

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA EKONOMIKY, MANAŽERSTVÍ

A HUMANITNÍCH VĚD



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Přečerpávací vodní elektrárna

Jaroslav Klika

Praha 2023

Vedoucí práce: Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D.

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Specializace: Elektrotechnika, a management



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Klika** Jméno: **Jaroslav** Osobní číslo: **483528**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Elektrotechnika a management**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Přečerpávací vodní elektrárna

Název bakalářské práce anglicky:

Pumped storage hydroelectric power plant

Pokyny pro vypracování:

- 1) Typy vodních elektráren.
- 2) Umístění vodní elektrárny.
- 3) Návrh vodní elektrárny.
- 4) Technicko - ekonomické vyhodnocení návrhu a závěrečná doporučení.

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) ČSN 75 0120. Vodní hospodářství: Terminologie hydrotechniky. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2009, 166 s.
- 3) HOLATA, Miroslav, Pavel GABRIEL, ed. Malé vodní elektrárny: projektování a provoz. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0828-4.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

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

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **26.01.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10.01.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2023**

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

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

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 9.1.2023

Jaroslav Klika

Poděkování:

Děkuji svému vedoucímu práce Mgr. Ing. Vítu Kleinovi za odborné vedení této práce, konzultace a připomínky směřující k vytvoření této práce. Také děkuji firmám ČEPS a E.ON za možnost účasti na letních kurzech, při kterých jsem byla možnost osobního setkání s odborníky v tomto oboru. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za toleranci a podporu při studiu.

Abstrakt

Tato bakalářská práce pojednává o tom, jakou roli hrají přečerpávací vodní elektrárny v elektrizační soustavě, proč dávají ekonomický smysl i přesto, že do sítě často dodají méně energie, než z ní odeberou a jaké jsou alternativy akumulace elektrické energie.

Obsahuje také rozdělení vodních elektráren podle možností akumulace, typy turbín užívaných v těchto elektrárnách a současný stav velkých vodních děl v ČR.

Navrhuje projekt výstavby přečerpávací vodní elektrárny a jeho ekonomické zhodnocení.

Též se zabývá obchodním modelem přečerpávacích vodních elektráren, určuje, které konkrétní služby výkonové rovnováhy jsou vhodné pro poskytování navrženým projektem a následně odhadne výši tržeb z těchto služeb.

Klíčová slova: přečerpávací vodní elektrárna, Slavíč, ekonomické zhodnocení, systémové služby, vyvažování elektrizační soustavy, podpůrné služby, služby výkonové rovnováhy

Abstract

This bachelor's thesis explores the role of pumped hydro storage in the electrical system, why do they make sense economically despite consuming more energy than they produce, and what are the alternatives to energy accumulation.

It also divides hydroelectric power plants by their ability to accumulate energy, type of turbine they use and describes the current state of big hydroelectric plants in the Czech Republic.

Thesis then proceeds to economically evaluate project chosen based on economic criteria and discusses possible risks involved with the suggested project.

It also explores a business model of pumped hydro power plants, determines which specific power balance services are suitable for provision by the proposed project and subsequently estimates the amount of revenue from providing these services.

Keywords: pumped hydro storage, Slavíč, economical assessment, system services, grid balance, ancillary services, balancing services

Obsah

1	Úvod	1
2	Rovnováha v síti	6
2.1	Statická charakteristika soustavy	6
2.1.1	Regulace frekvence	6
2.2	Výkonové číslo sítě	7
2.3	Odchylky	8
2.3.1	Důvody vzniku odchylek	8
2.4	Účinky odchylek	10
3	Možnosti vyrovnávání odchylek	11
3.1	Výroba elektřiny v době, kdy je o ní zájem	11
3.2	Akumulace energie	12
3.2.1	Hlavní zdroje akumulované energie	12
3.2.2	Špičkové a pološpičkové zdroje primární energie	13
3.3	Vodní elektrárny	14
3.3.1	Hydrodynamická rovnice	15
3.3.2	Přeměna potenciální energie vody na elektrickou	16
3.3.3	Průtočné vodní elektrárny	21
3.3.4	Akumulační vodní elektrárny	22
3.3.5	Přečerpávací vodní elektrárny	24
3.3.6	Současný stav PVE v ČR	25
3.3.7	Technologické zpracování	27
3.3.8	Účinnosti, Ztráty a jejich příčiny	28
3.4	Alternativy uložení energie	29
3.4.1	Bateriové úložiště	29
3.4.2	Chemické úložiště	29

