vyrobené elektrické energie E_{vypVPK} [kWh] na čase vypouštění VPK Štvanice t_{vypVPK} [min] s minimálními hodnotami roční střední energie E_{minR} [kWh]	102
Graf 8: Závislost vyrobené elektrické energie E_{napMPK} [kWh] na čase napouštění MPK Štvanice t_{napMPK} [min] s minimálními hodnotami roční střední energie E_{minR} [kWh].....	102
Graf 9: Závislost velikosti NPV [mil. Kč] na velikosti IN [mil. Kč]	107

Přehled obrázků

Obrázek 1: Cyklus vody v přírodě	4
Obrázek 2: Výroba elektrické energie ve vodních elektrárnách do roku 1990	5
Obrázek 3: Závislost výkonu a spádu na průtoku	7
Obrázek 4: Znázornění objemů akumulční nádrže	8
Obrázek 5: Denní diagram zatížení	9
Obrázek 6: Jez Vraňany – mapa	18
Obrázek 7: VD Vraňany-Hořín – mapa	20
Obrázek 8: VD Miřejovice – mapa	20
Obrázek 9: VD Libčice-Dolany – mapa	22
Obrázek 10: VD Klecany – mapa	23
Obrázek 11: VD Trója-Podbaba – mapa	24
Obrázek 12: VD Štvanice – mapa	27
Obrázek 13: VD Smíchov – mapa	28
Obrázek 14: VD Modřany – mapa	29
Obrázek 15: VD Vrané – mapa	31
Obrázek 16: VD Štěchovice – mapa	32
Obrázek 17: VD Slapy – mapa	34
Obrázek 18: VD Kamýk – mapa	35
Obrázek 19: VD Orlík – mapa	37
Obrázek 20: VD Kořensko – mapa	38
Obrázek 21: Hněvkovice jez – mapa	40
Obrázek 22: VD Hněvkovice – mapa	40
Obrázek 23: VD Hluboká nad Vltavou – mapa	42
Obrázek 24: VD České Vrbné – mapa	43
Obrázek 25: Jiráskův jez – mapa	44

Obrázek 26: Trilčův jez – mapa	45
Obrázek 27: Jez Rožnov – mapa	46
Obrázek 28: Jez Planá – mapa	47
Obrázek 29: Jezy Zátkův mlýn a U Rybů – mapa	48
Obrázek 30: Jez Zlatá Koruna – mapa	50
Obrázek 31: Jezy Jelení lávka a Mrázkův mlýn – mapa	51
Obrázek 32: Jezy U Liry a Na Rechlich – mapa	52
Obrázek 33: Jez U Papouščí skály – mapa	53
Obrázek 34: Jez Pečkovský mlýn – mapa	54
Obrázek 35: Jez Rožmberk – mapa	55
Obrázek 36: Jez Herbertov – mapa	56
Obrázek 37: Jez U Bílého mlýna – mapa	57
Obrázek 38: VD Lipno II. – mapa	58
Obrázek 39: Spirův jez a Spirova elektrárna – mapa	59
Obrázek 40: Loučovické jezy – mapa	61
Obrázek 41: VD Lipno I. – mapa	62
Obrázek 42: Zjednodušené principiální schéma napouštění VPK Štvanice (autor DP).....	69
Obrázek 43: Blokové schéma Bernoulliho rovnice využité v modelu napouštění PK Štvanice	71
Obrázek 44: Blokové schéma výpočtu výšky vody v PK nad minimální hladinou – napouštění PK Štvanice	72
Obrázek 45: Blokové schéma výpočtu celkové měrné ztrátové energie – napouštění PK Štvanice.....	73
Obrázek 46: Laminární proudění.....	74
Obrázek 47: Turbulentní proudění.....	74
Obrázek 48: Blokové schéma Colebrook – Moody – White diagramu.....	75
Obrázek 49: Tvar vtokového objektu do tlakového přivaděče pro $\zeta = 0,04$	75

Obrázek 50: Pozvolné zúžení přivaděče	76
Obrázek 51: Blokové schéma výpočtu místních ztrát v zužovací části potrubí	76
Obrázek 52: Blokové schéma výpočtu ztrátového součinitele řídicího ventilu ^{-upraveno autorem DP}	76
Obrázek 53: Pozvolný difuzor	77
Obrázek 54: Blokové schéma výpočtu místních ztrát v pozvolném difuzoru	77
Obrázek 55: Odbočka $\delta = 90^\circ$ bez a se zaoblením hran (autor DP)	78
Obrázek 56: Blokové schéma měrné ztrátové energie výtokových odboček – napouštění PK Štvanice.....	79
Obrázek 57: Vstupní a výstupní rychlostní trojúhelník turbíny (autor DP)	79
Obrázek 58: Vstupní a výstupní rychlostní trojúhelníky na lopatce turbíny	80
Obrázek 59: Rychlostní trojúhelník turbíny s vyznačenými známými a cílovými veličinami (autor DP)	81
Obrázek 60: Blokové schéma výpočtu měrné energie turbíny	82
Obrázek 61: Blokové schéma výpočtu elektrického výkonu.....	83
Obrázek 62: Blokové schéma výpočtu vyrobené elektrické energie	83
Obrázek 63: Zjednodušené principiální schéma vypouštění VPK Štvanice (autor DP).....	84
Obrázek 64: Blokové schéma Bernoulliho rovnice využité v modelu vypouštění VPK Štvanice.....	85
Obrázek 65: Blokové schéma výpočtu výšky vody v PK nad minimální hladinou – vypouštění VPK Štvanice.....	87
Obrázek 66: Blokové schéma výpočtu celkové měrné ztrátové energie – vypouštění VPK Štvanice.....	88
Obrázek 67: Vtoková odbočka $\delta = 90^\circ$ s přidaným ztrátovým součinitelem nátoky potrubí (autor DP)	89
Obrázek 68: Blokové schéma měrné ztrátové energie vtokových odboček – vypouštění VPK Štvanice.....	90

Přehled tabulek

Tabulka 1: Technické parametry MVE Dědibaby	19
Tabulka 2: Technické parametry MVE Miřejovice '	21
Tabulka 3: Technické parametry MVE Libčice-Dolany	22
Tabulka 4: Technické parametry MVE Klecany	24
Tabulka 5: Technické parametry MVE Troja.....	25
Tabulka 6: Technické parametry MVE Podbaba.....	26
Tabulka 7: Technické parametry MVE Štvanice	27
Tabulka 8: Technické parametry MVE Modřany.....	30
Tabulka 9: Technické parametry VE Vrané	31
Tabulka 10: Technické parametry VE Štěchovice I.	33
Tabulka 11: Technické parametry PVE Štěchovice II.	33
Tabulka 12: Technické parametry VE Slapy.....	35
Tabulka 13: Technické parametry VE Kamýk '	36
Tabulka 14: Technické parametry VE Orlík '	37
Tabulka 15: Technické parametry MVE Kořensko'	39
Tabulka 16: Technické parametry MVE Hněvkovice'	41
Tabulka 17: Technické parametry MVE Hluboká.....	42
Tabulka 18: Technické parametry MVE České Vrbné	44
Tabulka 19: Technické parametry MVE Sokolský ostrov	45
Tabulka 20: Technické parametry MVE Trilčův jez	46
Tabulka 21: Technické parametry MVE Stecherův mlýn	47
Tabulka 22: Technické parametry MVE Planá	48
Tabulka 23: Technické parametry MVE Zátkův mlýn	49
Tabulka 24: Technické parametry MVE Boršov nad Vltavou	49
Tabulka 25: Technické parametry MVE Zlatá Koruna	50

Tabulka 26: Technické parametry MVE Krumlovský mlýn '	52
Tabulka 27: Technické parametry MVE Papouščí skála	53
Tabulka 28: Technické parametry MVE Větřní	54
Tabulka 29: Technické parametry MVE ČVUT Herbertov	56
Tabulka 30: Technické parametry DVE Bílý mlýn	57
Tabulka 31: Technické parametry MVE Lipno II.	58
Tabulka 32: Technické parametry Spirova elektrárna (mezi lety 1928 a 1959) ''	60
Tabulka 33: Technické parametry MVE Lipno I. '	62
Tabulka 34: Technické parametry VE Lipno I. '	63
Tabulka 35: Spotřeba elektrické energie plavebních komor Štvanice pro rok 2018 a 2019	97
Tabulka 36: Počet proplavených komor v letech 2018 a 2019.....	98
Tabulka 37: Průměrná spotřeba na jednu PK jednotlivých měsíců v letech 2018 a 2019.....	99
Tabulka 38: Průměrná minimální elektrická energie vyrobená jedním cyklem PK pro jednotlivé měsíce	100
Tabulka 39: Naměřené a vypočtené hodnoty přesahů časů oproti manipulačnímu řádu pro rok 2018 a 2019.....	104
Tabulka 40: Cenový odhad nákladů dílčích komponentů	105
Tabulka 41: Vstupní parametry pro ekonomické zhodnocení MVE Štvanice PK	106
Tabulka 42: Čistá současná hodnota a vnitřní výnosové procento pro jednotlivé případy analýzy	107

Seznam příloh

- Příloha 1: Seznam vodních děl na Vltavě a jejich umístění
- Příloha 2: Zjednodušený schématický řez navrhovaného přívodního potrubí VPK Štvanice
- Příloha 3: Zjednodušený schématický řez navrhovaného přívodního potrubí MPK Štvanice
- Příloha 4: Tabulka konstant využitých v matematickém modelu
- Příloha 5: Blokové schéma modelu napouštění VPK Štvanice
- Příloha 6: MŘ VD Štvanice - Půdorys plavebních komor
- Příloha 7: MŘ VD Štvanice - Příčný řez plavebními komorami
- Příloha 8: Blokové schéma výpočtu měrné ztrátové energie hlavní části přívodního potrubí
- Příloha 9: Blokové schéma výpočtu měrné ztrátové energie zúžené části přívodního potrubí
- Příloha 10: Blokové schéma celkové měrné ztrátové energie v části zužování a pozvolného difuzoru
- Příloha 11: Výpočet délkových ztrát v místě zužování
- Příloha 12: Výpočet délkových ztrát v místě pozvolného difuzoru
- Příloha 13: Moodyho diagram
- Příloha 14: Součinitel hydraulické ztráty ζ_{zuz} při pozvolném zúžení
- Příloha 15: Závislost ztrátového součinitele na úhlu rozevření pozvolného difuzoru
- Příloha 16: Ztrátový součinitel odbočky
- Příloha 17: Blokové schéma modelu vypouštění VPK Štvanice
- Příloha 18: Časový průběh rychlosti proudění vody v hlavní části potrubí před odbočkami c_{21} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] a rychlosti v turbínové části přívodního potrubí c_{turb} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] – napouštění VPK Štvanice
- Příloha 19: Časový průběh mechanického výkonu předávaného turbíně P_{mech1} [kW], elektrického výkonu na svorkách generátoru P_{el} [kW] (nátok č. 1) a výšky vody v PK nad minimální hladinou $H_{\text{přit}}$ [m] – napouštění VPK Štvanice
- Příloha 20: Časový průběh měrné energie turbíny e_{turb} [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$], celkového elektrického výkonu P_{el} [kW] a vyrobené elektrické energie E [kWh] při $\beta_1 = 27^\circ$ a $H = 4,55$ m - vypouštění VPK Štvanice

Příloha 21: Časový průběh průtoku vody potrubím Q [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], rozdílu hladin Δh [m] a účinnosti turbíny η_{turb} [-] při $\beta_1 = 27^\circ$ a $H = 4,55$ m - vypouštění VPK Štvanice

Příloha 22: Časový průběh rychlosti proudění vody v hlavní části potrubí za vtokovými odbočkami $c_{2,1}$ [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] a rychlosti v turbínové části vypouštěcího potrubí c_{turb} [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] – vypouštění VPK Štvanice

Příloha 23: Časový průběh mechanického výkonu předávaného turbíně P_{mech1} [kW], elektrického výkonu na svorkách generátoru P_{el1} [kW] (výtok č. 1) a výšky vody v PK nad minimální hladinou H_1' [m] – vypouštění VPK Štvanice

Příloha 24: Časový průběh měrné energie turbíny e_{turb} [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$], celkového elektrického výkonu P_{el} [kW] a vyrobené elektrické energie E [kWh] při $\beta_1 = 27^\circ$ a $H = 4,55$ m - napouštění MPK Štvanice

Příloha 25: Časový průběh průtoku vody potrubím Q [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], rozdílu hladin Δh [m] a účinnosti turbíny η_{turb} [-] při $\beta_1 = 27^\circ$ a $H = 4,55$ m - napouštění MPK Štvanice

Příloha 26: Časový průběh rychlosti proudění vody v hlavní části potrubí před odbočkami c_{21} [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] a rychlosti v turbínové části přívodního potrubí c_{turb} [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] – napouštění MPK Štvanice

Příloha 27: Časový průběh mechanického výkonu předávaného turbíně P_{mech1} [kW], elektrického výkonu na svorkách generátoru P_{el1} [kW] (nátok č. 1) a výšky vody v PK nad minimální hladinou $H_{\text{přit}}$ [m] – napouštění MPK Štvanice

Příloha 28: Tabulka naměřených hodnot vyrobené energie a délky napouštění VPK v závislosti na úhlu natočení lopatek oběžného kola turbíny

Příloha 29: Závislost času napouštění VPK Štvanice t_{napVPK} [min] na vstupním úhlu natočení lopatek oběžného kola turbíny β_1 [$^\circ$] pro různé rozdíly hladin

Příloha 30: Závislost množství vyrobené elektrické energie E_{napVPK} [kWh] na vstupním úhlu natočení lopatek oběžného kola turbíny β_1 [$^\circ$] při napouštění VPK Štvanice pro různé rozdíly hladin

Příloha 31: Tabulka naměřených hodnot vyrobené energie a délky vypouštění VPK v závislosti na úhlu natočení lopatek oběžného kola turbíny

Příloha 32: Závislost času vypouštění VPK Štvanice t_{vypVPK} [min] na vstupním úhlu natočení lopatek oběžného kola turbíny β_1 [$^\circ$] pro různé rozdíly hladin

Příloha 33: Závislost množství vyrobené elektrické energie E_{vypVPK} [kWh] na vstupním úhlu natočení lopatek oběžného kola turbíny β_1 [°] při vypouštění VPK Štvanice pro různé rozdíly hladin

Příloha 34: Tabulka naměřených hodnot vyrobené energie a délky napouštění MPK v závislosti na úhlu natočení lopatek oběžného kola turbíny

Příloha 35: Závislost času napouštění MPK Štvanice t_{napMPK} [min] na vstupním úhlu natočení lopatek oběžného kola turbíny β_1 [°] pro různé rozdíly hladin

Příloha 36: Závislost množství vyrobené elektrické energie E_{napMPK} [kWh] na vstupním úhlu natočení lopatek oběžného kola turbíny β_1 [°] při napouštění MPK Štvanice pro různé rozdíly hladin

Příloha 37: Tabulka naměřených hodnot vyrobené energie a délky přesahu času napouštění VPK oproti času uvedenému v MŘ VD Štvanice v závislosti na úhlu natočení lopatek oběžného kola turbíny

Příloha 38: Tabulka naměřených hodnot vyrobené energie a délky přesahu času vypouštění VPK oproti času uvedenému v MŘ VD Štvanice v závislosti na úhlu natočení lopatek oběžného kola turbíny

Příloha 39: Tabulka naměřených hodnot vyrobené energie a délky přesahu času napouštění MPK oproti času uvedenému v MŘ VD Štvanice v závislosti na úhlu natočení lopatek oběžného kola turbíny

Příloha 40: Závislost vyrobené elektrické energie E_{napVPK} [kWh] na čase přesahu napouštění VPK Štvanice dle MŘ Δt_{napVPK} [min] s minimálními hodnotami roční střední energie E_{minR} [kWh]

Příloha 41: Závislost vyrobené elektrické energie E_{vypVPK} [kWh] na čase přesahu vypouštění VPK Štvanice dle MŘ Δt_{vypVPK} [min] s minimálními hodnotami roční střední energie E_{minR} [kWh]

Příloha 42: Závislost vyrobené elektrické energie E_{napMPK} [kWh] na čase přesahu napouštění MPK Štvanice dle MŘ Δt_{napMPK} [min] s minimálními hodnotami roční střední energie E_{minR} [kWh]

Příloha 43: Tabulky hodnot pro výpočet ekonomického zhodnocení MVE Štvanice PK

Příloha 44: Graf průběhu CF a kumulovaného CF v jednotlivých letech pro případ $E_{výroba} \text{ [kWh]} = E_{spotřeba} \text{ [kWh]}$

Příloha 45: Graf průběhu DCF a kumulovaného DCF v jednotlivých letech pro případ $E_{výroba} \text{ [kWh]} = E_{spotřeba} \text{ [kWh]}$

Příloha 46: Graf průběhu CF a kumulovaného CF v jednotlivých letech pro případ $E_{výroba} \text{ [kWh]} = E_{max} \text{ [kWh]}$

Příloha 47: Graf průběhu DCF a kumulovaného DCF v jednotlivých letech pro případ $E_{výroba} \text{ [kWh]} = E_{max} \text{ [kWh]}$

Příloha 48: Graf průběhu CF a kumulovaného CF v jednotlivých letech pro případ $E_{výroba} \text{ [kWh]} = E_{\beta 1 = 25^\circ} \text{ [kWh]}$

Příloha 49: Graf průběhu DCF a kumulovaného DCF v jednotlivých letech pro případ $E_{výroba} \text{ [kWh]} = E_{\beta 1 = 25^\circ} \text{ [kWh]}$

Příloha 50: Tabulka citlivostní analýzy závislosti NPV a IRR na IN

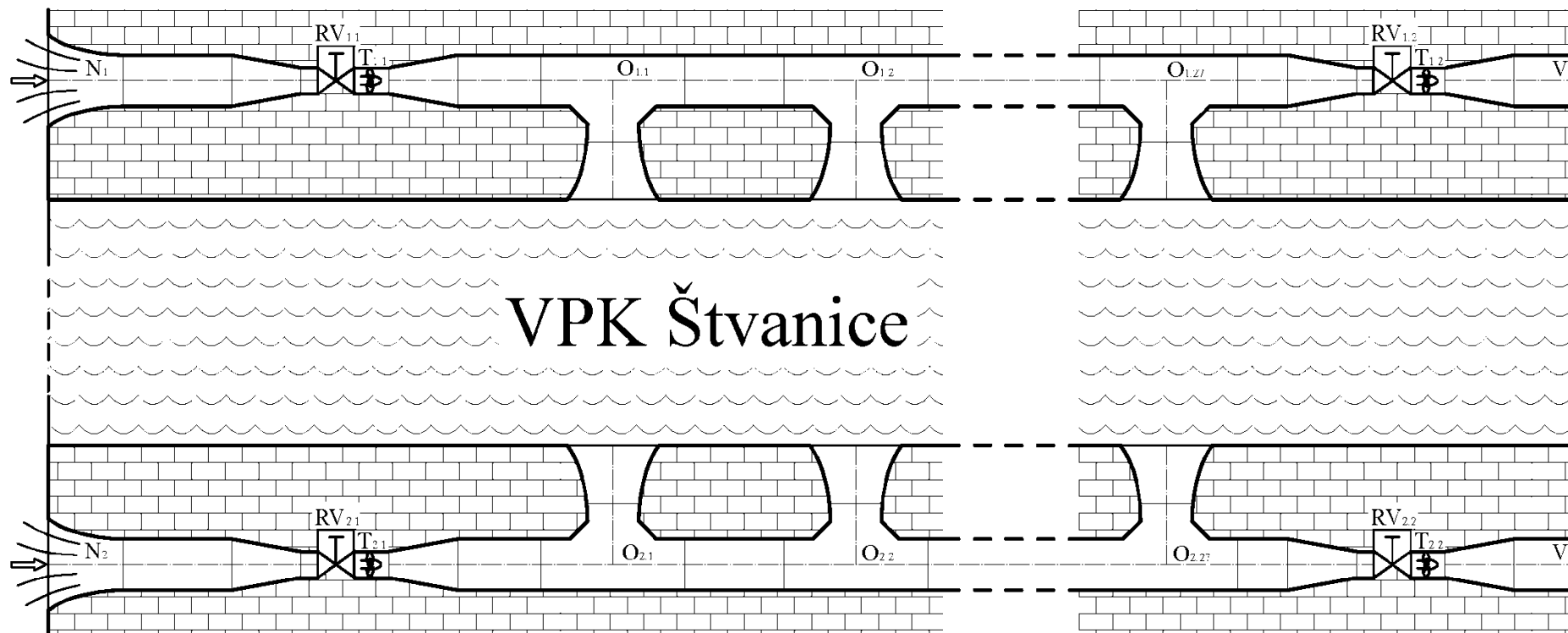
Příloha 51: Závislost velikosti IRR [%] na velikosti IN [mil. Kč]

Přílohy

Příloha 1: Seznam vodních děl na Vltavě a jejich umístění

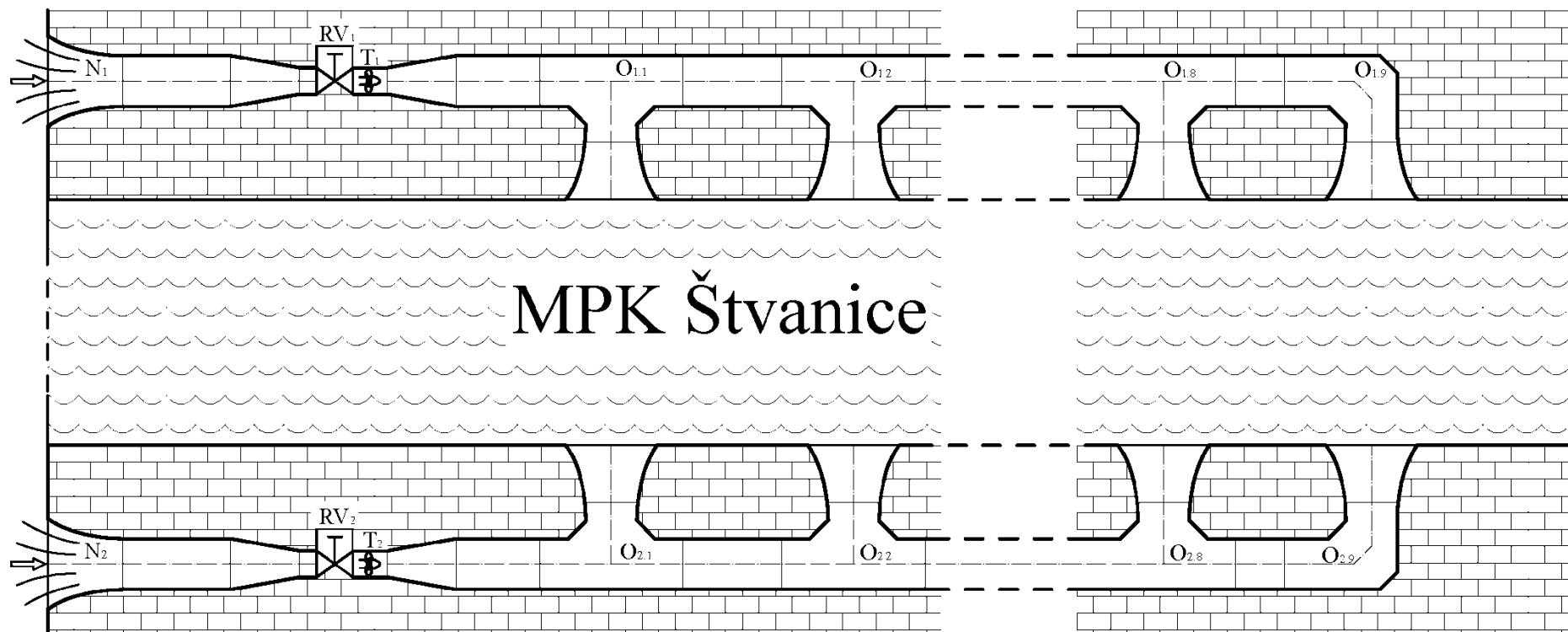
Číslo VD	Název	Název VE	Říční kilometr	PK
1	VD Vraňany-Hořín	MVE Dědibaby	11,55	NE
2	VD Mířejovice	MVE Mířejovice	18,06	ANO
3	VD Libčice-Dolany	MVE Libčice-Dolany	27,37	ANO
4	VD Klecany	MVE Klecany	38,08	ANO
5	VD Trója-Podbaba	MVE Podbaba MVE Troja	45,69	ANO NE
6	VD Štvanice	MVE Štvanice	50,69	ANO
7	VD Smíchov (Staroměstský a Štítkovský jez)		53,187	ANO
8	VD Modřany	MVE Modřany	62,209	ANO
9	VD Vrané nad Vltavou	VE Vrané	71,325	ANO
10	VD Štěchovice	VE Štěchovice I PVE Štěchovice II	84,440	ANO
11	VD Slapy	VE Slapy	91,694	NE
12	VD Kamýk	VE Kamýk	134,73	ANO
13	VD Orlík	VE Orlík	144,7	NE
14	VD Kořensko	VE Kořensko	200,405	ANO
15	Hněvkovice jez		208,9	ANO
16	VD Hněvkovice	VE Hněvkovice	210,39	ANO
17	VD Hluboká nad Vltavou	MVE Hluboká	229,1	ANO
18	VD České Vrbné	MVE České Vrbné	233,1	ANO
19	Jiráskův jez	MVE Sokolský ostrov	239,6	NE
20	Trilčův jez	MVE Trilčův jez	241,7	NE
21	jez Rožnov	MVE Stecherův mlýn	243,5	NE
22	jez Planá	MVE Planá	245,3	NE
23	jez Zátkův mlýn	MVE Boršov MVE Zátkův mlýn	250,0	NE
24	jez U Rybů		250,9	NE
25	jez Zlatá Koruna	MVE Zlatá koruna	269,0	NE
26	jez Jelení lávka	MVE Krumlovský mlýn	282,5	NE
27	jez Mrázkův mlýn		283,0	NE
28	jez U Liry		284,0	NE
29	jez Na Rechlich		284,9	NE
30	jez U Papouščí skály	MVE Papouščí skála	286,4	NE
31	jez Pečkovský mlýn	MVE Větrní	288,3	NE
32	jez Rožmberk		308,5	NE
33	jez Herbertov	MVE ČVUT	314,9	NE
34	jez U Bíleho mlýna	DVE Bílý mlýn	317,9	NE
35	VD Lipno II.	VE Lipno II	319,12	NE
36	Spirův jez	Spirova elektrárna	325,4	NE
37	jez Loučovice		326,1	NE
38	jez Loučovice		328,9	NE
39	VD Lipno I.	VE Lipno I	329,54	NE

Příloha 2: Zjednodušený schématický řez navrhovaného přívodního potrubí VPK Štvanice



N_1, N_2	Nátoky č. 1 a 2	$O_{1.1} - O_{1.27}$	Napouštěcí/vypouštěcí odbočky – nátok č. 1
$RV_{1.1}$	Řídicí ventil napouštění - nátok č. 1	$O_{2.1} - O_{2.27}$	Napouštěcí/vypouštěcí odbočky – nátok č. 2
$RV_{1.2}$	Řídicí ventil vypouštění - nátok č. 1	V_1, V_2	Výpusti z nátoků 1 a 2
$RV_{2.1}$	Řídicí ventil napouštění - nátok č. 2		
$RV_{2.2}$	Řídicí ventil vypouštění - nátok č. 2		
$T_{1.1}, T_{1.2}, T_{2.1}, T_{2.2}$	Instalované turbín		

Příloha 3: Zjednodušený schématický řez navrhovaného přívodního potrubí MPK Štvanice



N_1, N_2	Nátoky č. 1 a 2
RV_1	Řídicí ventil - nátok č. 1
RV_2	Řídicí ventil - nátok č. 2
T_1, T_2	Instalované turbíny
$O_{1.1} - O_{1.9}$	Napouštěcí odbočky – nátok č. 1
$O_{2.1} - O_{2.9}$	Napouštěcí odbočky – nátok č. 2

Příloha 4: Tabulka konstant využitých v matematickém modelu

Konst.	Hodnota	Název konstanty	Zkratka v modelu	Poznámka
ρ_w	$1\,000\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	Hustota vody	row	Obecně udávaná hodnota
ρ_A	$1,225\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	Hustota vzduchu	roA	
p_A	10^5 Pa	Atmosférický tlak okolí	pA	
k	1,4	Izoentropický mocnitel vzduchu	k	
g	$9,81\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$	Tíhové zrychlení	g	Obecně udávaná hodnota pro Prahu
$l_{1\text{VPK}}$	175,2 m	Délka VPK Štvanice	delka	
$l_{1\text{MPK}}$	115,1 m	Délka MPK Štvanice	delkamala	
l_2	11,0 m	Šířka VPK Štvanice	sirka	
t_{plnVPK}	13 min 25 s	Čas plnění VPK Štvanice	casplneni	Dle MŘ VD Štvanice ¹
t_{plnMPK}	10 min	Čas plnění MPK Štvanice	casplnenimala	
d_{potr}	2,2 m	Průměr hlavního přivaděče vody do VPK Štvanice	dPotr	Navrženo autorem DP pro účely modelu
ζ_M	0,04	Ztrátový součinitel vtoku potrubí	zetaM	Viz zjednodušující předpoklady (str. 67)
l_{privVPK}	196,92 m	Celková délka přivaděče VPK	lpriv	Dle MŘ VD Štvanice ²
l_{privMPK}	74,28 m	Celková délka přivaděče MPK	lprivmala	
l_{turb}	4 m	Délka zúženého místa přivaděče	Lturb	Navrženo autorem DP pro účely modelu
d_{turb}	1,6 m	Průměr potrubí v místě zúžení	dTurb	
δ_{zuz}	10°	Úhel zužování potrubí před úsekem turbíny	deltazuz	
δ_{roz}	10°	Úhel rozšiřování potrubí za úsekem turbíny	deltaroz	

¹ POVODÍ VLTAVY. *Manipulační řád pro vodní dílo Štvanice na Vltavě*. 1. Praha: Povodí Vltavy, 2020, 44 s.

² LEBEDOVÁ, M. POVODÍ VLTAVY. *MŘ VD Štvanice*. Česká republika, 2003.

$n_{\text{výť}}$	27	Počet výtokových odboček do/z VPK Štvanice	pocetvytoku	Dle MŘ VD Štvanice ³
ζ_b	$\zeta_b = f\left(\frac{Q_b}{Q}\right)$	Ztrátový součinitel odbočky pro 90° - rozdělení proudů	zetab	Závislý na poměru jednotlivých průtoků
ζ_{kol}	1,4	Ztrátový součinitel poslední odbočky	zetakol	Viz zjednodušující předpoklady (str. 67)
n_{turb}	200 ot·min ⁻¹	Otáčky turbíny	otacky	Dáno typem navržené turbíny
r_{vypoc}	0,54 m	Výpočtový poloměr	vypoctovy_p olomer	Střední poloměr turbíny - zvoleno
δ_β	5°	Rozdíl mezi vstupním a výstupním úhlem v místě výpočtového poloměru	deltabeta	Navrženo autorem DP pro účely modelu – dle rozmezí daných typem turbíny ⁴
Q_{max}	$Q_{\text{max}} = f(\beta_1, H_{\text{kom}})$	Maximální průtok napouštěcím/vyp ouštěcím potrubím	Q_{maxnap} Q_{maxvyp} Q_{maxnapma} la	Závislý na úhlu natočení oběžných lopatek turbíny a počátečním rozdílu hladin
ν	10 ⁻⁶ m ² ·s ⁻¹	Kinematická viskozita	ny	Obecně udávaná hodnota pro 20 °C
Re_{kritL}	2 300	Horní kritická hodnota Re. čísla pro laminární proudění	RekritD	
Re_{kritT}	7 000	Dolní kritická hodnota Re. čísla pro turbulentní proudění	RekritH	
δ	0,1 mm	Ekvvalentní drsnost stěn přivaděče	delta	Dáno typem navrženého potrubí

³ LEBEDOVÁ, M. POVODÍ VLTAVY. *MŘ VD Štvanice*. Česká republika, 2003.

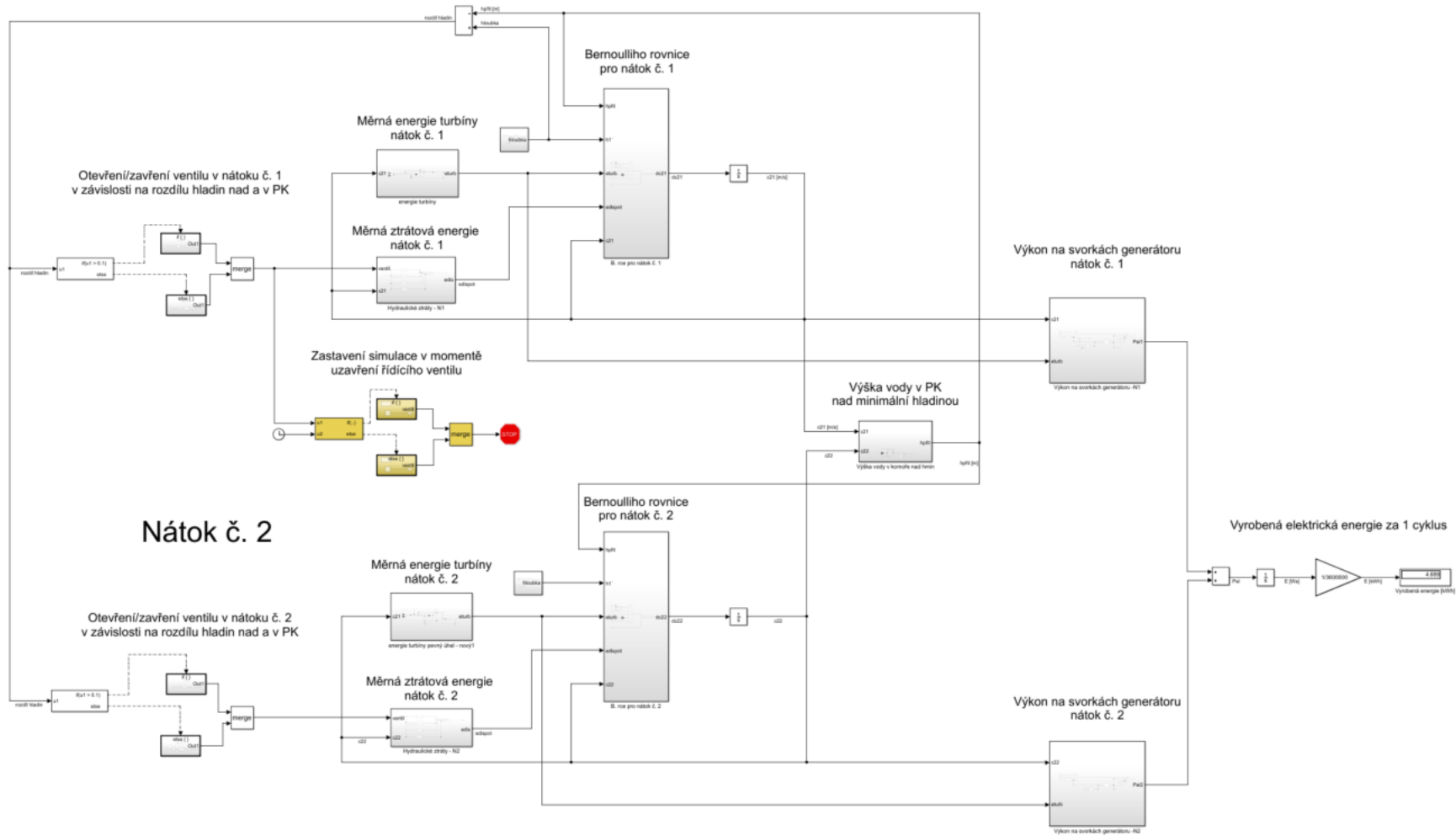
⁴ BEDNÁŘ, Josef. *Turbíny*. Českovice: Marcela Bednářová, 2013. ISBN 978-80-905437-0-6.

$\zeta_{zuž}$	$\zeta_{zuž} = f(\delta_{zuž})$	Ztrátový součinitel zužovací části potrubí	zetazuzovani	Závislý na úhlu zúžení
ζ_{roz}	$\zeta_{roz} = f\left(\delta_{roz}, \frac{D_2}{D_1}\right)$	Ztrátový součinitel pozvolného difuzoru	zetarozsirovani	Závislý na úhlu rozšiřování a poměru vstupního a výstupního průměru potrubí
ζ_1	0,5	Výtokový koeficient ŘV	dzeta1	Využity hodnoty z předmětu MDS
δ_{12}	0,001	Ekvivalentní drsnost ŘV	delta12	
ζ_{reg}	$\zeta_{roz} = f(y_{reg})$	Charakteristika ŘV	dzeta_reg	
$\zeta_{přit}$	1,5	Ztrátový součinitel odbočky pro 90° - spojení proudů	zetaprit	Tabulková hodnota ⁵
$\zeta_{přitL}$	1	Ztrátový součinitel rovné části odbočky° - spojení proudů	zetapritrov	
$\eta_{přev}$	0,95	Účinnost převodů	etaprev	Viz zjednodušující předpoklady (str. 67)
η_{gen}	0,88	Účinnost generátoru	etagen	

⁵ LABOUTKA, Karel a Tomáš SUCHÁNEK. Hodnoty součinitelů místních ztrát - T-kusy a křížení - přehled. *Tzbinfo* [online]. Topinfo s.r.o., 2020 [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/23-hodnoty-soucinitelu-mistnich-ztrat-t-kusy-a-krizeni-prehled>

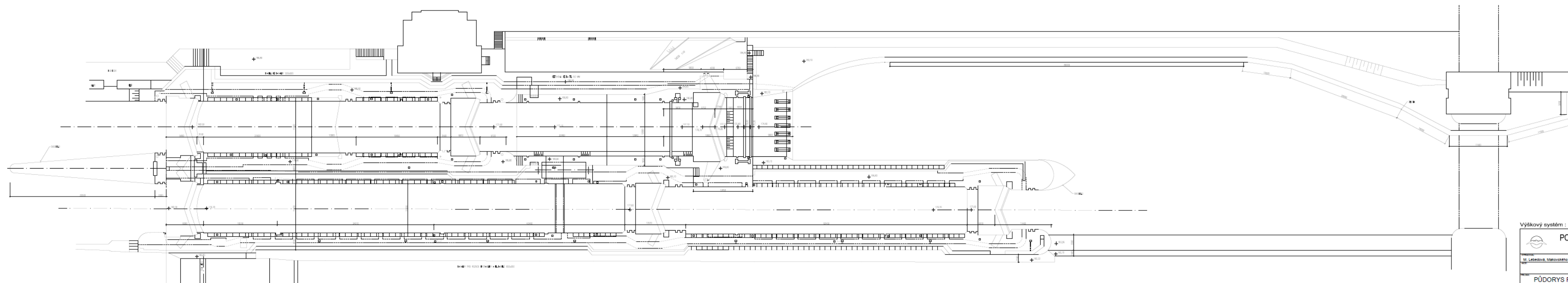
Příloha 5: Blokové schéma modelu napouštění PK Štvanice


Nátok č. 1



Příloha 6: MŘ VD Štvanice - Púdorys plavebních komor⁶

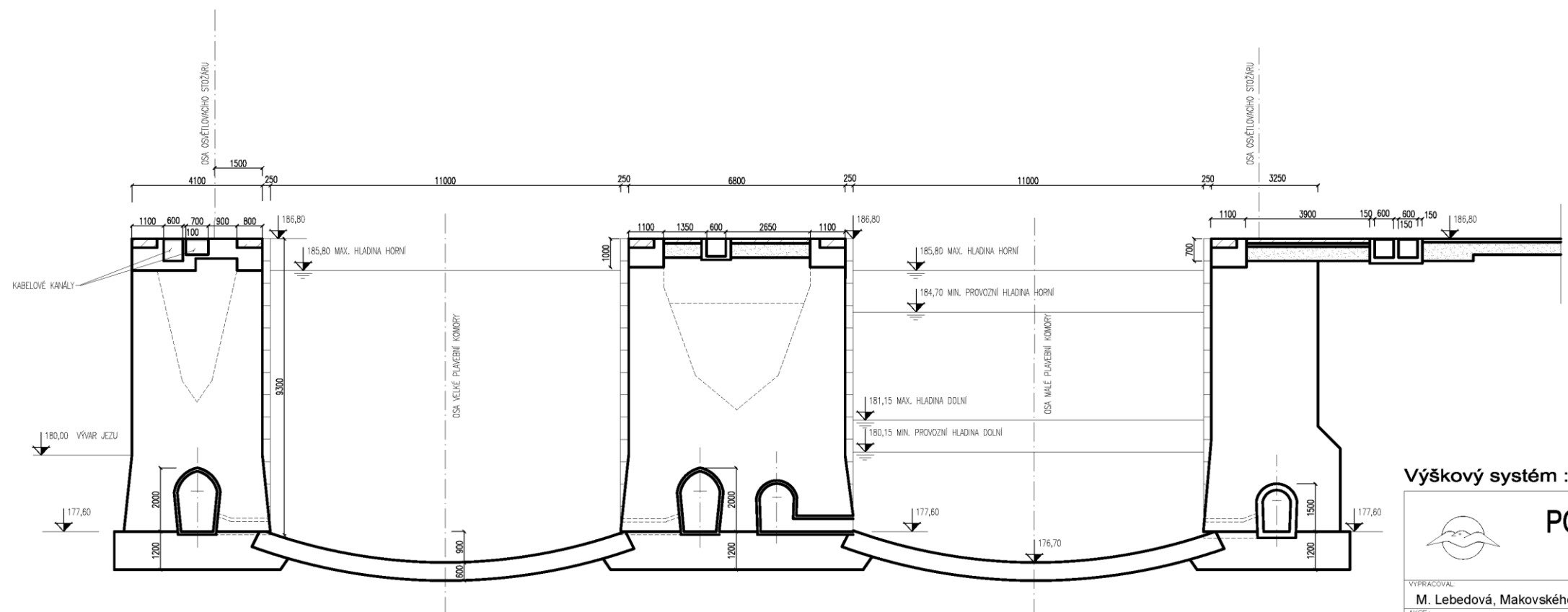
MŘ VD ŠTVANICE
PÚDORYS PLAVEBNÍCH KOMOR 1:200



Výškový systém : B.p.v.		PROJEKTANT	
 POVODÍ VLTAVY státní podnik		Ing. J. Švec Ing. S. Brázdilová Ing. M. Švecová	
M. Lebedová, Makovského 1235, 163 00 Praha 6		Ing. M. Švecová, Ing. R. Švecová	
MŘ VD ŠTVANICE		MĚŘÍTKO	
PÚDORYS PLAVEBNÍCH KOMOR		1:200	
WAPPLAČNÍ ČÍSLO	ETIKETOVÁNÍ	ŠKIC	18.11
POVODÍ VLTAVY s.p.	18710000	18710000	G 2 15

⁶ LEBEDOVÁ, M. POVODÍ VLTAVY. *MŘ VD Štvanice*. Česká republika, 2003.

MŘ VD ŠTVANICE
PŘÍČNÝ ŘEZ PLAVEBNÍMI KOMORAMI 1:100

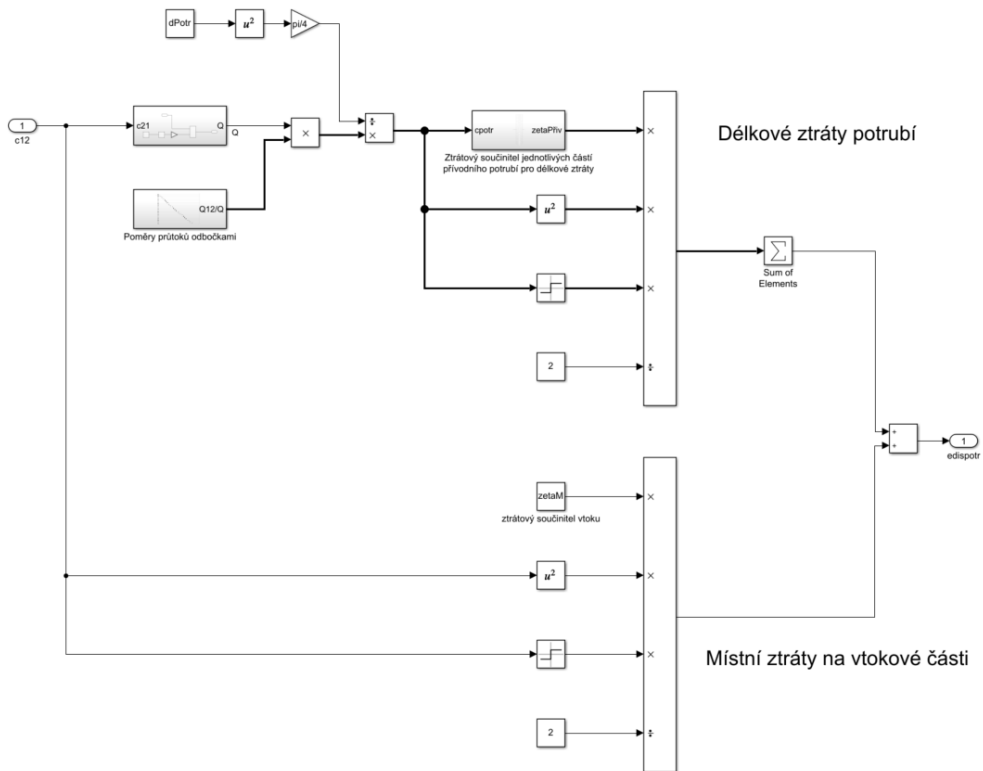


Výškový systém : B.p.v.