3.4.3	Kinetické úložiště.....	30
4	Systémové služby	31
4.1	Podpůrné služby	32
4.1.1	Služby výkonové rovnováhy.....	32
4.1.2	Nefrekvenční podpůrné služby	37
4.2	Příjmy z poskytování PpS	37
4.2.1	Platby za SVR.....	37
4.2.2	Penále.....	38
4.3	Dodatečné podmínky pro poskytovatele SVR s omezenými zásobníky energie	38
4.4	Nákup SVR	39
4.5	Odhad vývoje cen podpůrných služeb	40
5	Návrh vodní elektrárny a její umístění	43
5.1	Umístění ostatních PVE	43
5.2	Kritéria volby projektu	44
5.3	Volba projektu.....	45
5.4	Umístění navrženého projektu	47
5.5	Parametry projektu	48
5.6	Vlastníci pozemků.....	49
5.7	Chráněná ložisková území	49
6	Ekonomické zhodnocení.....	51
6.1	Cena projektu	51
6.1.1	Cena stavební části.....	51
6.1.2	Cena technologické části.....	52
6.1.3	Ostatní náklady	53
6.2	Celkové investiční náklady	54
6.3	Poskytované služby	54

6.3.1	Poskytování SVR mFRR5	54
6.3.2	Platba za dodanou regulační energii	55
6.3.3	Poskytování nefrekvenčních služeb	60
6.4	Stanovení diskontu	60
6.5	Odpisy	61
6.6	Náklady na údržbu	62
6.6.1	Náklady na zaměstnance	62
6.6.2	Ostatní náklady	63
6.7	Stavba kapitálu	63
6.7.1	Anuita	64
6.7.2	Vážená cena kapitálu	64
6.8	Ekonomické ukazatele	64
6.8.1	Čistá současná hodnota	65
6.8.2	Vnitřní výnosové procento	65
6.8.3	Vypočtené ekonomické ukazatele	66
	Závěr	69
	Seznam použité literatury	70
	Seznam příloh	76

Seznamy

Seznam obrázků

Obr. 1.1 Křivka výroby solárního panelu v průběhu dne

Obr. 1.2 Merit Order Effect

Obr. 1.3 Ceny vnitrodenního trhu

Obr. 1.4 Křivka zatížení ES ČR

Obr. 2.1 Statická a astatická charakteristika

Obr. 2.2 aktivace FRR

Obr. 3.1 Intradenní zatížení

Obr. 3.2 Francisova turbína

Obr. 3.3 Peltonova turbína

Obr. 3.4 Kaplanova turbína

Obr. 3.5 Bánkiho turbína

Obr. 3.6 Grafické zjednodušení parametrů výběru turbíny

Obr. 3.7 Možnosti provedení průtočné vodní elektrárny

Obr. 3.8 VE Slapy

Obr. 3.9 Schéma PVE

Obr. 3.10 Znázornění ztrát v PVE

Obr. 5.1 Umístění PVE Dlouhé stráně

Obr. 5.2 Umístění navrhované PVE

Obr. 5.3 Chráněná ložisková území

Obr. 6.1 Křivka nabídky mFRR5

Obr. 6.2 Citlivostní analýza NPV na výši diskontu

Seznam tabulek

Tab. 3.1 Přehled akumulčních VE

Tab. 4.1 Přehled rozdílů mezi službami mFRRt

Tab. 5.1 Seznam vytipovaných oblastí pro výstavbu PVE.