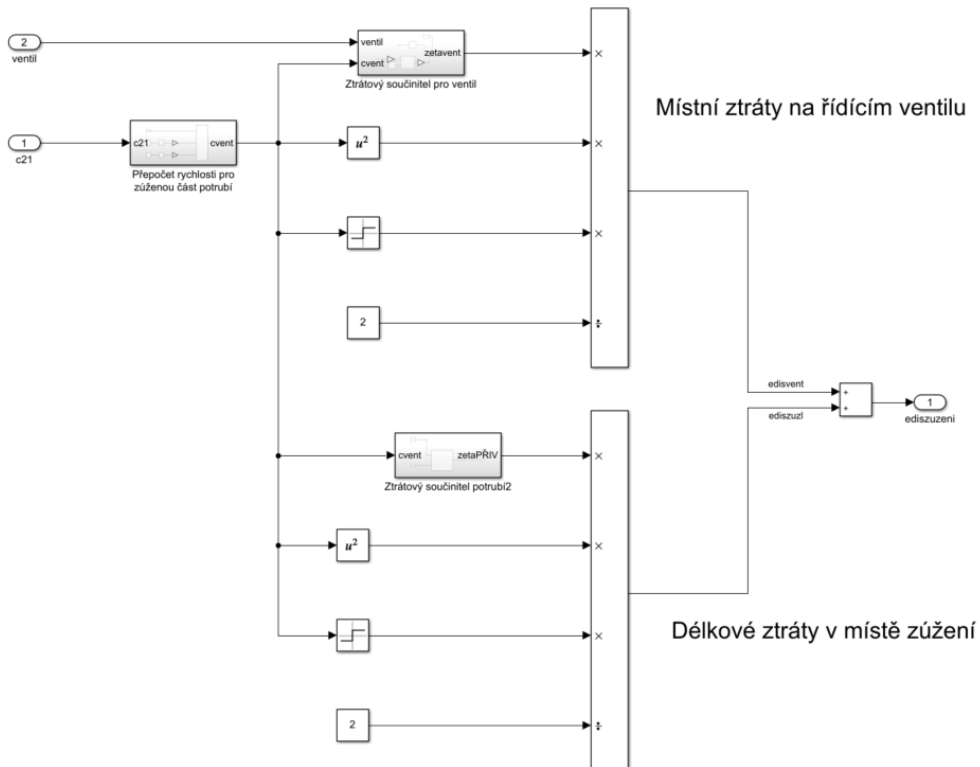
 POVODÍ VLTAVY státní podnik	PRACOVISŤE: GR - útvar technickoprovozní VŘ dispečník Holečkova 8 150 24 Praha 5
	VED. PRACOVISŤE: Ing. B. Brožková
VYPRACOVAL: M. Lebedová, Makovského 1335, 163 00 Praha 6	TECHN. KONTROLA: Ing. M. Bártová, Ing. R. Švecová
MŘ VD ŠTVANICE PŘÍČNÝ ŘEZ PK	
PRÍLOHA:	DATUM: LEDEN 2003 MĚŘÍTKO: 1 : 100
STUPEŇ: MANIPULAČNÍ ŘÁD	KRAJ: STŘEDOČESKÝ
OBJEDNATEL: POVODÍ VLTAVY s.p.	ČÍSLO ZAKÁZKY: 17/710/2002 ČÍSLO PŘÍLOHY: G.2.16.

⁷ LEBEDOVÁ, M. POVODÍ VLTAVY. *MŘ VD Štvanice*. Česká republika, 2003.

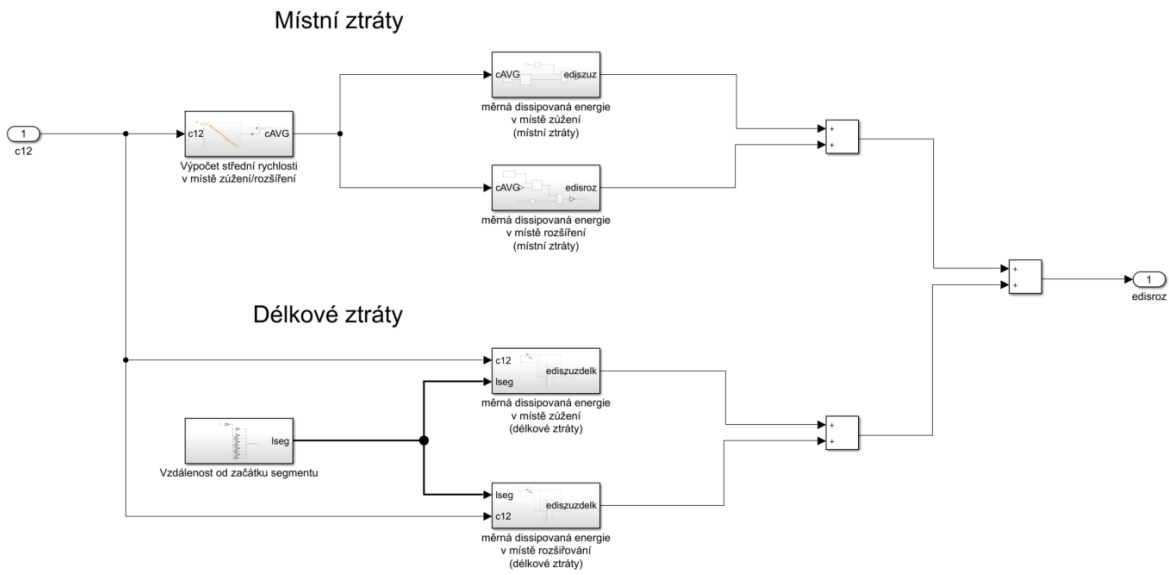
Příloha 8: Blokové schéma výpočtu měrné ztrátové energie hlavní části přívodního potrubí



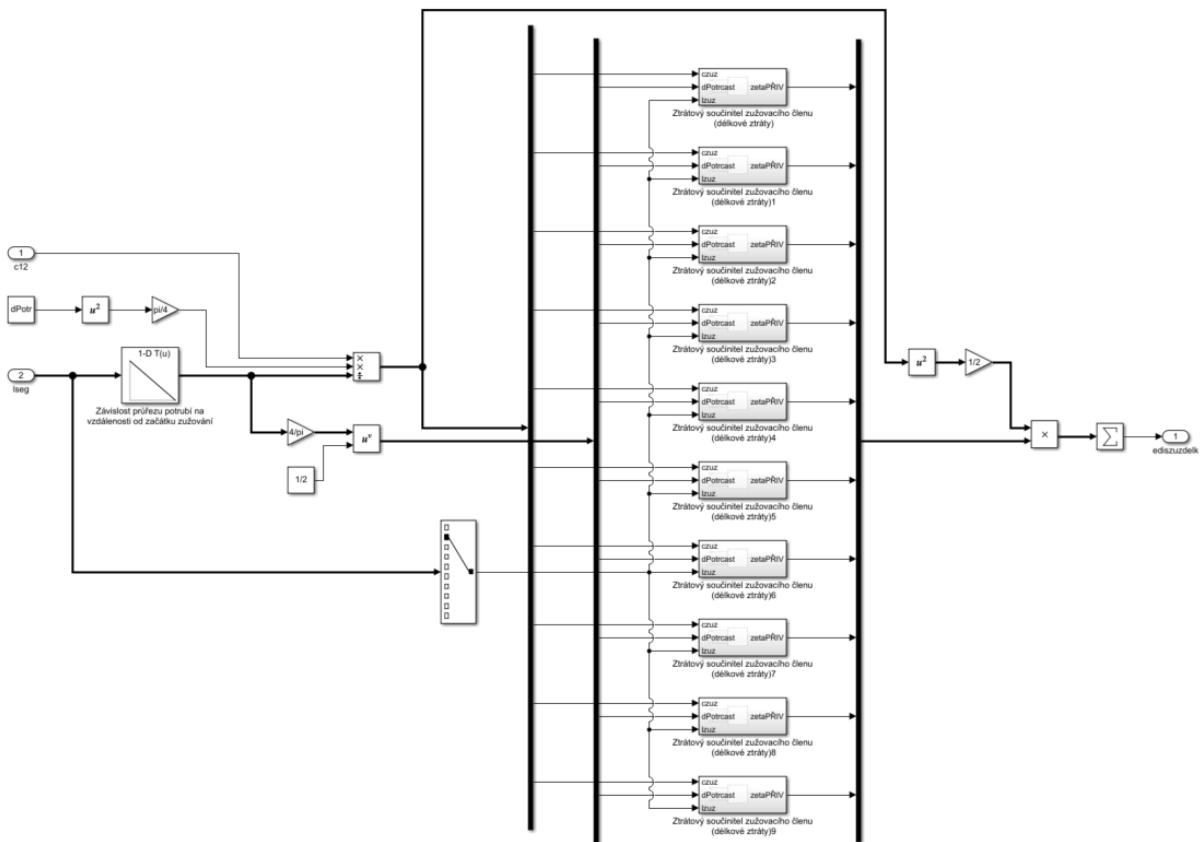
Příloha 9: Blokové schéma výpočtu měrné ztrátové energie zúžené části přívodního potrubí



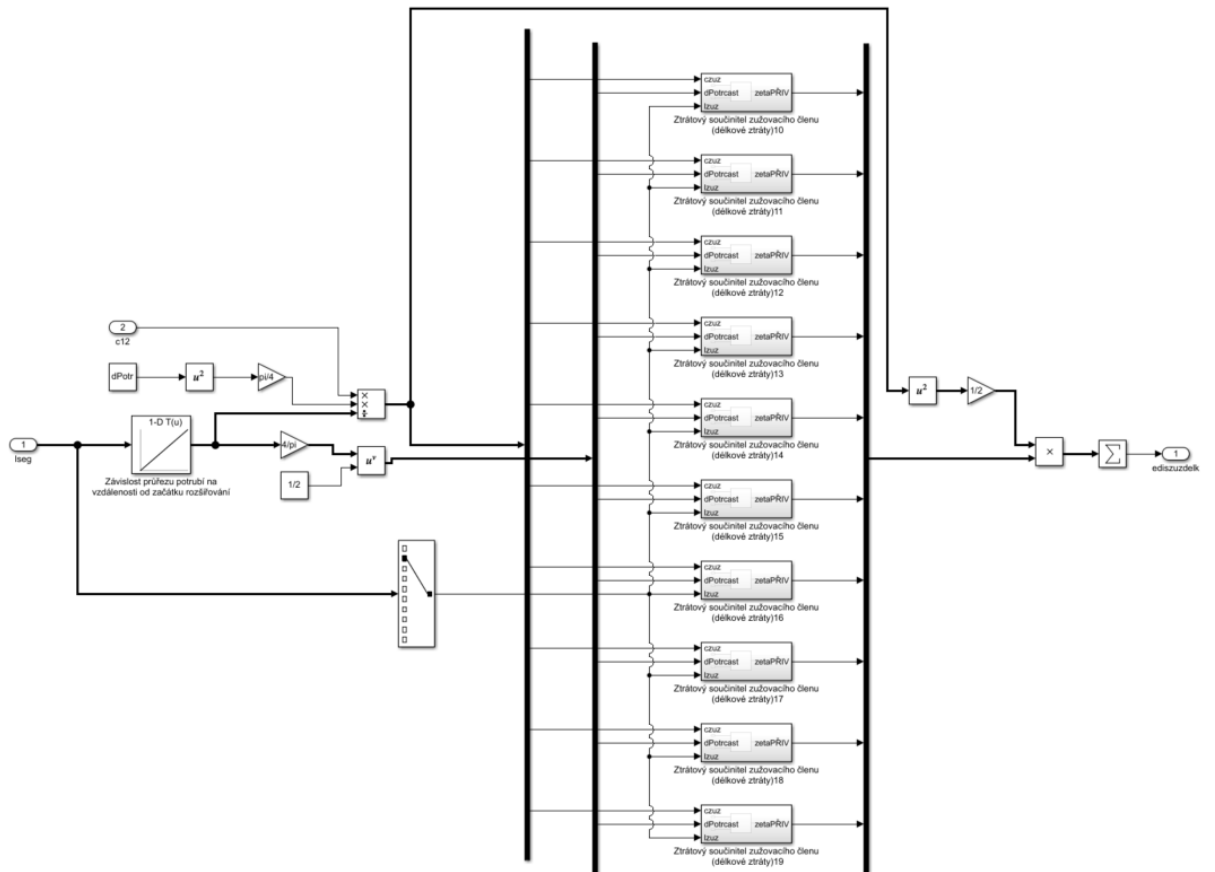
Příloha 10: Blokové schéma celkové měrné ztrátové energie v části zužování a pozvolného difuzoru



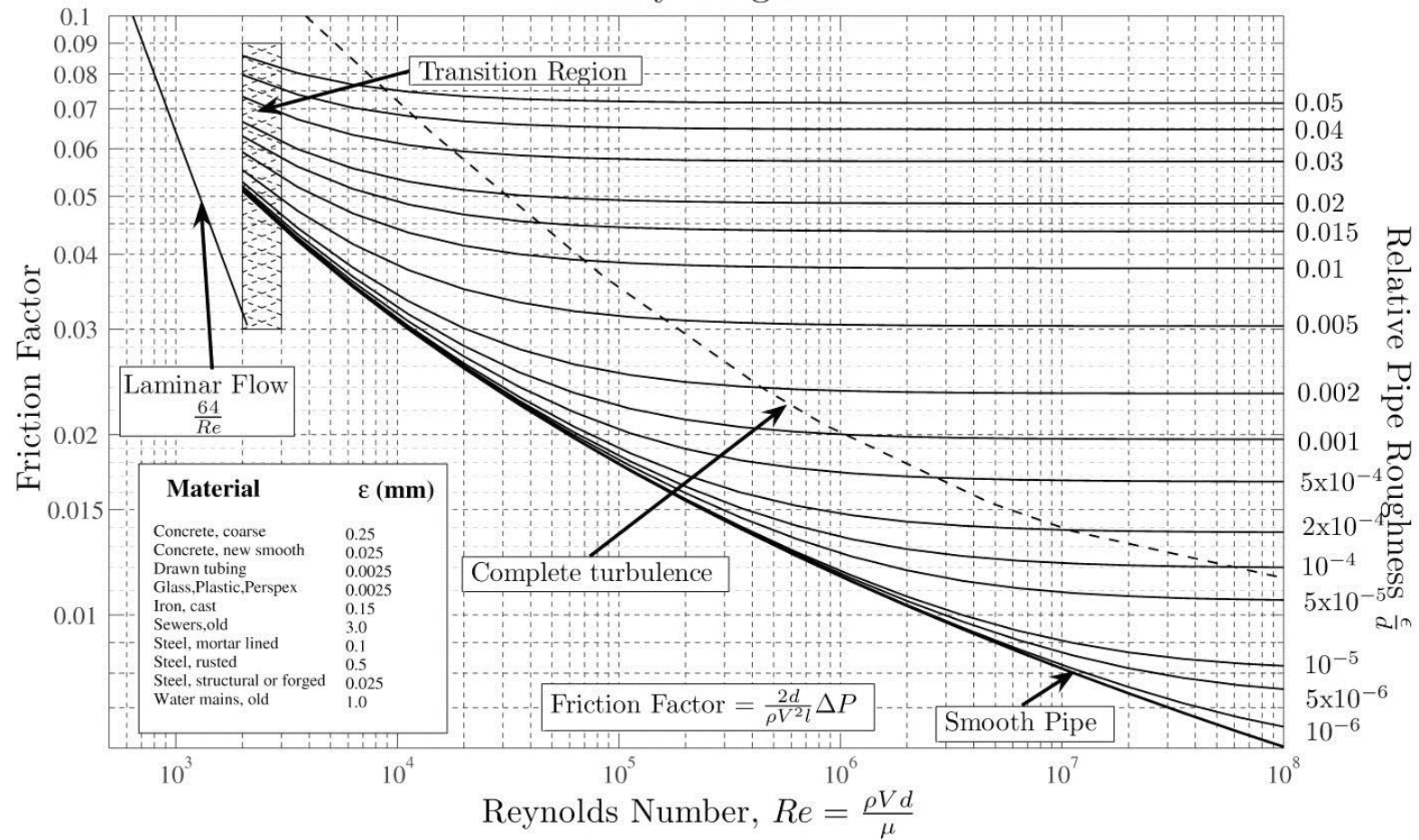
Příloha 11: Výpočet délkových ztrát v místě zužování



Příloha 12: Výpočet délkových ztrát v místě pozvolného difuzoru



Moody Diagram

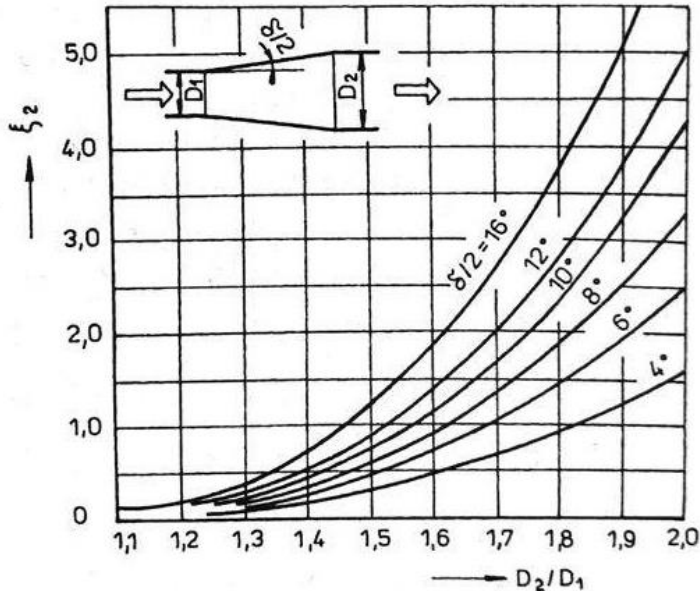


⁸ BECK, S. a R. COLLINS. Moody diagram. Lines created using Swami and Jain formula. Plot created on Matlab. *Wikimedia Commons* [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Moody_diagram.jpg

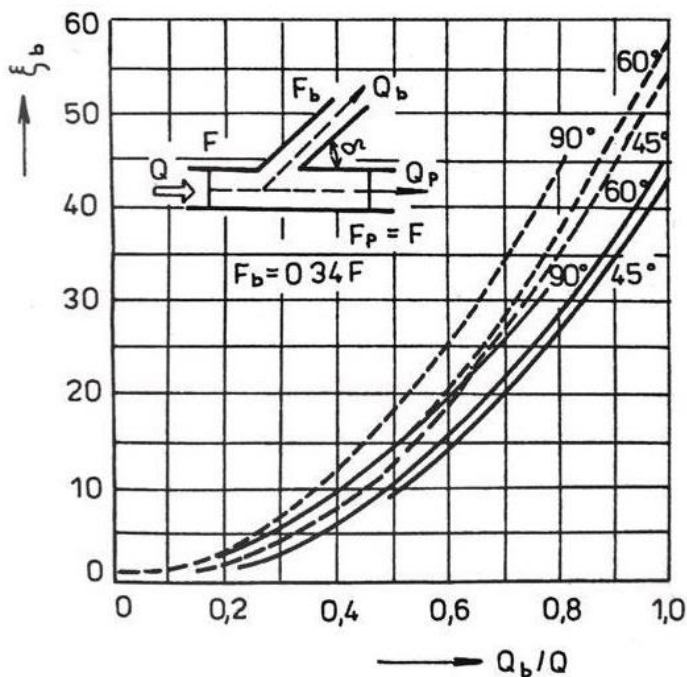
Příloha 14: Součinitel hydraulické ztráty ζ_{zuz} při pozvolném zúžení⁹

δ [°]	4 – 5°	5°	7 – 10°	15°	20°	25°	30°	45°	60°	75°
ζ_{zuz} [-]	0,06 – 0,005	0,06	0,16	0,18	0,2	0,22	0,24 – 0,28	0,3 – 0,31	0,32	0,34

Příloha 15: Závislost ztrátového součinitele na úhlu rozevření pozvolného difuzoru¹⁰



Příloha 16: Ztrátový součinitel odbočky¹¹

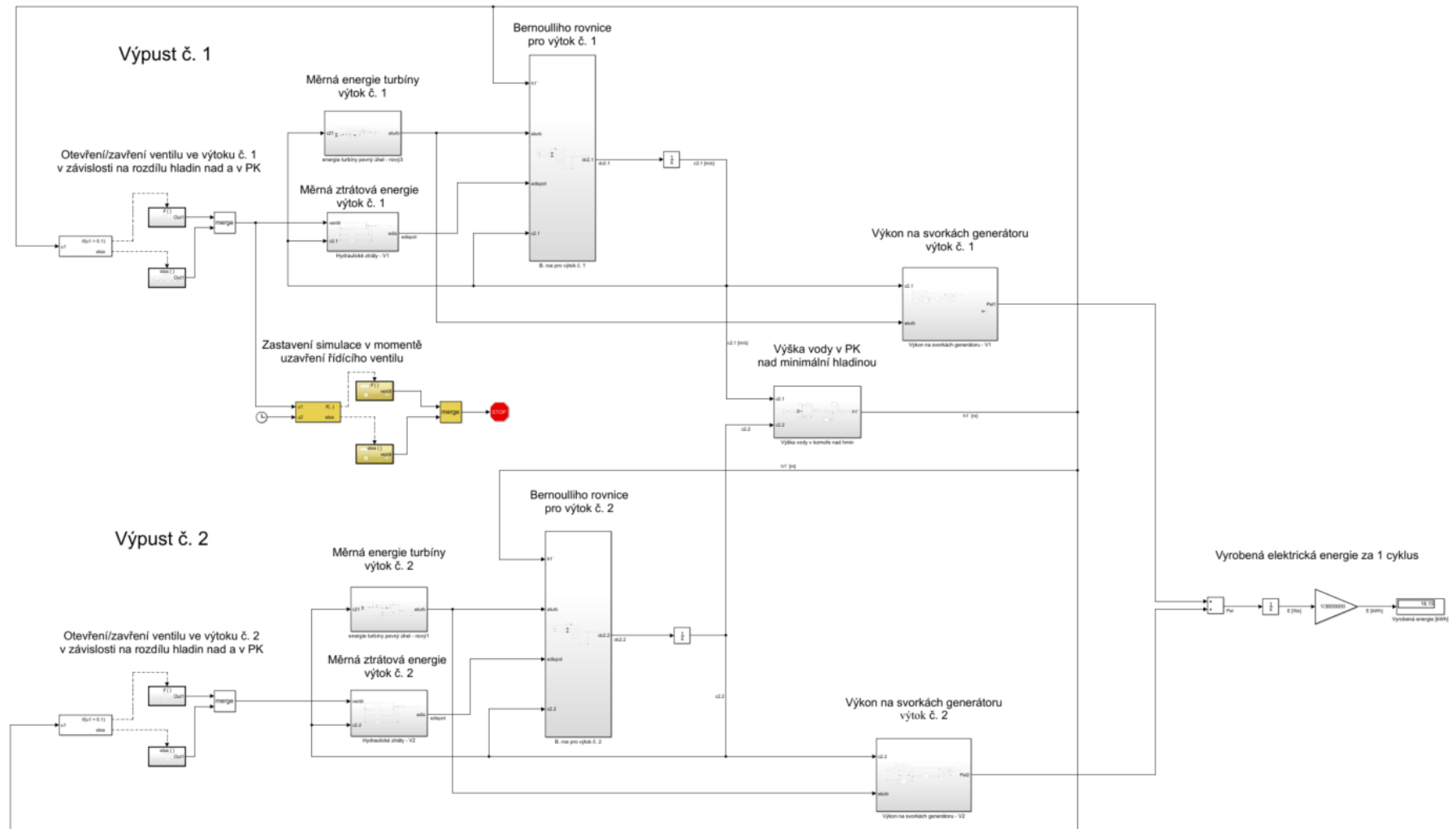


⁹ HOLATA, Miroslav, Pavel GABRIEL, ed. *Malé vodní elektrárny*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0828-4.

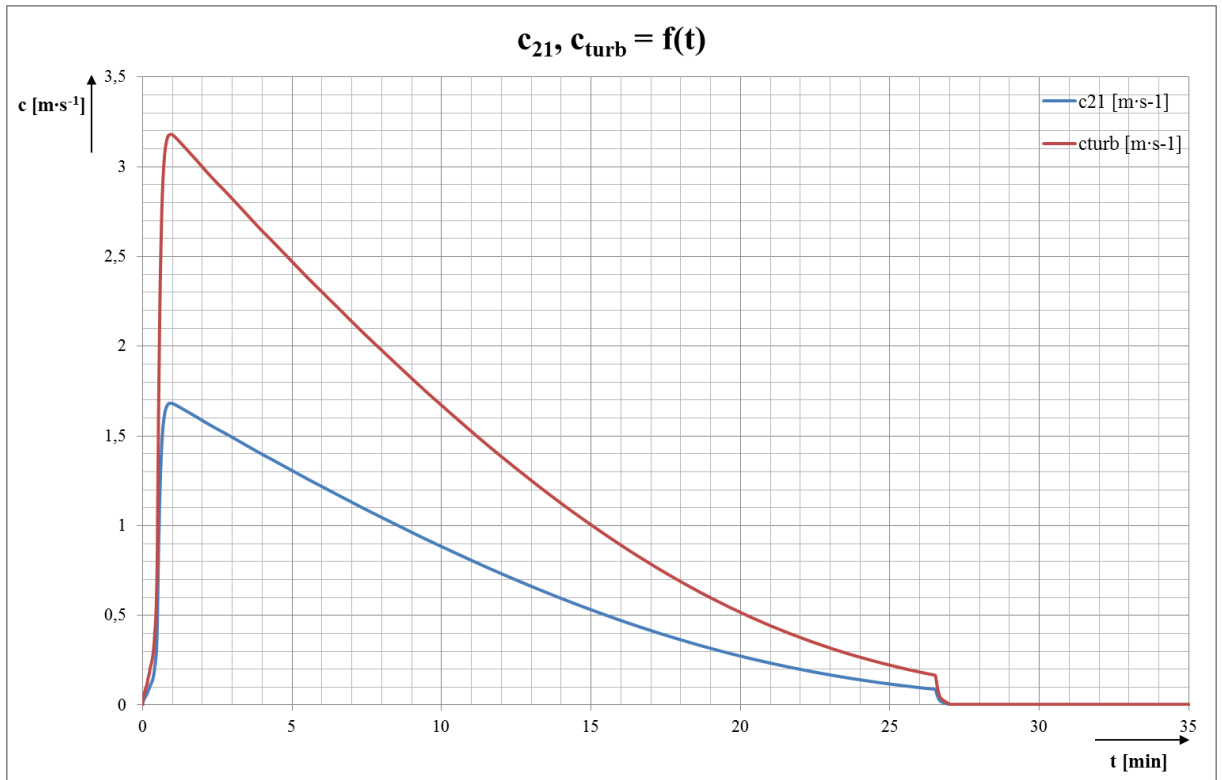
¹⁰ HOLATA, Miroslav, Pavel GABRIEL, ed. *Malé vodní elektrárny*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0828-4.

¹¹ HOLATA, Miroslav, Pavel GABRIEL, ed. *Malé vodní elektrárny*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0828-4.

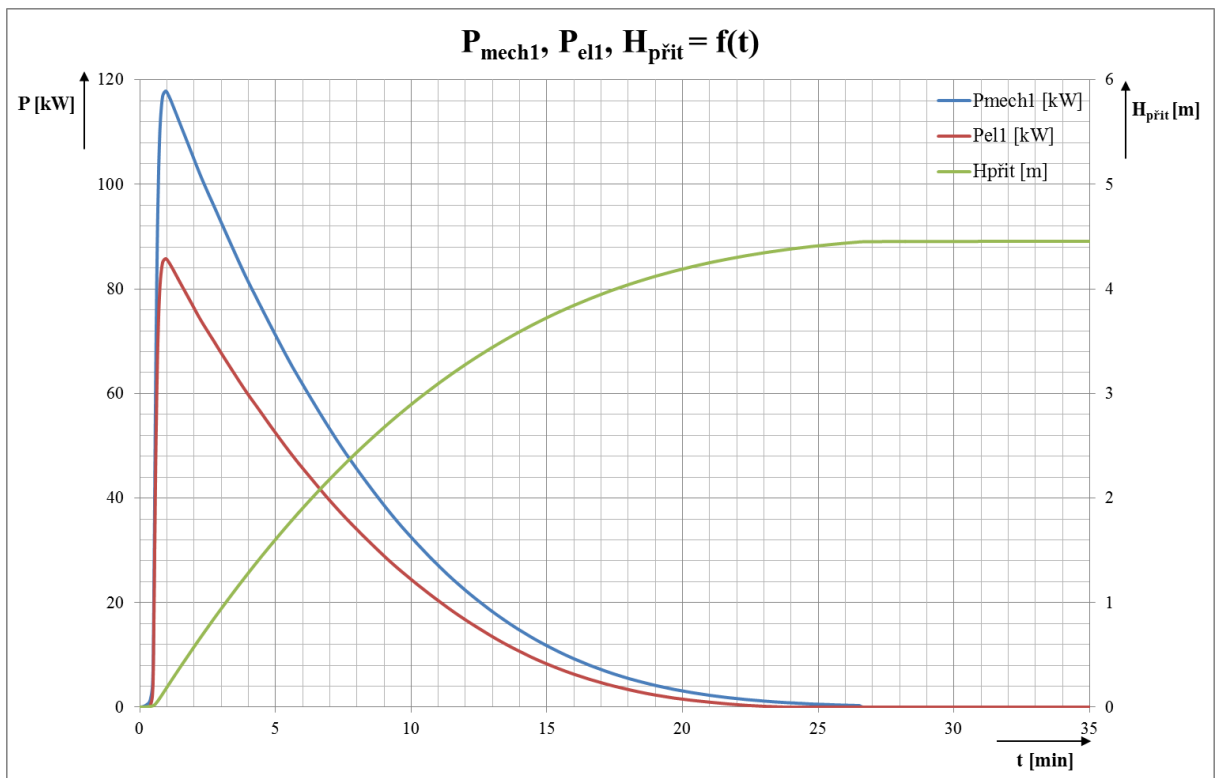
Príloha 17: Blokové schéma modelu vypouštění VPK Štvanice



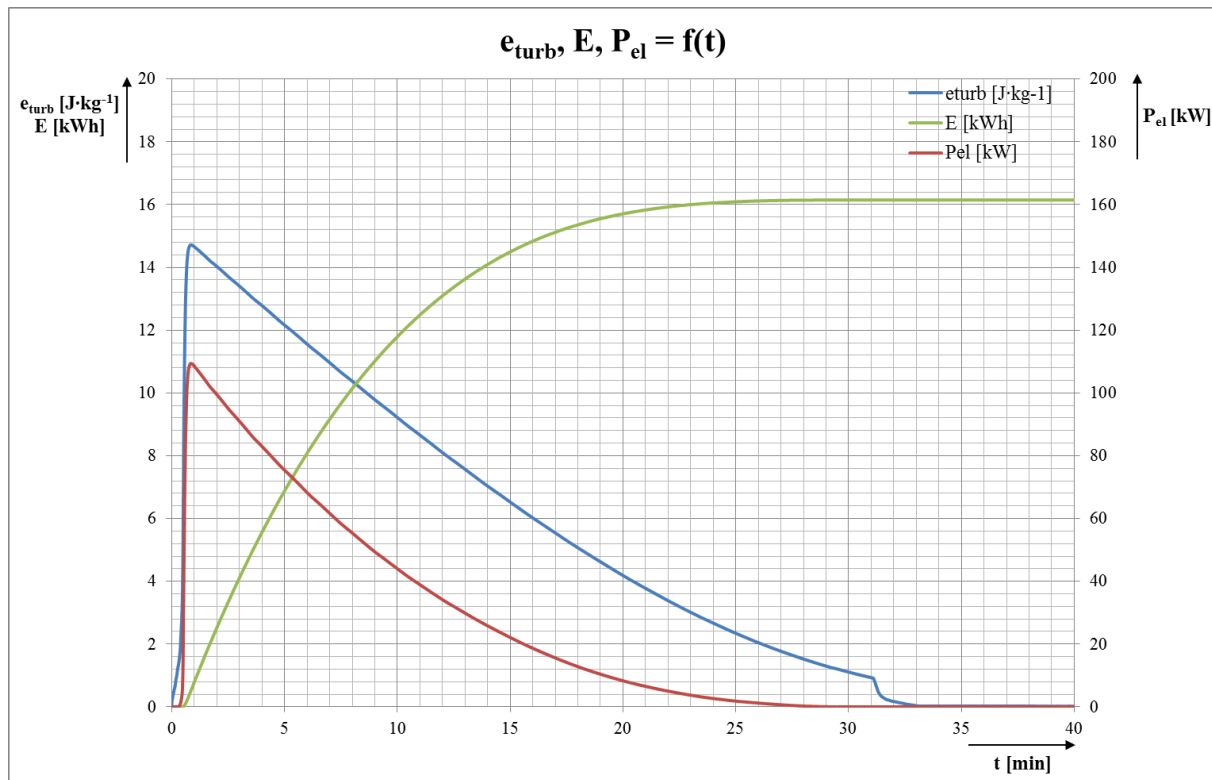
Příloha 18: Časový průběh rychlosti proudění vody v hlavní části potrubí před odbočkami c_{21} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] a rychlosti v turbínové části přívodního potrubí c_{turb} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] – napouštění VPK Štvanice



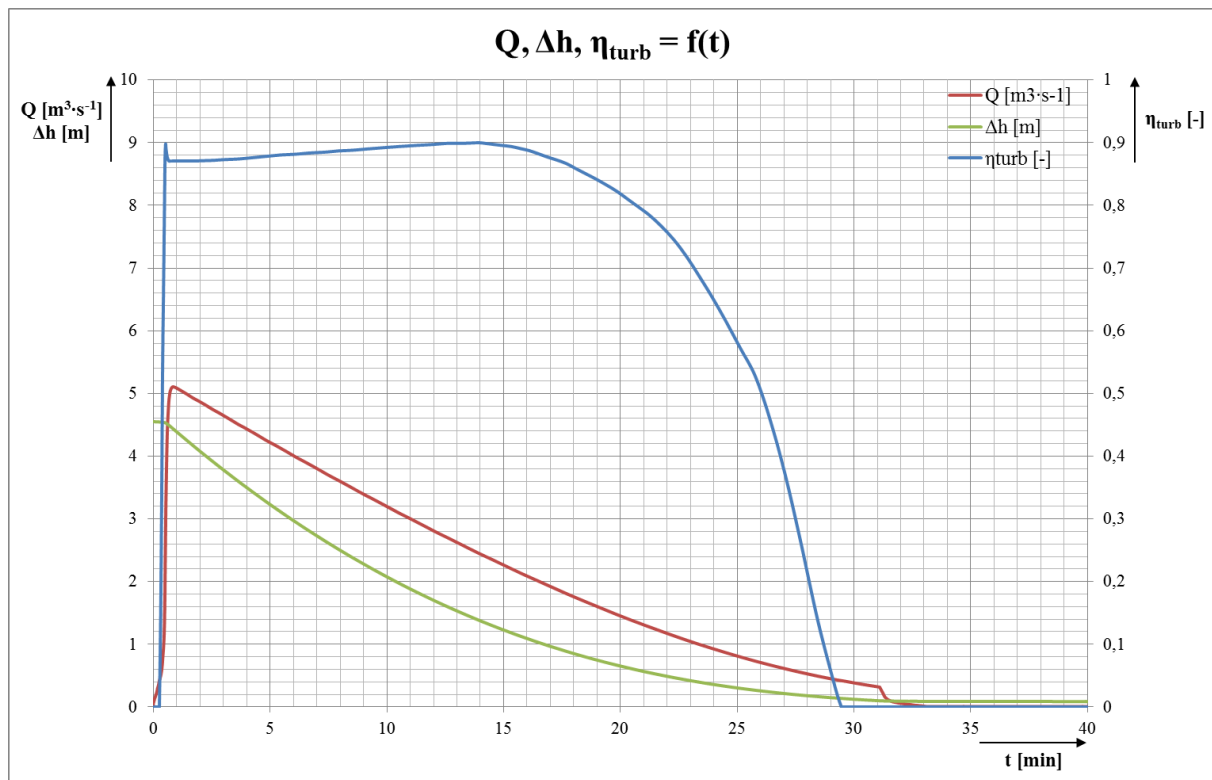
Příloha 19: Časový průběh mechanického výkonu předávaného turbíně P_{mech1} [kW], elektrického výkonu na svorkách generátoru P_{el1} [kW] (nátok č. 1) a výšky vody v PK nad minimální hladinou $H_{\text{přit}}$ [m] – napouštění VPK Štvanice



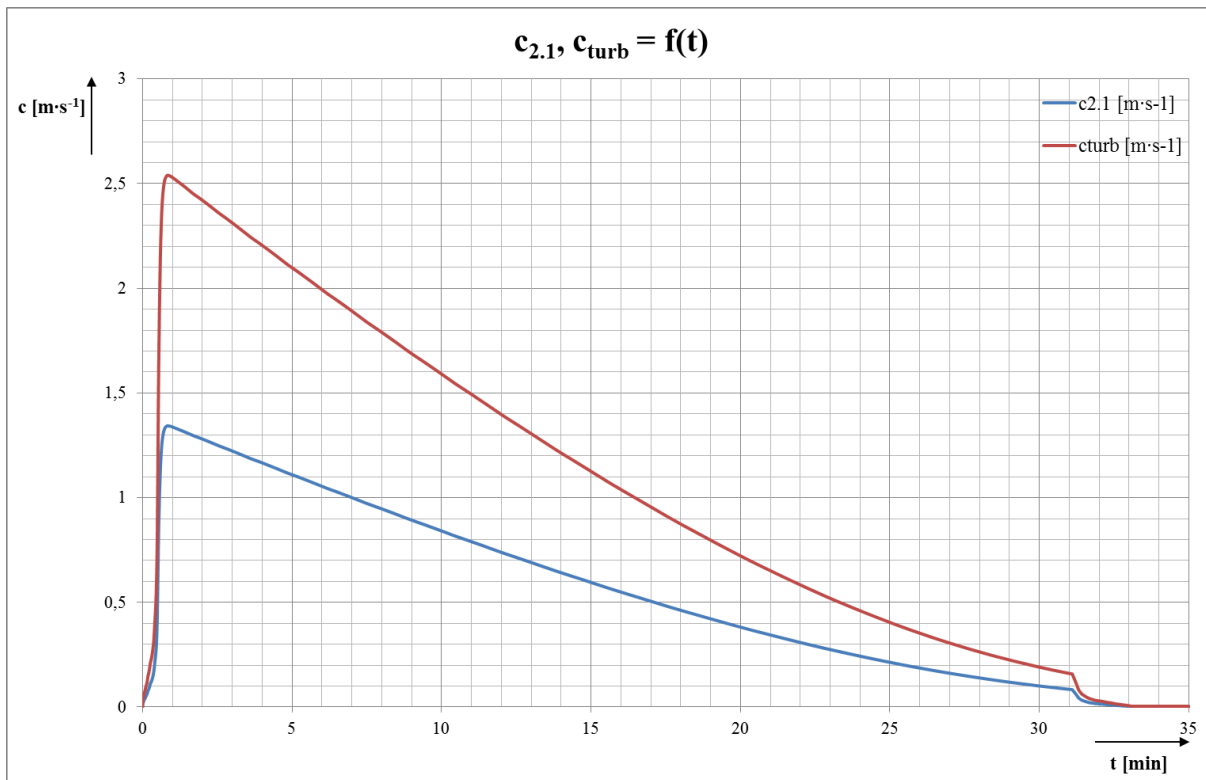
Příloha 20: Časový průběh měrné energie turbíny e_{turb} [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$], celkového elektrického výkonu P_{el} [kW] a vyrobené elektrické energie E [kWh] při $\beta_1 = 27^\circ$ a $H = 4,55$ m - vypouštění VPK Štvanice



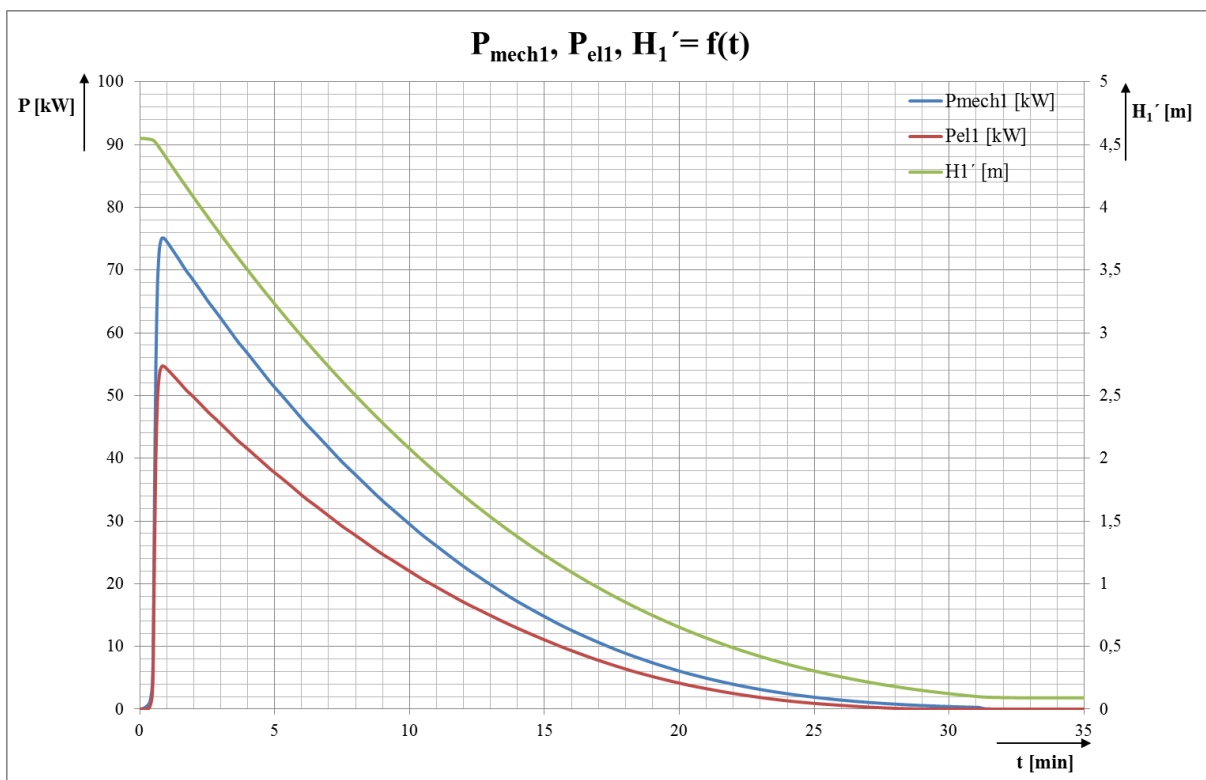
Příloha 21: Časový průběh průtoku vody potrubím Q [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$], rozdílu hladin Δh [m] a účinnosti turbíny η_{turb} [-] při $\beta_1 = 27^\circ$ a $H = 4,55$ m - vypouštění VPK Štvanice



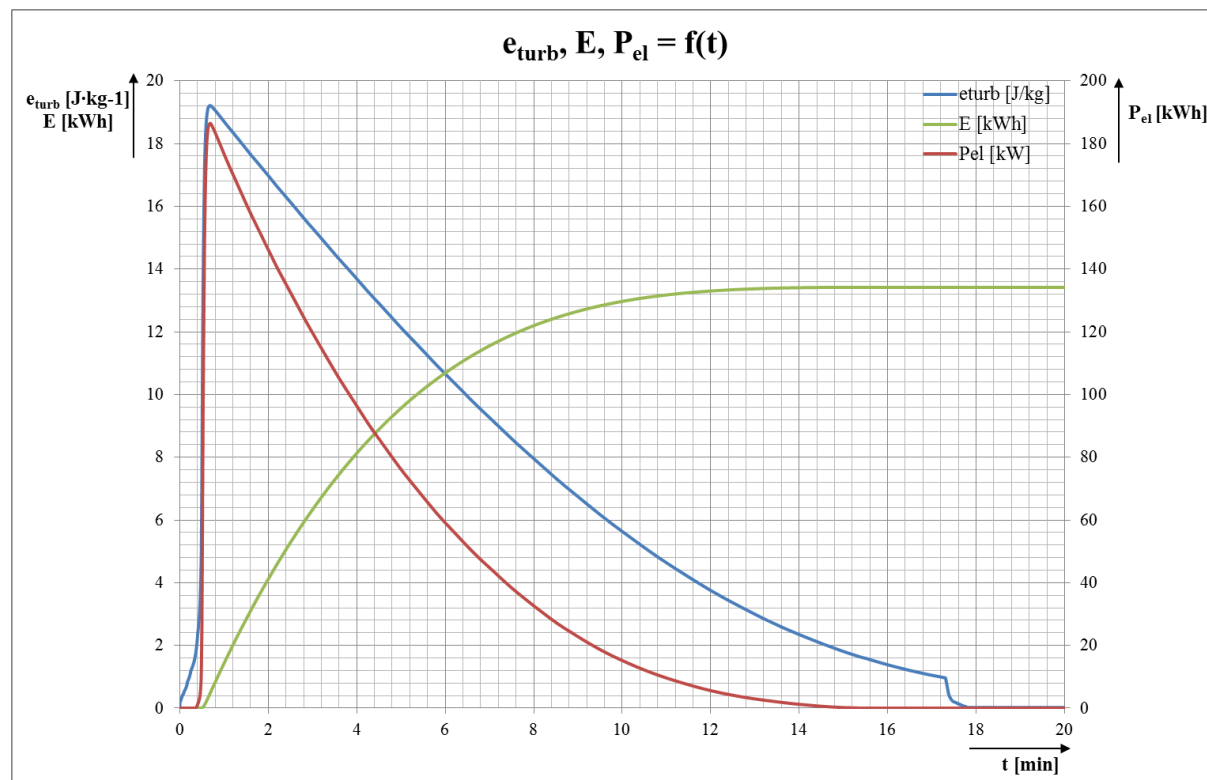
Příloha 22: Časový průběh rychlosti proudění vody v hlavní části potrubí za vtokovými odbočkami $c_{2.1}$ [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] a rychlosti v turbínové části vypouštěcího potrubí c_{turb} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] – vypouštění VPK Štvanice