Tab. 5.2 Přehled souřadnic umístění nádrží.

Tab. 6.1 Přehled cen za RE

Tab. 6.2 Seznam režijních nákladů

Tab. 6.3 Výsledné hodnoty ekonomických ukazatelů

Seznam použitých zkratek

aFRR	Zálohy pro regulaci výkonové rovnováhy s automatickou aktivací (Automatic frequency restoration reserve)
BS	Start ze tmy (Black start)
CHKO	Chráněná krajinná oblast
CK	Cizí kapitál
ČNB	Česká národní banka
CF	Peněžní tok (Cash flow)
CO ₂	Oxid uhličitý
ČR	Česká republika
DS	Dlouhé Stráně
DT	Denní trh
ENTSO-E	Evropské sdružení provozovatelů přenosových soustav elektřiny
ERU	Energetický regulační úřad
ES	Elektrizační soustava
EU	Evropská Unie
FCR	Záloha pro automatickou regulaci frekvence (Frequency containment reserve)
FVE	Fotovoltaická elektrárna
IRR	Vnitřní výnosové procento
ISP	Doba vyrovnání odchylky (Imbalance settlement period)

JE	Jaderná elektrárna
KN	Katastr nemovitostí
LCOE	Vyrovnané náklady na elektřinu
mFRR	Zálohy pro regulaci výkonové rovnováhy s manuální aktivací (Manual frequency restoration reserve)
MOL	žebříček nabídkových cen (Merit order list)
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MVE	Malá vodní elektrárna
NP	Národní park
NPV	Čistá současná hodnota
OTE	Organizátor trhu s elektřinou
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PP	Příprava provozu
PpS	Podpůrné služby
Pro rata	Poměrným dílem
PS	Přenosová soustava
PVE	Přečerpávací vodní elektrárna
RE	Regulační energie
RTE	účinnost celého cyklu akumulace (Round trip efficiency)
SVR	Služby výkonové rovnováhy

SyS	Systemové služby
TSO	Provozovatel přenosové soustavy (Transfer system operator)
USA	Spojené státy americké
VE	Vodní elektrárna
VK	Vlastní kapitál
WACC	Vážená cena kapitálu (Weighted average cost of capital)

1 Úvod

U obvyklé komodity platí, že se nabídka a spotřeba vzájemně regulují až do dosažení rovnovážné ceny. Jakákoliv krátkodobá či dlouhodobá výchylka spotřeby či nabídky způsobí to, že se tato rovnovážná cena posune nahoru či dolů.

Pro většinu obvyklých komodit funguje systém skladování či možnost odložení spotřeby. I z těchto důvodů jsou stavěny ohromné příměstské sklady, umožňující vyrovnávání krátkodobých nárůstů poptávky. Výrobcům tento systém vyhovuje proto, že mohou fungovat podle jejich dlouhodobě optimalizovaného režimu a nemusí reagovat na krátkodobé odchylky od trendu spotřeby.

Elektřina však není obvyklou komoditou. Na rozdíl od čipů, obilí a jiných komodit jí lze jen obtížně skladovat. I přesto se však díky svým vlastnostem stala nedílnou součástí našich životů. Za tímto rozšířením stojí její univerzálnost, schopnost přenosu na dálku a mnoho dalších příjemností.

Očekávání spotřebitele, že jakýkoliv spotřebič připojený na síť začne fungovat zmáčknutím tlačítka, je velmi návykové a časem se stalo běžnou záležitostí.

Za tímto očekáváním se však skýtá ohromný technologický a ekonomický aparát zajišťující rovnováhu nabídky a poptávky, dbající na technologické možnosti a především cenu.