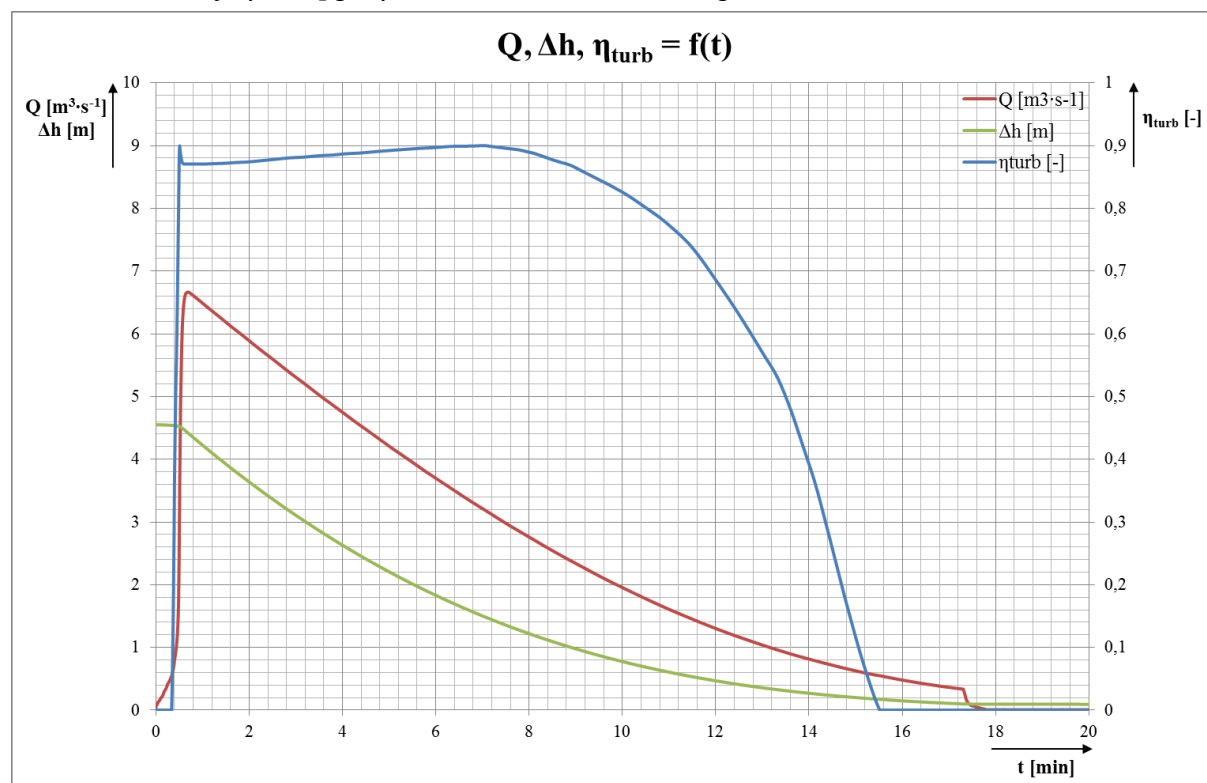
Příloha 23: Časový průběh mechanického výkonu předávaného turbíně P_{mech1} [kW], elektrického výkonu na svorkách generátoru P_{el1} [kW] (výtok č. 1) a výšky vody v PK nad minimální hladinou H_1' [m] – vypouštění VPK Štvanice



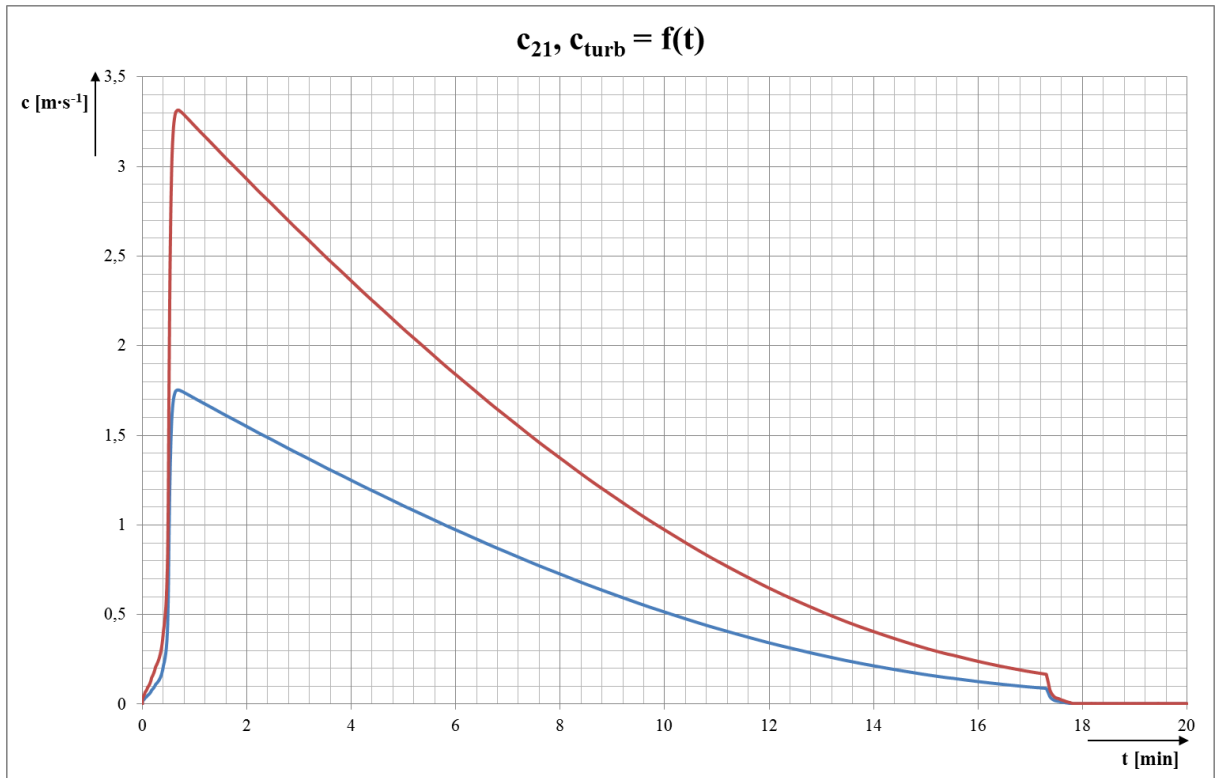
Příloha 24: Časový průběh měrné energie turbíny e_{turb} [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$], celkového elektrického výkonu P_{el} [kW] a vyrobené elektrické energie E [kWh] při $\beta_1 = 27^\circ$ a $H = 4,55$ m - napouštění MPK Štvanice



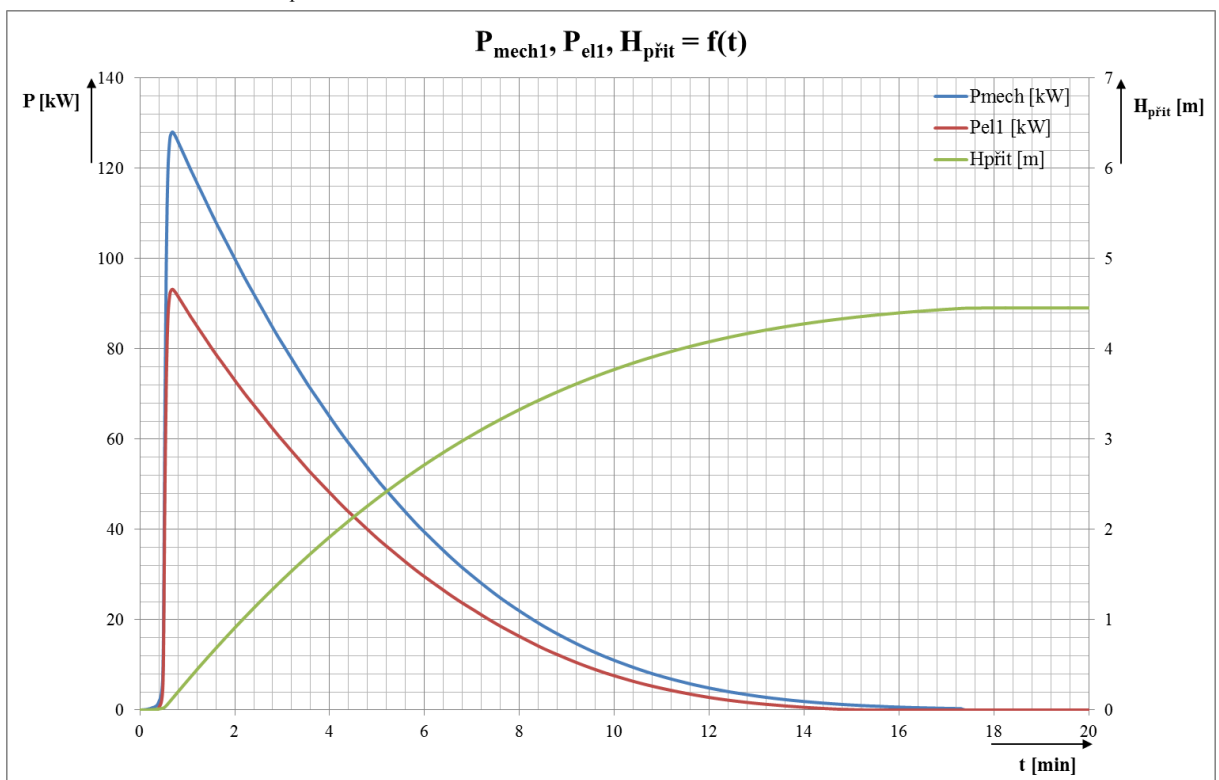
Příloha 25: Časový průběh průtoku vody potrubím Q [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$], rozdílu hladin Δh [m] a účinnosti turbíny η_{turb} [-] při $\beta_1 = 27^\circ$ a $H = 4,55$ m - napouštění MPK Štvanice



Příloha 26: Časový průběh rychlosti proudění vody v hlavní části potrubí před odbočkami c_{21} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] a rychlosti v turbínové části přívodního potrubí c_{turb} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] – napouštění MPK Štvanice



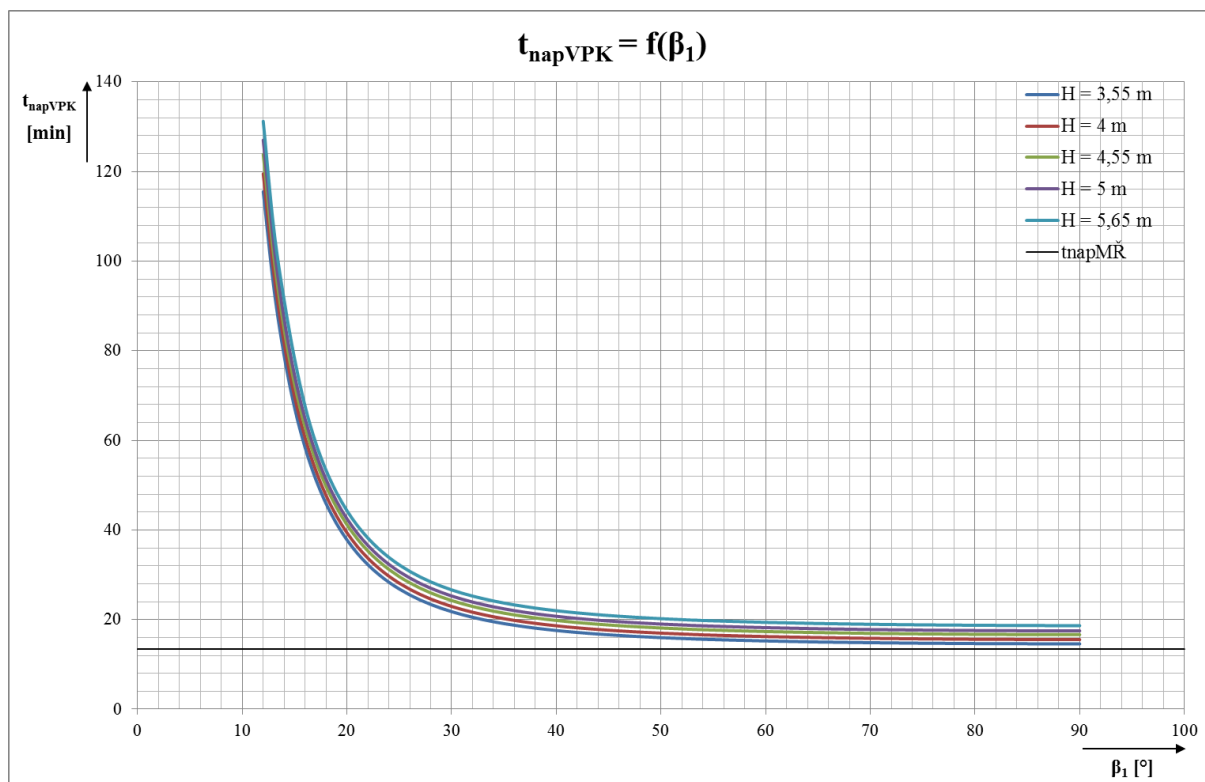
Příloha 27: Časový průběh mechanického výkonu předávaného turbíně P_{mech1} [kW], elektrického výkonu na svorkách generátoru P_{el1} [kW] (nátok č. 1) a výšky vody v PK nad minimální hladinou $H_{\text{přit}}$ [m] – napouštění MPK Štvanice



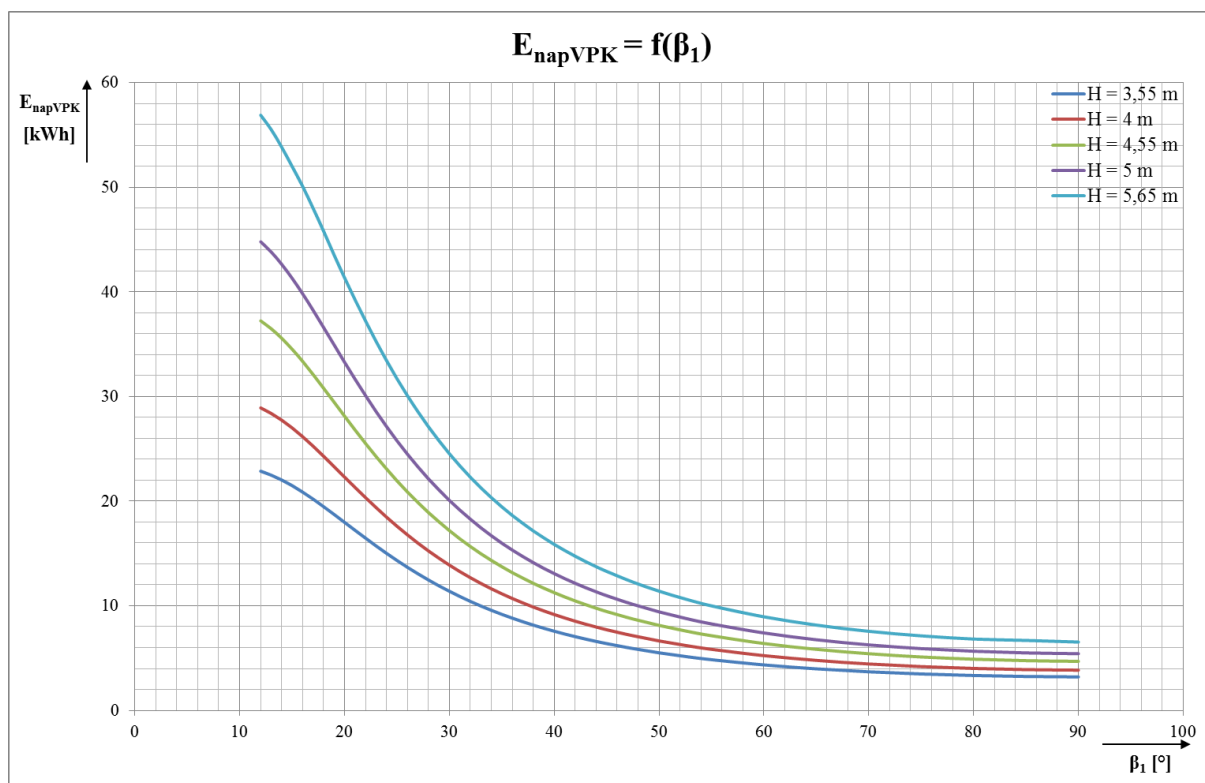
Příloha 28: Tabulka naměřených hodnot vyrobené energie a délky napouštění VPK v závislosti na úhlu natočení lopatek oběžného kola turbíny

β_1 [°]	E_{napVPK} [kWh]					t_{napVPK} [min]				
	H = 3,55 m	H = 4 m	H = 4,55 m	H = 5 m	H = 5,65 m	H = 3,55 m	H = 4 m	H = 4,55 m	H = 5 m	H = 5,65 m
12	22,87	28,92	37,24	44,80	56,90	115,5	119,5	123,8	127,0	131,2
13	22,49	28,39	36,49	43,83	55,53	94,31	97,63	101,2	103,9	107,4
14	22,03	27,75	35,58	42,65	53,85	78,88	81,70	84,79	87,09	91,24
15	21,49	27,01	34,53	41,31	52,00	67,30	69,77	72,48	74,49	78,17
16	20,87	26,17	33,37	39,83	50,10	58,41	60,61	63,03	64,84	67,63
17	20,20	25,26	32,11	38,25	48,00	51,45	53,45	55,65	57,29	59,58
18	19,48	24,30	30,80	36,61	45,82	45,91	47,74	49,78	51,30	53,34
19	18,74	23,31	29,47	34,95	43,54	41,44	43,15	45,04	46,46	48,36
20	17,98	22,31	28,13	33,29	41,37	37,79	39,39	41,17	42,50	44,30
21	17,22	21,32	26,81	31,67	39,26	34,78	36,29	37,99	39,27	40,98
22	16,47	20,34	25,52	30,10	37,23	32,26	33,71	35,33	36,56	38,21
23	15,73	19,40	24,28	28,58	35,29	30,15	31,54	33,10	34,28	35,87
24	15,02	18,48	23,09	27,14	33,45	28,36	29,70	31,21	32,35	33,90
25	14,34	17,61	21,95	25,78	31,71	26,83	28,13	29,59	30,71	32,21
26	13,68	16,78	20,88	24,49	30,08	25,51	26,78	28,21	29,29	30,76
27	13,06	15,99	19,87	23,28	28,55	24,38	25,62	27,01	28,07	29,51
28	12,47	15,25	18,92	22,14	27,12	23,39	24,60	25,97	27,01	28,42
29	11,91	14,55	18,03	21,08	25,79	22,53	23,72	25,06	26,09	27,47
30	11,39	13,89	17,19	20,08	24,54	21,78	22,94	24,26	25,27	26,64
31	10,89	13,27	16,40	19,15	23,38	21,11	22,26	23,56	24,56	25,90
32	10,42	12,69	15,67	18,28	22,29	20,52	21,65	22,94	23,92	25,26
33	9,983	12,14	14,98	17,46	21,28	20,00	21,11	22,38	23,35	24,68
34	9,571	11,63	14,34	16,70	20,34	19,53	20,64	21,89	22,85	24,16
35	9,184	11,15	13,74	15,99	19,46	19,11	20,21	21,45	22,40	23,70
36	8,820	10,70	13,17	15,33	18,64	18,74	19,82	21,05	22,00	23,28
37	8,478	10,28	12,65	14,71	17,88	18,40	19,48	20,70	21,64	22,91
38	8,157	9,884	12,15	14,13	17,16	18,10	19,16	20,37	21,31	22,57
39	7,855	9,513	11,69	13,58	16,50	17,82	18,88	20,08	21,01	22,27
40	7,572	9,165	11,26	13,08	15,87	17,57	18,62	19,82	20,74	21,99
41	7,305	8,839	10,85	12,60	15,29	17,34	18,37	19,58	20,49	21,74
42	7,055	8,532	10,47	12,15	14,74	17,14	18,17	19,36	20,27	21,50
43	6,819	8,243	10,11	11,73	14,22	16,95	17,98	19,16	20,06	21,29
44	6,597	7,972	9,772	11,34	13,74	16,77	17,80	18,97	19,87	21,10
45	6,388	7,716	9,456	10,97	13,29	16,61	17,63	18,80	19,70	20,92
47,5	5,916	7,141	8,744	10,14	12,27	16,26	17,28	18,43	19,32	20,53
50	5,509	6,645	8,131	9,422	11,40	15,98	16,98	18,13	19,01	20,22
52,5	5,156	6,216	7,601	8,805	10,65	15,74	16,74	17,88	18,75	19,95
55	4,850	5,844	7,143	8,271	10,00	15,54	16,53	17,66	18,54	19,73
60	4,352	5,240	6,400	7,407	8,947	15,23	16,21	17,34	18,20	19,38
65	3,976	4,784	5,840	6,755	8,156	15,01	15,98	17,10	17,96	19,13
70	3,693	4,442	5,420	6,268	7,564	14,85	15,82	16,93	17,78	18,95
75	3,485	4,191	5,111	5,910	7,130	14,73	15,70	16,80	17,66	18,82
80	3,339	4,014	4,894	5,658	6,825	14,65	15,62	16,72	17,57	18,73
85	3,245	3,901	4,756	5,498	6,691	14,60	15,56	16,66	17,51	18,67
90	3,200	3,846	4,689	5,420	6,537	14,58	15,54	16,64	17,49	18,65

Příloha 29: Závislost času napouštění VPK Štvanice t_{napVPK} [min] na vstupním úhlu natočení lopatek oběžného kola turbíny β_1 [°] pro různé rozdíly hladin



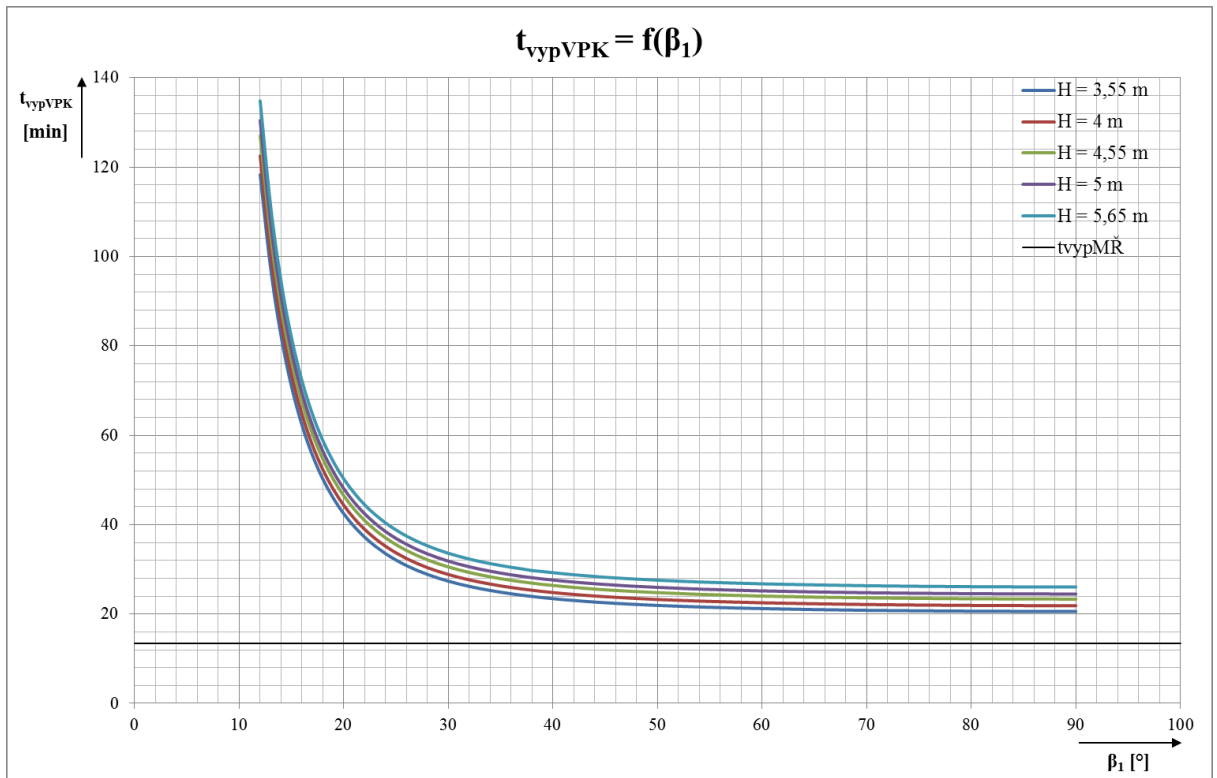
Příloha 30: Závislost množství vyrobené elektrické energie E_{napVPK} [kWh] na vstupním úhlu natočení lopatek oběžného kola turbíny β_1 [°] při napouštění VPK Štvanice pro různé rozdíly hladin



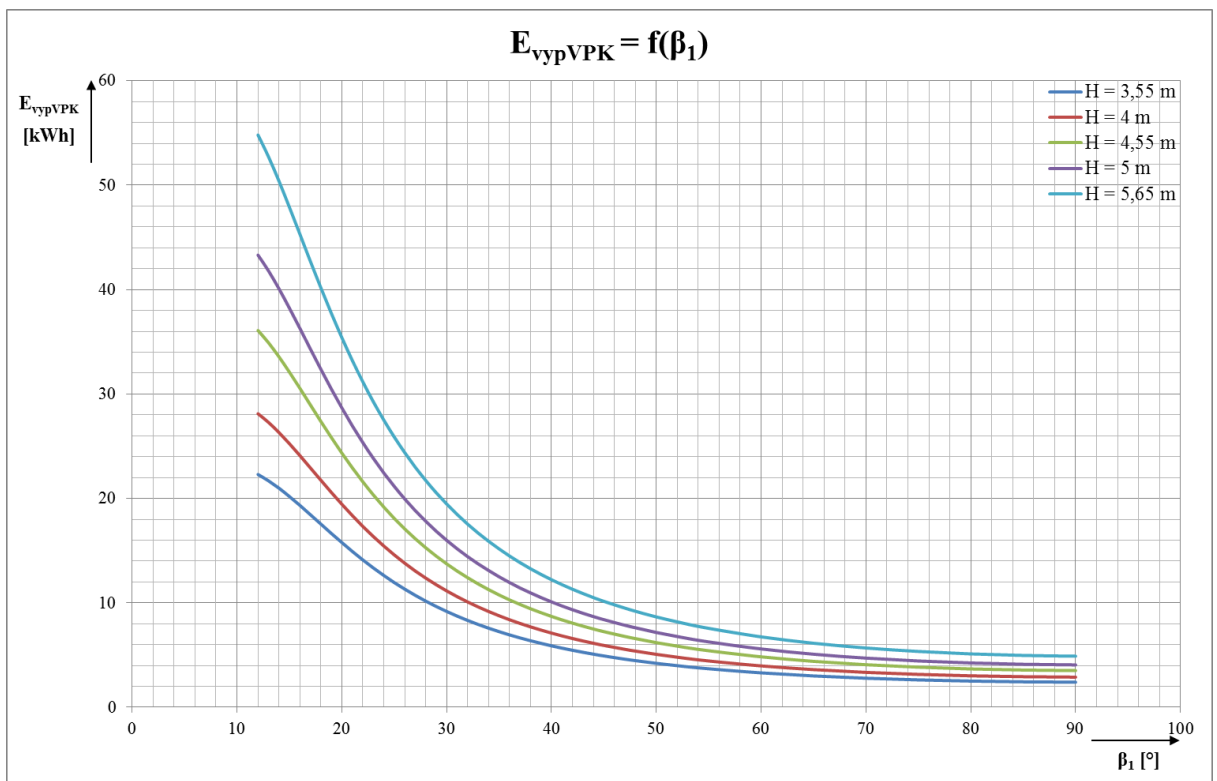
Příloha 31: Tabulka naměřených hodnot vyrobené energie a délky vypouštění VPK v závislosti na úhlu natočení lopatek oběžného kola turbíny

β_1 [°]	E_{vypVPK} [kWh]					t_{vypVPK} [min]				
	H = 3,55 m	H = 4 m	H = 4,55 m	H = 5 m	H = 5,65 m	H = 3,55 m	H = 4 m	H = 4,55 m	H = 5 m	H = 5,65 m
12	22,30	28,12	36,09	43,31	54,81	118,3	122,5	127,0	130,4	134,8
13	21,69	27,29	34,92	41,80	52,73	97,41	100,9	104,7	107,6	111,3
14	20,99	26,32	33,57	40,09	50,40	82,24	85,28	88,62	91,11	94,40
15	20,19	25,25	32,10	38,23	47,89	70,91	73,61	76,60	78,83	81,79
16	19,34	24,11	30,55	36,29	45,31	62,26	64,71	67,43	69,47	72,18
17	18,45	22,93	28,96	34,32	42,71	55,52	57,78	60,29	62,19	64,71
18	17,55	21,75	27,38	32,37	40,17	50,19	52,30	54,65	56,43	58,80
19	16,65	20,58	25,84	30,48	37,73	45,90	47,90	50,12	51,81	54,07
20	15,78	19,45	24,35	28,68	35,40	42,42	44,32	46,45	48,05	50,22
21	14,93	18,37	22,94	26,96	33,22	39,56	41,37	43,42	44,97	47,06
22	14,12	17,33	21,60	25,35	31,17	37,18	38,93	40,91	42,41	44,43
23	13,35	16,36	20,35	23,85	29,27	35,19	36,89	38,80	40,27	42,24
24	12,63	15,45	19,18	22,45	27,51	33,50	35,16	37,03	38,45	40,38
25	11,95	14,60	18,09	21,16	25,89	32,07	33,69	35,51	36,91	38,80
26	11,32	13,80	17,08	19,95	24,39	30,84	32,42	34,22	35,59	37,44
27	10,73	13,06	16,15	18,84	23,00	29,78	31,34	33,10	34,45	36,28
28	10,17	12,38	15,28	17,82	21,73	28,87	30,39	32,13	33,46	35,27
29	9,659	11,74	14,48	16,87	20,55	28,06	29,57	31,28	32,60	34,38
30	9,182	11,15	13,74	15,99	19,47	27,36	28,85	30,54	31,84	33,60
31	8,737	10,60	13,05	15,18	18,47	26,74	28,21	29,89	31,17	32,92
32	8,324	10,09	12,41	14,43	17,54	26,20	27,65	29,31	30,58	32,31
33	7,939	9,617	11,82	13,74	16,69	25,71	27,15	28,80	30,06	31,77
34	7,582	9,178	11,27	13,10	15,90	25,28	26,71	28,34	29,59	31,29
35	7,248	8,770	10,76	12,50	15,17	24,89	26,31	27,92	29,17	30,86
36	6,938	8,390	10,29	11,95	14,49	24,54	25,95	27,55	28,79	30,47
37	6,649	8,036	9,853	11,43	13,86	24,22	25,62	27,22	28,45	30,12
38	6,379	7,706	9,444	10,96	13,27	23,94	25,33	26,92	28,14	29,74
39	6,127	7,398	9,063	10,51	12,73	23,68	25,06	26,64	27,86	29,52
40	5,891	7,111	8,708	10,10	12,22	23,45	24,82	26,40	27,61	29,26
41	5,671	6,843	8,376	9,708	11,75	23,23	24,60	26,17	27,37	29,02
42	5,465	6,592	8,066	9,347	11,31	23,03	24,40	25,96	27,16	28,80
43	5,272	6,357	7,776	9,009	10,90	22,85	24,21	25,77	26,97	28,60
44	5,091	6,137	7,505	8,693	10,51	22,69	24,04	25,59	26,79	28,42
45	4,921	5,931	7,251	8,397	10,15	22,53	23,89	25,43	26,62	28,24
47,5	4,541	5,469	6,682	7,735	9,347	22,20	23,55	25,08	26,26	27,88
50	4,215	5,074	6,196	7,170	8,660	21,93	23,26	24,79	25,97	27,57
52,5	3,934	4,734	5,778	6,685	8,071	21,70	23,03	24,55	25,72	27,32
55	3,692	4,441	5,419	6,267	7,564	21,51	22,83	24,34	25,51	27,10
60	3,301	3,968	4,839	5,594	6,749	21,21	22,52	24,02	25,18	26,76
65	3,007	3,613	4,405	5,090	6,139	20,99	22,30	23,79	24,95	26,52
70	2,787	3,349	4,080	4,715	5,684	20,84	22,13	23,62	24,77	26,34
75	2,627	3,155	3,843	4,440	5,351	20,72	22,02	23,50	24,65	26,22
80	2,514	3,018	3,677	4,247	5,118	20,64	21,94	23,42	24,56	26,13
85	2,442	2,932	3,571	4,124	4,970	20,59	21,88	23,36	24,51	26,07
90	2,407	2,890	3,519	4,065	4,898	20,57	21,86	23,34	24,48	26,05

Příloha 32: Závislost času vypouštění VPK Štvanice t_{vypVPK} [min] na vstupním úhlu natočení lopatek oběžného kola turbíny β_1 [°] pro různé rozdíly hladin



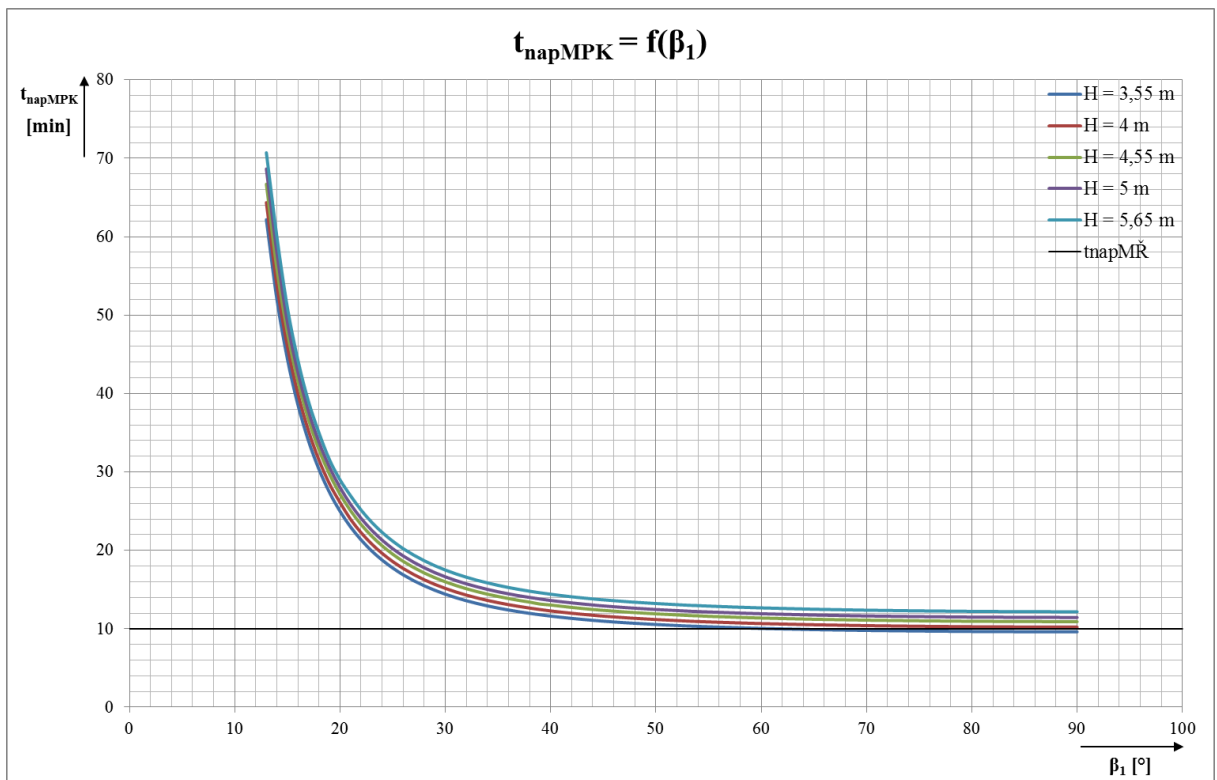
Příloha 33: Závislost množství vyrobené elektrické energie E_{vypVPK} [kWh] na vstupním úhlu natočení lopatek oběžného kola turbíny β_1 [°] při vypouštění VPK Štvanice pro různé rozdíly hladin



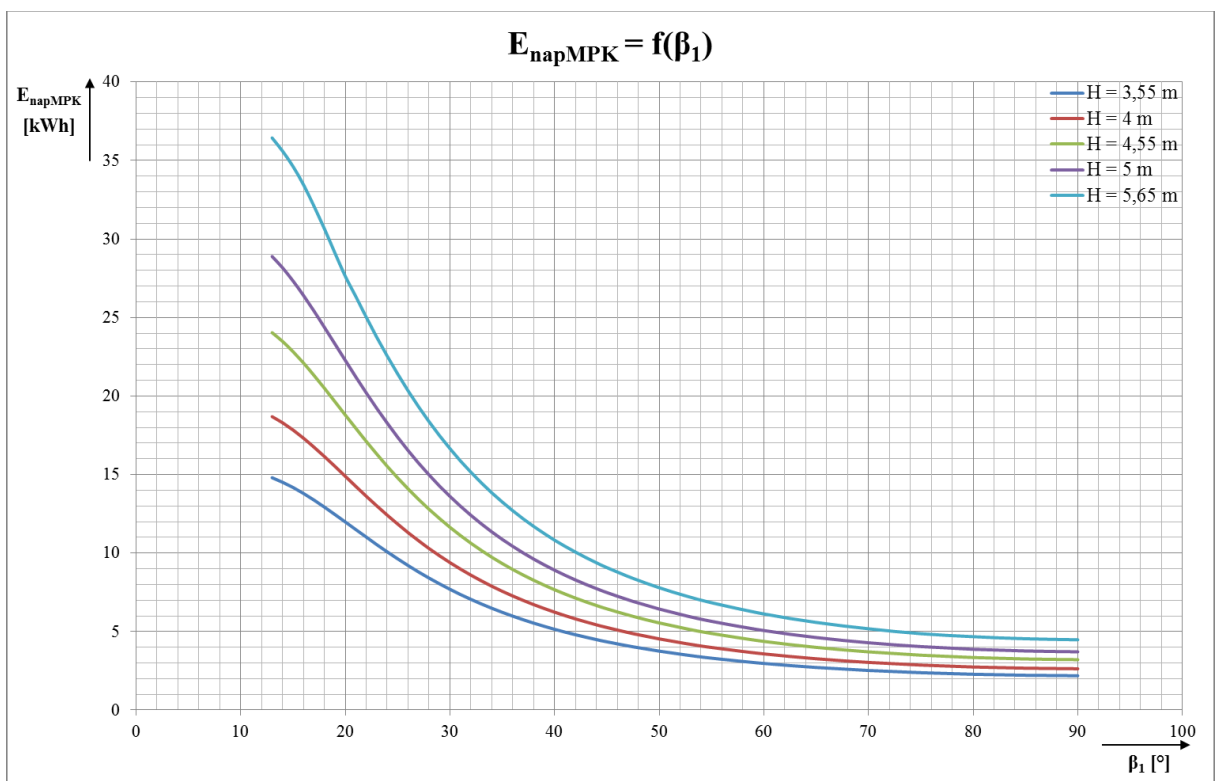
Příloha 34: Tabulka naměřených hodnot vyrobené energie a délky napouštění MPK v závislosti na úhlu natočení lopatek oběžného kola turbíny

β_1 [°]	E_{napMPK} [kWh]					t_{napMPK} [min]				
	H = 3,55 m	H = 4 m	H = 4,55 m	H = 5 m	H = 5,65 m	H = 3,55 m	H = 4 m	H = 4,55 m	H = 5 m	H = 5,65 m
13	14,80	18,69	24,04	28,89	36,44	62,18	64,35	66,71	68,65	70,72
14	14,51	18,30	23,48	28,17	35,60	52,03	53,87	55,89	57,98	60,00
15	14,18	17,84	22,83	27,33	34,62	44,42	46,02	47,78	49,09	50,95
16	13,80	17,32	22,11	26,41	33,46	38,56	39,99	41,56	42,73	44,23
17	13,38	16,75	21,32	25,42	32,10	33,98	35,27	36,70	37,76	39,00
18	12,93	16,15	20,50	24,38	30,65	30,33	31,52	32,83	33,81	34,98
19	12,46	15,53	19,65	23,33	29,12	27,39	28,49	29,71	30,62	31,56
20	11,98	14,89	18,79	22,27	27,63	24,98	26,10	27,16	28,02	29,00
21	11,50	14,25	17,95	21,22	26,34	22,99	23,97	25,06	25,88	26,97
22	11,02	13,62	17,11	20,20	25,02	21,34	22,26	23,30	24,09	25,14
23	10,54	13,01	16,31	19,22	23,75	19,94	20,83	21,83	22,59	23,60
24	10,08	12,42	15,53	18,28	22,55	18,76	19,62	20,58	21,31	22,29
25	9,635	11,85	14,79	17,38	21,41	17,75	18,58	19,52	20,22	21,18
26	9,207	11,30	14,09	16,53	20,33	16,88	17,69	18,60	19,29	20,22
27	8,799	10,79	13,42	15,73	19,32	16,13	16,92	17,81	18,48	19,40
28	8,410	10,29	12,79	14,98	18,37	15,48	16,25	17,12	17,78	18,68
29	8,042	9,831	12,20	14,27	17,48	14,91	15,67	16,52	17,17	18,05
30	7,694	9,394	11,64	13,61	16,65	14,41	15,15	15,99	16,63	17,50
31	7,365	8,982	11,12	12,99	15,87	13,97	14,70	15,53	16,16	17,01
32	7,055	8,595	10,63	12,41	15,15	13,58	14,30	15,11	15,74	16,58
33	6,762	8,232	10,17	11,86	14,47	13,24	13,94	14,75	15,36	16,20
34	6,487	7,890	9,737	11,35	13,84	12,93	13,63	14,42	15,03	15,85
35	6,229	7,569	9,334	10,87	13,25	12,65	13,34	14,13	14,73	15,55
36	5,985	7,268	8,956	10,43	12,70	12,40	13,08	13,86	14,46	15,27
37	5,757	6,986	8,602	10,01	12,18	12,18	12,85	13,63	14,22	15,02
38	5,541	6,721	8,270	9,621	11,70	11,97	12,64	13,41	14,00	14,80
39	5,339	6,471	7,958	9,255	11,25	11,79	12,46	13,16	13,80	14,60
40	5,149	6,237	7,666	8,911	10,82	11,62	12,28	13,04	13,62	14,41
41	4,969	6,017	7,392	8,589	10,43	11,47	12,13	12,88	13,46	14,24
42	4,801	5,810	7,134	8,287	10,06	11,33	11,98	12,73	13,31	14,09
43	4,642	5,616	6,892	8,004	9,710	11,20	11,85	12,60	13,17	13,95
44	4,492	5,432	6,665	7,737	9,383	11,08	11,73	12,47	13,04	13,82
45	4,351	5,260	6,451	7,487	9,076	10,98	11,62	12,36	12,93	13,70
47,5	4,033	4,871	5,969	6,923	8,387	10,74	11,38	12,11	12,67	13,44
50	3,757	4,535	5,553	6,438	7,794	10,55	11,18	11,91	12,47	13,22
52,5	3,519	4,244	5,194	6,019	7,283	10,39	11,02	11,74	12,29	13,05
55	3,311	3,992	4,883	5,656	6,841	10,26	10,88	11,60	12,15	12,90
60	2,973	3,582	4,377	5,068	6,125	10,05	10,67	11,38	11,92	12,67
65	2,718	3,272	3,996	4,624	5,586	9,901	10,51	11,22	11,76	12,50
70	2,525	3,039	3,710	4,292	5,183	9,793	10,40	11,10	11,64	12,38
75	2,384	2,868	3,500	4,048	4,866	9,715	10,32	11,02	11,56	12,29
80	2,284	2,747	3,352	3,876	4,678	9,661	10,27	10,96	11,50	12,23
85	2,221	2,671	3,258	3,767	4,546	9,627	10,23	10,92	11,46	12,19
90	2,190	2,633	3,212	3,714	4,481	9,611	10,21	10,91	11,44	12,17

Příloha 35: Závislost času napouštění MPK Štvanice t_{napMPK} [min] na vstupním úhlu natočení lopatek oběžného kola turbíny β_1 [°] pro různé rozdíly hladin



Příloha 36: Závislost množství vyrobené elektrické energie E_{napMPK} [kWh] na vstupním úhlu natočení lopatek oběžného kola turbíny β_1 [°] při napouštění MPK Štvanice pro různé rozdíly hladin



Příloha 37: Tabulka naměřených hodnot vyrobené energie a délky přesahu času napouštění VPK oproti času uvedenému v MŘ VD Štvanice v závislosti na úhlu natočení lopatek oběžného kola turbíny