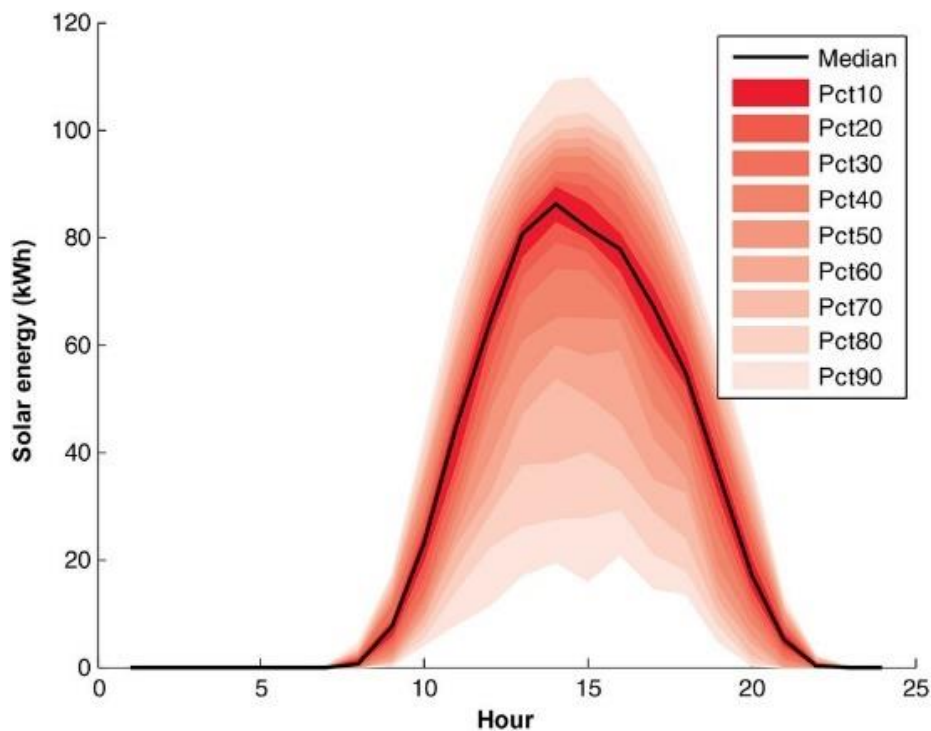
Historicky bylo v naší zemi hlavním zdrojem elektrické energie uhlí¹ a voda, ke kterým se později přidalo jádro.

V poslední době se však, v důsledku politické situace, velice rozmohly investice do obnovitelných zdrojů energie, obzvláště fotovoltaiky. Podle odhadu MPO² by měl být v roce 2040 více než dvojnásobný instalovaný výkon FVE, než je tomu nyní.

¹ *Deník.cz: Století elektřiny. První republika jako zlatá éra uhlí* [online]. VLTAVA LABE MEDIA, 2018 [cit. 2023-01-06]. Dostupné z: www.denik.cz/ekonomika/stoleti-elektřiny-prvni-republika-a-socialismus-jako-zlata-era-uhli-20181026.html

² *Ministerstvo průmyslu a obchodu: Model zapojení DECE, akumulace a spotřeby včetně elektromobility do procesu řízení ES ČR - průběžná zpráva za rok 2018* [online]. In: . Praha, s. 46 [cit. 2022-02-06]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/2020/2/Flexibilita.pdf>

Obnovitelné zdroje jsou schopny, nevytvářejíce marginální emise, poskytnout velké instalované výkony. Bohužel většina těchto nově instalovaných čistých zdrojů je intermitentních – nemají stálý výkon. Například křivka výroby FVE v průběhu dne dosáhne maxima v poledne, tedy mimo dopolední a odpolední špičku.



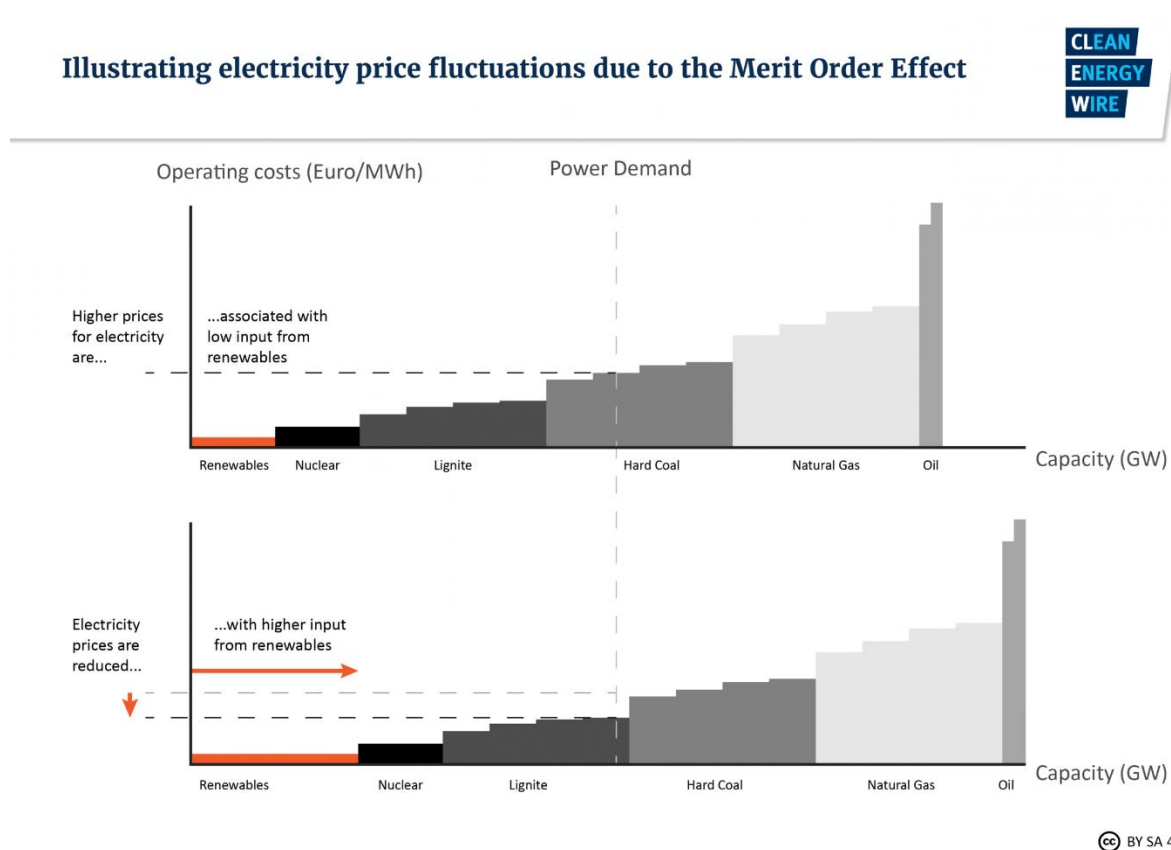
Obr. 1.1 Křivka výroby solárního panelu v průběhu dne³

Pro intermitentní zdroj platí to, že produkovaná elektřina má jen takovou cenu, jaká je její tržní cena v době, kdy jí lze spotřebovat. Naprostá většina těchto intermitentních zdrojů je však navázána na stejné fundamentální principy výroby (svit slunce, rychlost větru) způsobující to, že velmi zřídka vyrábí pouze část z nich. Mnohem častěji se stává to, že velké množství z nich začne vyrábět najednou.