β_1 [°]	E_{napVPK} [kWh]					Δt_{napVPK} [min]				
	H = 3,55 m	H = 4 m	H = 4,55 m	H = 5 m	H = 5,65 m	H = 3,55 m	H = 4 m	H = 4,55 m	H = 5 m	H = 5,65 m
12	22,87	28,92	37,24	44,80	56,90	102,1	106,1	110,4	113,6	117,8
13	22,49	28,39	36,49	43,83	55,53	80,89	84,21	87,82	90,49	93,98
14	22,03	27,75	35,58	42,65	53,85	65,46	68,28	71,37	73,67	77,82
15	21,49	27,01	34,53	41,31	52,00	53,88	56,35	59,06	61,07	64,75
16	20,87	26,17	33,37	39,83	50,10	44,99	47,19	49,61	51,42	54,21
17	20,20	25,26	32,11	38,25	48,00	38,03	40,03	42,23	43,87	46,16
18	19,48	24,30	30,80	36,61	45,82	32,49	34,32	36,36	37,88	39,92
19	18,74	23,31	29,47	34,95	43,54	28,02	29,73	31,62	33,04	34,94
20	17,98	22,31	28,13	33,29	41,37	24,37	25,97	27,75	29,08	30,88
21	17,22	21,32	26,81	31,67	39,26	21,36	22,87	24,57	25,85	27,56
22	16,47	20,34	25,52	30,10	37,23	18,84	20,29	21,91	23,14	24,79
23	15,73	19,40	24,28	28,58	35,29	16,73	18,12	19,68	20,86	22,45
24	15,02	18,48	23,09	27,14	33,45	14,94	16,28	17,79	18,93	20,48
25	14,34	17,61	21,95	25,78	31,71	13,41	14,71	16,17	17,29	18,79
26	13,68	16,78	20,88	24,49	30,08	12,09	13,36	14,79	15,87	17,34
27	13,06	15,99	19,87	23,28	28,55	10,96	12,20	13,59	14,65	16,09
28	12,47	15,25	18,92	22,14	27,12	9,974	11,18	12,55	13,59	15,00
29	11,91	14,55	18,03	21,08	25,79	9,112	10,30	11,64	12,67	14,05
30	11,39	13,89	17,19	20,08	24,54	8,359	9,523	10,84	11,85	13,22
31	10,89	13,27	16,40	19,15	23,38	7,693	8,839	10,14	11,14	12,48
32	10,42	12,69	15,67	18,28	22,29	7,105	8,235	9,519	10,50	11,84
33	9,983	12,14	14,98	17,46	21,28	6,580	7,698	8,966	9,938	11,26
34	9,571	11,63	14,34	16,70	20,34	6,115	7,219	8,474	9,436	10,74
35	9,184	11,15	13,74	15,99	19,46	5,697	6,791	8,033	8,987	10,28
36	8,820	10,70	13,17	15,33	18,64	5,324	6,405	7,637	8,583	9,867
37	8,478	10,28	12,65	14,71	17,88	4,987	6,059	7,281	8,219	9,494
38	8,157	9,884	12,15	14,13	17,16	4,682	5,746	6,958	7,891	9,157
39	7,855	9,513	11,69	13,58	16,50	4,408	5,463	6,667	7,593	8,850
40	7,572	9,165	11,26	13,08	15,87	4,156	5,206	6,402	7,321	8,573
41	7,305	8,839	10,85	12,60	15,29	3,928	4,950	6,161	7,075	8,319
42	7,055	8,532	10,47	12,15	14,74	3,721	4,757	5,939	6,850	8,088
43	6,819	8,243	10,11	11,73	14,22	3,531	4,561	5,739	6,643	7,878
44	6,597	7,972	9,772	11,34	13,74	3,357	4,381	5,553	6,456	7,683
45	6,388	7,716	9,456	10,97	13,29	3,196	4,216	5,383	6,281	7,506
47,5	5,916	7,141	8,744	10,14	12,27	2,847	3,859	5,015	5,905	7,117
50	5,509	6,645	8,131	9,422	11,40	2,563	3,564	4,710	5,593	6,799
52,5	5,156	6,216	7,601	8,805	10,65	2,324	3,320	4,459	5,336	6,533
55	4,850	5,844	7,143	8,271	10,00	2,126	3,115	4,247	5,121	6,312
60	4,352	5,240	6,400	7,407	8,947	1,818	2,797	3,919	4,785	5,965
65	3,976	4,784	5,840	6,755	8,156	1,594	2,567	3,682	4,541	5,717
70	3,693	4,442	5,420	6,268	7,564	1,434	2,401	3,509	4,366	5,535
75	3,485	4,191	5,111	5,910	7,130	1,318	2,282	3,386	4,240	5,405
80	3,339	4,014	4,894	5,658	6,825	1,238	2,199	3,301	4,153	5,315
85	3,245	3,901	4,756	5,498	6,691	1,187	2,147	3,248	4,097	5,258
90	3,200	3,846	4,689	5,420	6,537	1,163	2,122	3,222	4,071	5,231

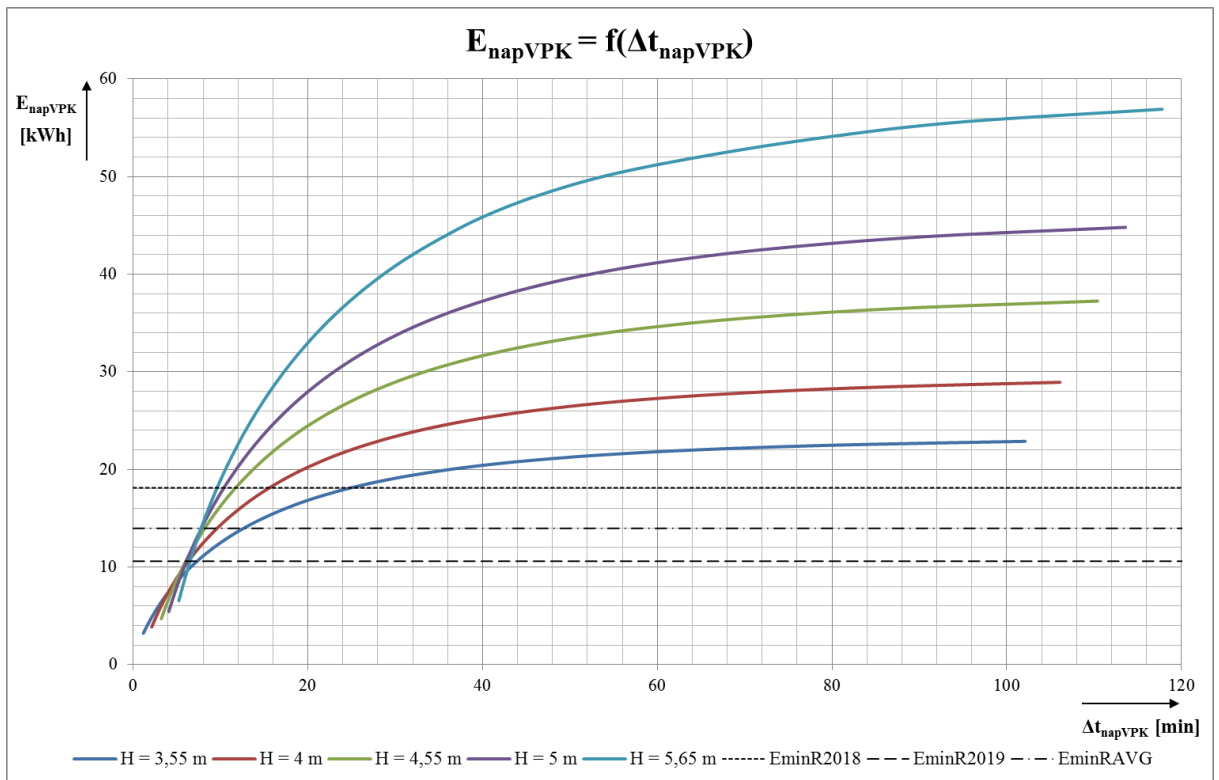
Příloha 38: Tabulka naměřených hodnot vyrobené energie a délky přesahu času vypouštění VPK oproti času uvedenému v MŘ VD Štvanice v závislosti na úhlu natočení lopatek oběžného kola turbíny

β_1 [°]	E_{vypVPK} [kWh]					Δt_{vypVPK} [min]				
	H = 3,55 m	H = 4 m	H = 4,55 m	H = 5 m	H = 5,65 m	H = 3,55 m	H = 4 m	H = 4,55 m	H = 5 m	H = 5,65 m
12	22,30	28,12	36,09	43,31	54,81	104,9	109,1	113,6	117,0	121,4
13	21,69	27,29	34,92	41,80	52,73	83,99	87,49	91,33	94,18	97,93
14	20,99	26,32	33,57	40,09	50,40	68,82	71,86	75,20	77,69	80,98
15	20,19	25,25	32,10	38,23	47,89	57,49	60,19	63,18	65,41	68,37
16	19,34	24,11	30,55	36,29	45,31	48,84	51,29	54,01	56,05	58,76
17	18,45	22,93	28,96	34,32	42,71	42,10	44,36	46,87	48,77	51,29
18	17,55	21,75	27,38	32,37	40,17	36,77	38,88	41,23	43,01	45,38
19	16,65	20,58	25,84	30,48	37,73	32,48	34,48	36,70	38,39	40,65
20	15,78	19,45	24,35	28,68	35,40	29,00	30,90	33,03	34,63	36,80
21	14,93	18,37	22,94	26,96	33,22	26,14	27,95	30,00	31,55	33,64
22	14,12	17,33	21,60	25,35	31,17	23,76	25,51	27,49	28,99	31,01
23	13,35	16,36	20,35	23,85	29,27	21,77	23,47	25,38	26,85	28,82
24	12,63	15,45	19,18	22,45	27,51	20,08	21,74	23,61	25,03	26,96
25	11,95	14,60	18,09	21,16	25,89	18,65	20,27	22,09	23,49	25,38
26	11,32	13,80	17,08	19,95	24,39	17,42	19,00	20,80	22,17	24,02
27	10,73	13,06	16,15	18,84	23,00	16,36	17,92	19,68	21,03	22,86
28	10,17	12,38	15,28	17,82	21,73	15,45	16,97	18,71	20,04	21,85
29	9,659	11,74	14,48	16,87	20,55	14,64	16,15	17,86	19,18	20,96
30	9,182	11,15	13,74	15,99	19,47	13,94	15,43	17,12	18,42	20,18
31	8,737	10,60	13,05	15,18	18,47	13,32	14,79	16,47	17,75	19,50
32	8,324	10,09	12,41	14,43	17,54	12,78	14,23	15,89	17,16	18,89
33	7,939	9,617	11,82	13,74	16,69	12,29	13,73	15,38	16,64	18,35
34	7,582	9,178	11,27	13,10	15,90	11,86	13,29	14,92	16,17	17,87
35	7,248	8,770	10,76	12,50	15,17	11,47	12,89	14,50	15,75	17,44
36	6,938	8,390	10,29	11,95	14,49	11,12	12,53	14,13	15,37	17,05
37	6,649	8,036	9,853	11,43	13,86	10,80	12,20	13,80	15,03	16,70
38	6,379	7,706	9,444	10,96	13,27	10,52	11,91	13,50	14,72	16,32
39	6,127	7,398	9,063	10,51	12,73	10,26	11,64	13,22	14,44	16,10
40	5,891	7,111	8,708	10,10	12,22	10,03	11,40	12,98	14,19	15,84
41	5,671	6,843	8,376	9,708	11,75	9,811	11,18	12,75	13,95	15,60
42	5,465	6,592	8,066	9,347	11,31	9,615	10,98	12,54	13,74	15,38
43	5,272	6,357	7,776	9,009	10,90	9,434	10,79	12,35	13,55	15,18
44	5,091	6,137	7,505	8,693	10,51	9,269	10,62	12,17	13,37	15,00
45	4,921	5,931	7,251	8,397	10,15	9,118	10,47	12,01	13,20	14,82
47,5	4,541	5,469	6,682	7,735	9,347	8,786	10,13	11,66	12,84	14,46
50	4,215	5,074	6,196	7,170	8,660	8,512	9,845	11,37	12,55	14,15
52,5	3,934	4,734	5,778	6,685	8,071	8,285	9,610	11,13	12,30	13,90
55	3,692	4,441	5,419	6,267	7,564	8,093	9,412	10,92	12,09	13,68
60	3,301	3,968	4,839	5,594	6,749	7,795	9,104	10,60	11,76	13,34
65	3,007	3,613	4,405	5,090	6,139	7,577	8,880	10,37	11,53	13,10
70	2,787	3,349	4,080	4,715	5,684	7,419	8,717	10,20	11,35	12,92
75	2,627	3,155	3,843	4,440	5,351	7,306	8,599	10,08	11,23	12,80
80	2,514	3,018	3,677	4,247	5,118	7,227	8,519	10,00	11,14	12,71
85	2,442	2,932	3,571	4,124	4,970	7,177	8,468	9,947	11,09	12,65
90	2,407	2,890	3,519	4,065	4,898	7,153	8,443	9,922	11,06	12,63

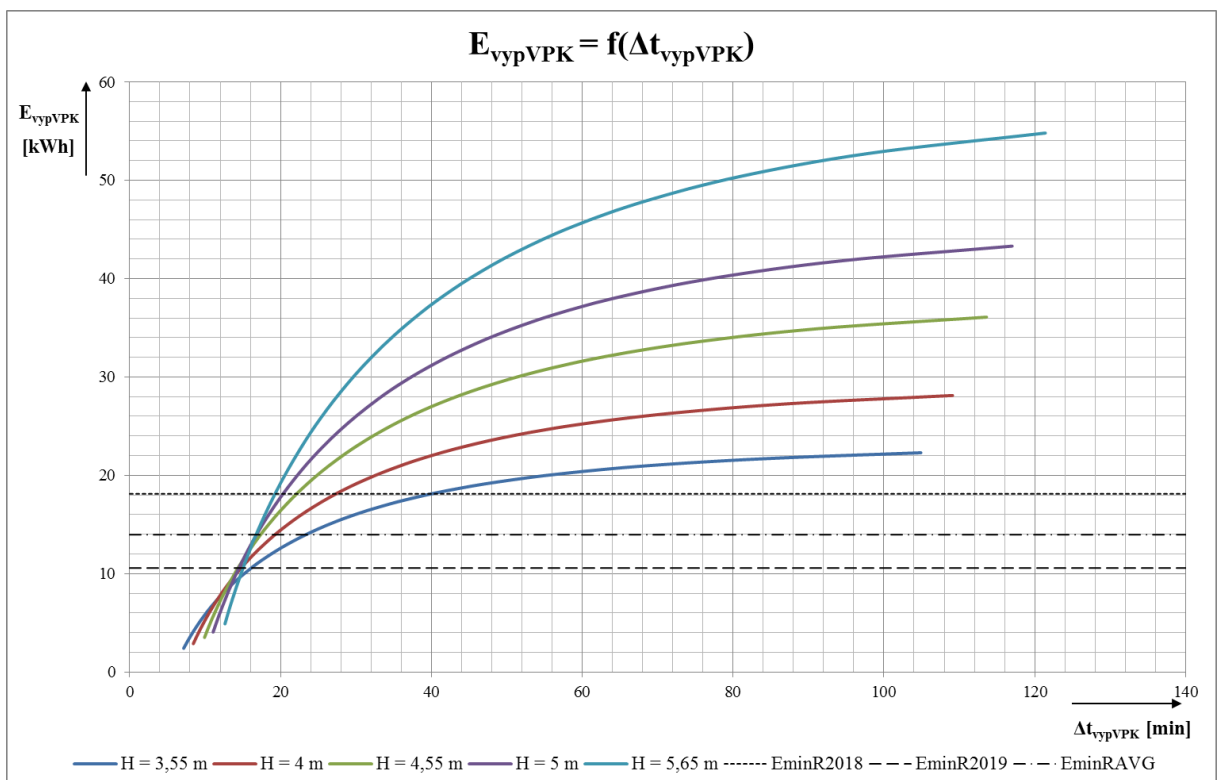
Příloha 39: Tabulka naměřených hodnot vyrobené energie a délky přesahu času napouštění MPK oproti času uvedenému v MŘ VD Štvanice v závislosti na úhlu natočení lopatek oběžného kola turbíny

β_1 [°]	E_{napMPK} [kWh]					Δt_{napMPK} [min]				
	H = 3,55 m	H = 4 m	H = 4,55 m	H = 5 m	H = 5,65 m	H = 3,55 m	H = 4 m	H = 4,55 m	H = 5 m	H = 5,65 m
13	14,80	18,69	24,04	28,89	36,44	52,18	54,35	56,71	58,65	60,72
14	14,51	18,30	23,48	28,17	35,60	42,03	43,87	45,89	47,98	50,00
15	14,18	17,84	22,83	27,33	34,62	34,42	36,02	37,78	39,09	40,95
16	13,80	17,32	22,11	26,41	33,46	28,56	29,99	31,56	32,73	34,23
17	13,38	16,75	21,32	25,42	32,10	23,98	25,27	26,70	27,76	29,00
18	12,93	16,15	20,50	24,38	30,65	20,33	21,52	22,83	23,81	24,98
19	12,46	15,53	19,65	23,33	29,12	17,39	18,49	19,71	20,62	21,56
20	11,98	14,89	18,79	22,27	27,63	14,98	16,10	17,16	18,02	19,00
21	11,50	14,25	17,95	21,22	26,34	12,99	13,97	15,06	15,88	16,97
22	11,02	13,62	17,11	20,20	25,02	11,34	12,26	13,30	14,09	15,14
23	10,54	13,01	16,31	19,22	23,75	9,942	10,83	11,83	12,59	13,60
24	10,08	12,42	15,53	18,28	22,55	8,760	9,618	10,58	11,31	12,29
25	9,635	11,85	14,79	17,38	21,41	7,751	8,580	9,515	10,22	11,18
26	9,207	11,30	14,09	16,53	20,33	6,883	7,689	8,597	9,290	10,22
27	8,799	10,79	13,42	15,73	19,32	6,133	6,919	7,807	8,483	9,395
28	8,410	10,29	12,79	14,98	18,37	5,482	6,250	7,118	7,781	8,676
29	8,042	9,831	12,20	14,27	17,48	4,913	5,666	6,519	7,169	8,047
30	7,694	9,394	11,64	13,61	16,65	4,413	5,153	5,990	6,630	7,496
31	7,365	8,982	11,12	12,99	15,87	3,972	4,700	5,525	6,157	7,010
32	7,055	8,595	10,63	12,41	15,15	3,581	4,299	5,112	5,736	6,579
33	6,762	8,232	10,17	11,86	14,47	3,235	3,943	4,746	5,362	6,197
34	6,487	7,890	9,737	11,35	13,84	2,925	3,625	4,419	5,028	5,854
35	6,229	7,569	9,334	10,87	13,25	2,647	3,340	4,126	4,729	5,548
36	5,985	7,268	8,956	10,43	12,70	2,399	3,084	3,863	4,461	5,272
37	5,757	6,986	8,602	10,01	12,18	2,175	2,853	3,626	4,219	5,023
38	5,541	6,721	8,270	9,621	11,70	1,971	2,644	3,411	4,000	4,799
39	5,339	6,471	7,958	9,255	11,25	1,788	2,456	3,160	3,801	4,595
40	5,149	6,237	7,666	8,911	10,82	1,621	2,283	3,040	3,620	4,410
41	4,969	6,017	7,392	8,589	10,43	1,468	2,127	2,878	3,456	4,241
42	4,801	5,810	7,134	8,287	10,06	1,329	1,984	2,731	3,306	4,087
43	4,642	5,616	6,892	8,004	9,710	1,202	1,853	2,596	3,167	3,946
44	4,492	5,432	6,665	7,737	9,383	1,084	1,733	2,473	3,041	3,816
45	4,351	5,260	6,451	7,487	9,076	0,978	1,622	2,358	2,925	3,697
47,5	4,033	4,871	5,969	6,923	8,387	0,744	1,382	2,111	2,673	3,437
50	3,757	4,535	5,553	6,438	7,794	0,552	1,184	1,908	2,465	3,224
52,5	3,519	4,244	5,194	6,019	7,283	0,393	1,021	1,739	2,292	3,045
55	3,311	3,992	4,883	5,656	6,841	0,259	0,883	1,596	2,146	2,897
60	2,973	3,582	4,377	5,068	6,125	0,051	0,669	1,376	1,921	2,665
65	2,718	3,272	3,996	4,624	5,586	-0,099	0,515	1,216	1,758	2,497
70	2,525	3,039	3,710	4,292	5,183	-0,207	0,402	1,101	1,640	2,375
75	2,384	2,868	3,500	4,048	4,866	-0,285	0,322	1,018	1,555	2,288
80	2,284	2,747	3,352	3,876	4,678	-0,339	0,266	0,960	1,496	2,227
85	2,221	2,671	3,258	3,767	4,546	-0,373	0,231	0,924	1,459	2,189
90	2,190	2,633	3,212	3,714	4,481	-0,390	0,215	0,907	1,441	2,171

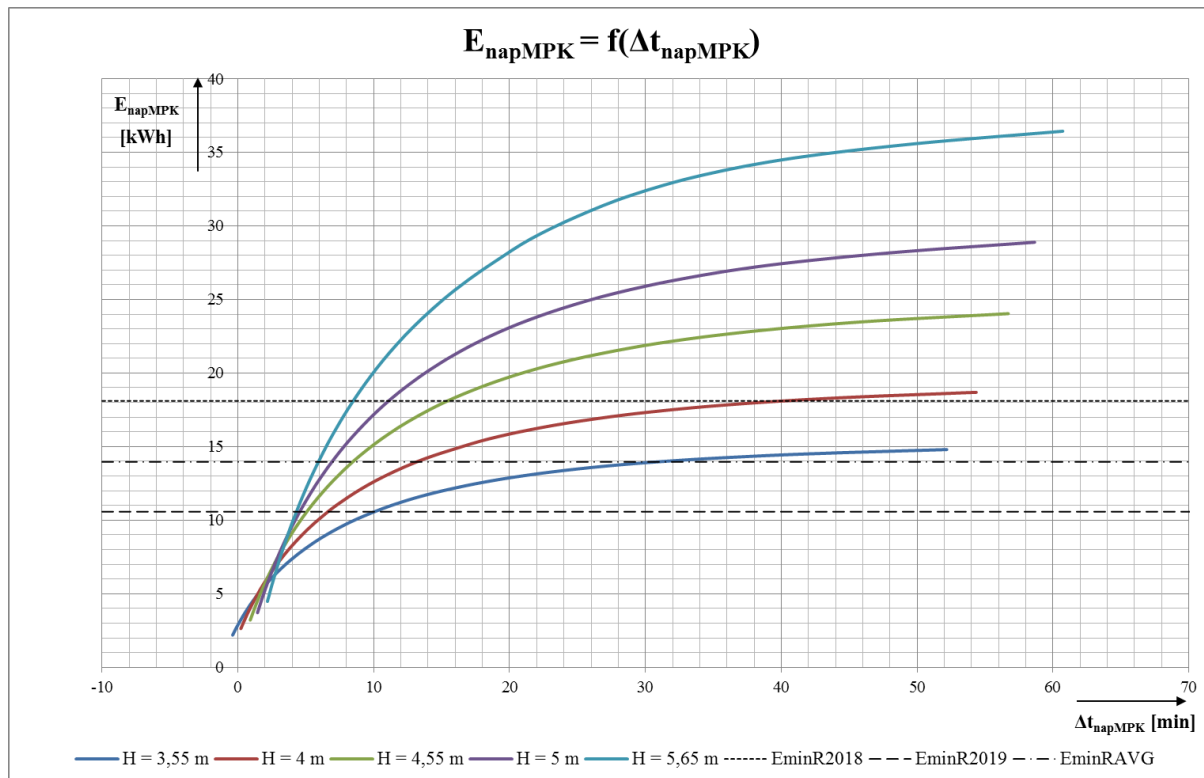
Příloha 40: Závislost vyrobené elektrické energie E_{napVPK} [kWh] na čase přesahu napouštění VPK Štvanice dle MŘ Δt_{napVPK} [min] s minimálními hodnotami roční střední energie E_{minR} [kWh]



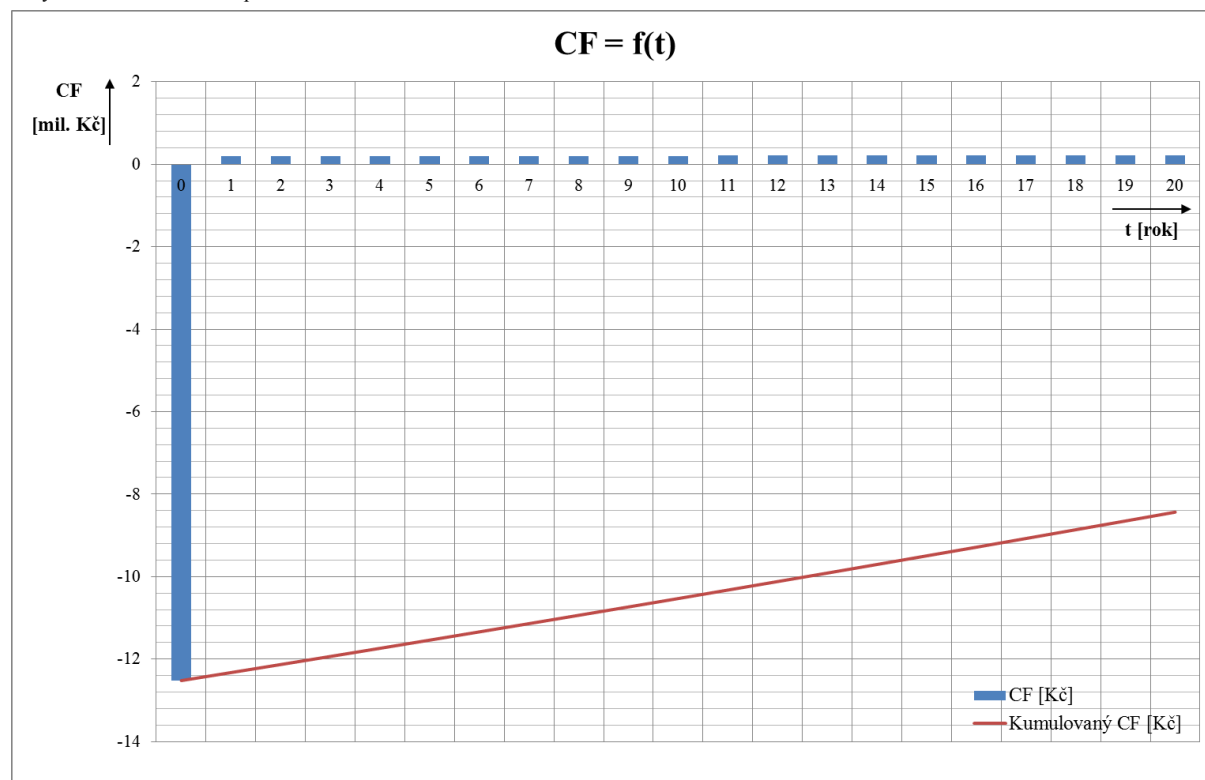
Příloha 41: Závislost vyrobené elektrické energie E_{vypVPK} [kWh] na čase přesahu vypouštění VPK Štvanice dle MŘ Δt_{vypVPK} [min] s minimálními hodnotami roční střední energie E_{minR} [kWh]



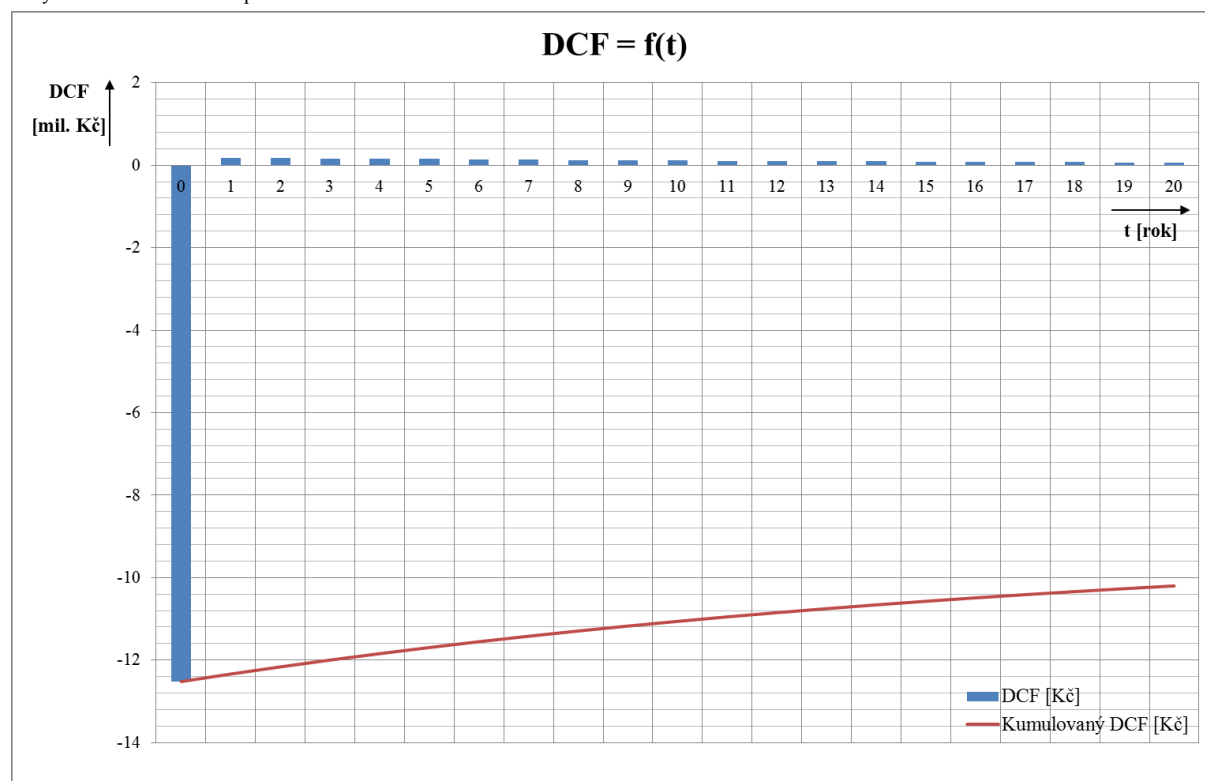
Příloha 42: Závislost vyrobené elektrické energie E_{napMPK} [kWh] na čase přesahu napouštění MPK Štvanice dle MŘ Δt_{napMPK} [min] s minimálními hodnotami roční střední energie E_{minR} [kWh]



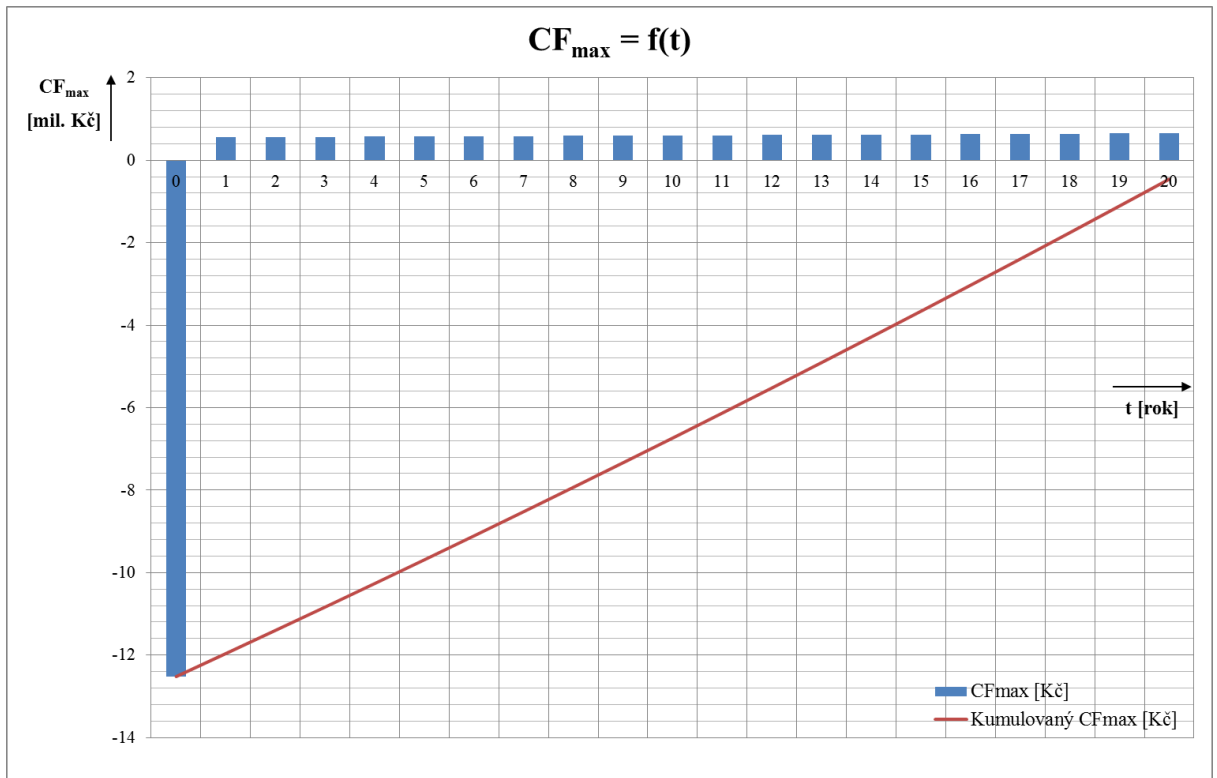
Příloha 44: Graf průběhu CF a kumulovaného CF v jednotlivých letech pro případ $E_{výroba} [kWh] = E_{spotřeba} [kWh]$



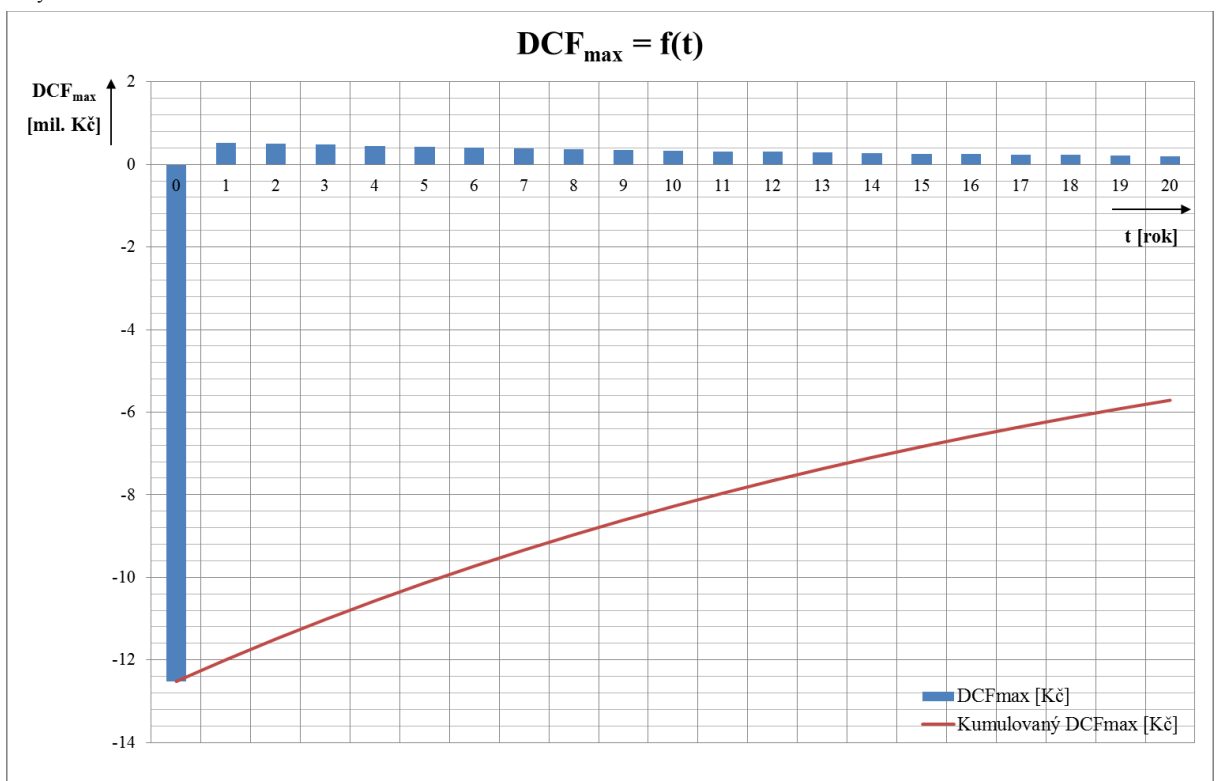
Příloha 45: Graf průběhu DCF a kumulovaného DCF v jednotlivých letech pro případ $E_{výroba} [kWh] = E_{spotřeba} [kWh]$



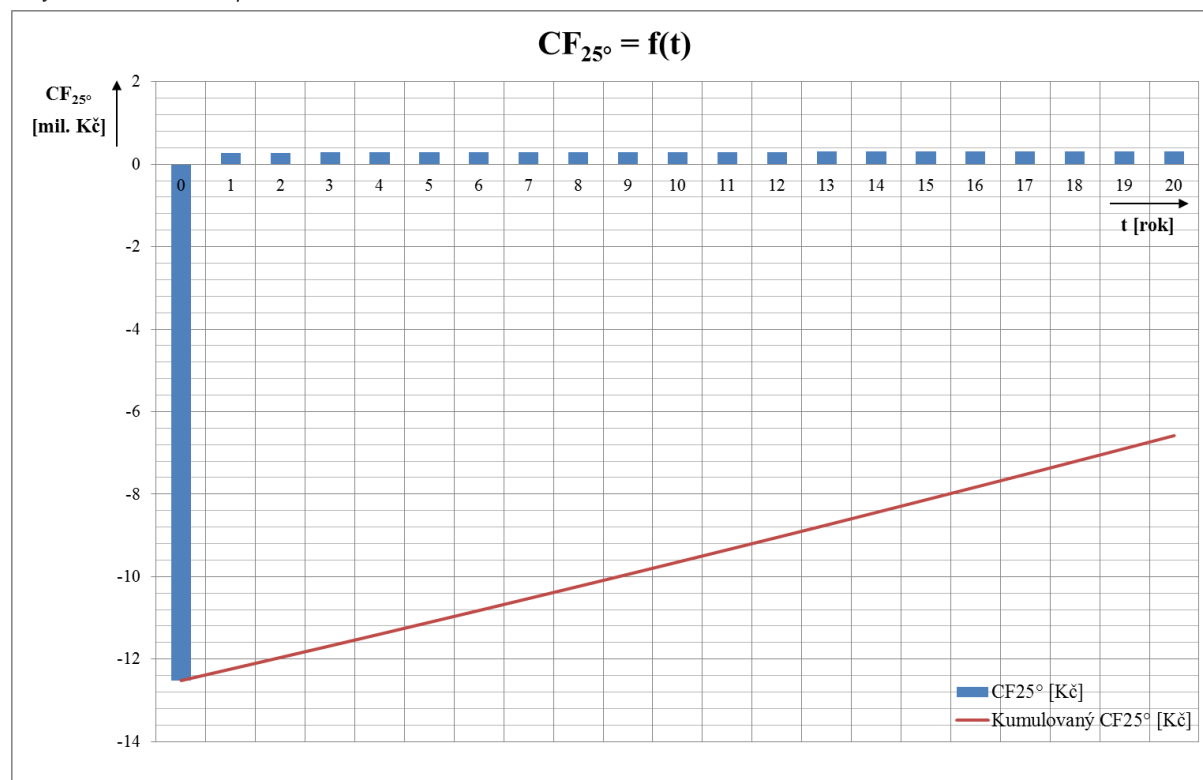
Příloha 46: Graf průběhu CF a kumulovaného CF v jednotlivých letech pro případ $E_{výroba} [kWh] = E_{max} [kWh]$



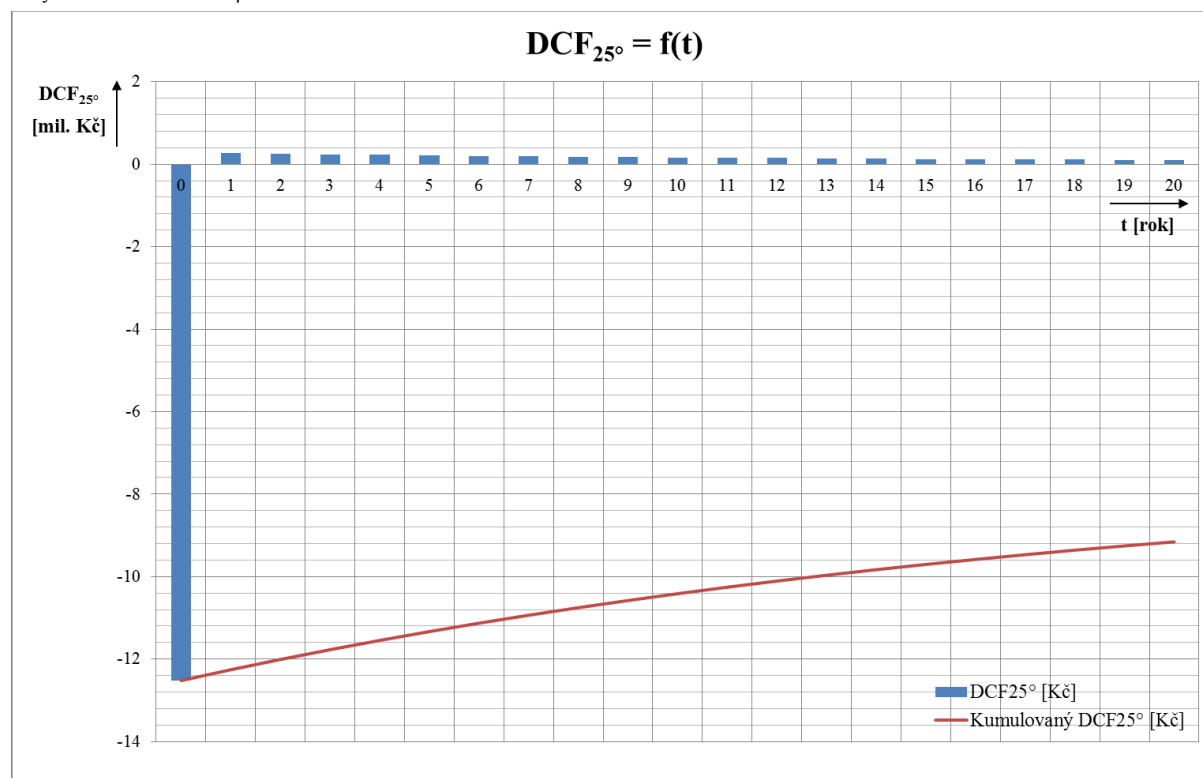
Příloha 47: Graf průběhu DCF a kumulovaného DCF v jednotlivých letech pro případ $E_{výroba} [kWh] = E_{max} [kWh]$



Příloha 48: Graf průběhu CF a kumulovaného CF v jednotlivých letech pro případ $E_{\text{výroba}} [\text{kWh}] = E_{\beta_1 = 25^\circ} [\text{kWh}]$



Příloha 49: Graf průběhu DCF a kumulovaného DCF v jednotlivých letech pro případ $E_{\text{výroba}} [\text{kWh}] = E_{\beta_1 = 25^\circ} [\text{kWh}]$



Příloha 50: Tabulka citlivostní analýzy závislosti NPV a IRR na IN

Investice [Kč]	1) $E_{\text{vyrobená}} = E_{\text{spotřebovaná}}$		2) $E_{\text{vyrobená}} = E_{\text{max}}$		3) $E_{\text{vyrobená}} = E_{\beta_1 = 25^\circ}$	
	NPV [Kč]	IRR [%]	NPV _{max} [Kč]	IRR _{max} [%]	NPV _{$\beta_1 = 25^\circ$} [Kč]	IRR _{$\beta_1 = 25^\circ$} [%]
-10 000 000	-10 200 349	-8,8%	-5 709 344	-0,3%	-9 155 772	-6,1%
1 000 000	1 319 651	19,3%	5 810 656	56,5%	2 364 228	28,3%
1 500 000	819 651	12,0%	5 310 656	37,9%	1 864 228	18,5%
2 000 000	319 651	7,9%	4 810 656	28,5%	1 364 228	13,3%
2 500 000	-180 349	5,1%	4 310 656	22,7%	864 228	9,9%
3 000 000	-680 349	3,1%	3 810 656	18,7%	364 228	7,4%
3 500 000	-1 180 349	1,5%	3 310 656	15,7%	-135 772	5,5%
4 000 000	-1 680 349	0,2%	2 810 656	13,4%	-635 772	4,0%
4 500 000	-2 180 349	-0,9%	2 310 656	11,6%	-1 135 772	2,7%
5 000 000	-2 680 349	-1,8%	1 810 656	10,0%	-1 635 772	1,7%
5 500 000	-3 180 349	-2,6%	1 310 656	8,7%	-2 135 772	0,7%
6 000 000	-3 680 349	-3,4%	810 656	7,6%	-2 635 772	-0,1%
6 500 000	-4 180 349	-4,0%	310 656	6,6%	-3 135 772	-0,8%
7 000 000	-4 680 349	-4,6%	-189 344	5,7%	-3 635 772	-1,5%
7 500 000	-5 180 349	-5,1%	-689 344	4,9%	-4 135 772	-2,1%
8 000 000	-5 680 349	-5,6%	-1 189 344	4,2%	-4 635 772	-2,6%
8 500 000	-6 180 349	-6,1%	-1 689 344	3,5%	-5 135 772	-3,1%
9 000 000	-6 680 349	-6,5%	-2 189 344	2,9%	-5 635 772	-3,6%
9 500 000	-7 180 349	-6,9%	-2 689 344	2,3%	-6 135 772	-4,0%
10 000 000	-7 680 349	-7,3%	-3 189 344	1,8%	-6 635 772	-4,4%
10 500 000	-8 180 349	-7,6%	-3 689 344	1,3%	-7 135 772	-4,8%
11 000 000	-8 680 349	-7,9%	-4 189 344	0,9%	-7 635 772	-5,2%
11 500 000	-9 180 349	-8,2%	-4 689 344	0,4%	-8 135 772	-5,5%
12 000 000	-9 680 349	-8,5%	-5 189 344	0,0%	-8 635 772	-5,8%
12 500 000	-10 180 349	-8,8%	-5 689 344	-0,3%	-9 135 772	-6,1%
13 000 000	-10 680 349	-9,1%	-6 189 344	-0,7%	-9 635 772	-6,4%

Příloha 51: Závislost velikosti IRR [%] na velikosti IN [mil. Kč]