Poptávka po elektrické energii není z krátkodobého hlediska cenově měkká. Firmy nemohou nařídít výjimečnou směnu z hodiny na hodinu uprostřed noci. Při dostatečně rychlém nárůstu velkého množství intermitentního výkonu či poklesu spotřeby se často stává, že cena elektřiny

3 Sangrody, Hossein & Sarailoo, Morteza & Zhou, Ning & Tran, Nhu & Motalleb, Mahdi & Foruzan, Ellie. (2017). Weather Forecasting Error in Solar Energy Forecasting. IET Renewable Power Generation. 11. 10.1049/iet-rpg.2016.1043 [cit. 2022-02-06]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/hour-profile-of-solar-PV-generation-for-the-case-study_fig3_317642809

na denním trhu dramaticky poklesne. Pokles je způsobem jevem „merit order effect“. Na obrázku níže lze vidět jeho vliv.



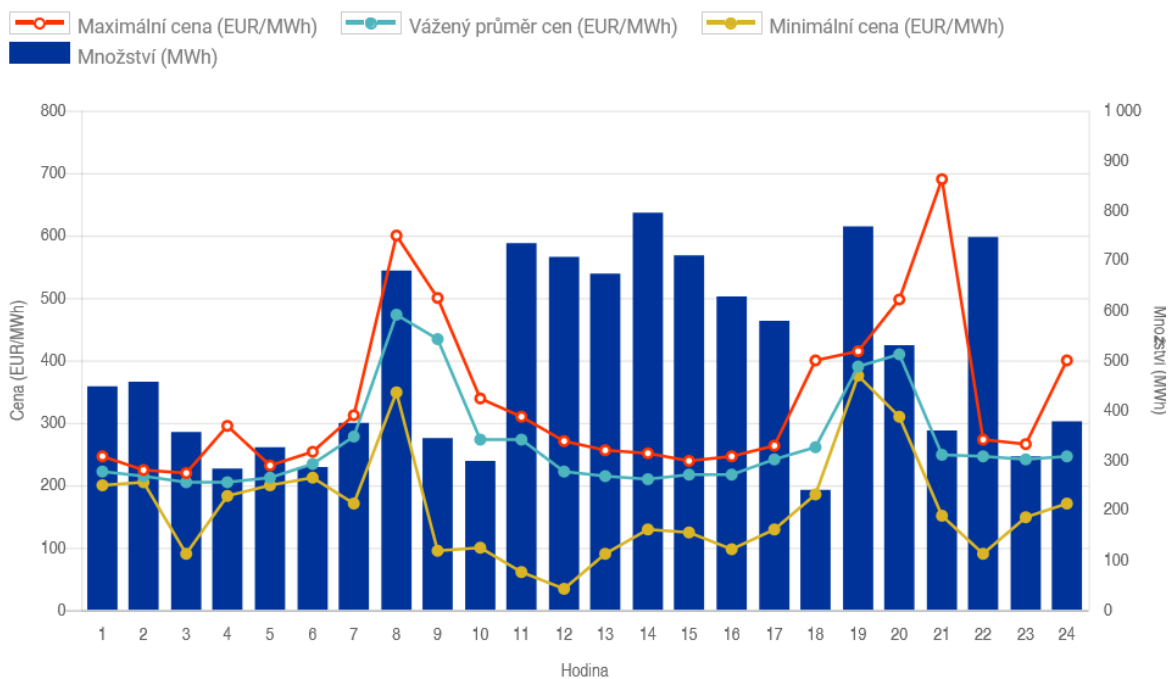
Obr. 1.2 Merit Order Effect ⁴

Do ceny elektrické energie se do jisté míry promítá rovnováha nabídky a poptávky (tato cena může být i záporná). Výrazná fluktuace ceny na denním trhu nastala například večer 12. října 2022. Vážená hodinová cena na vnitrodenním trhu vzrostla z odpoledních 200 €/MWh až na necelých 500 €/MWh. Rozdíl maximálních a minimálních cen byl ještě větší.

4 Clean Energy Wire. *Clean Energy Wire* [online]. Anna-Louisa-Karsch-Str. 2 10178 Berlin [cit. 2022-02-06].

Dostupné z: www.cleanenergywire.org/factsheets/setting-power-price-merit-order-effect

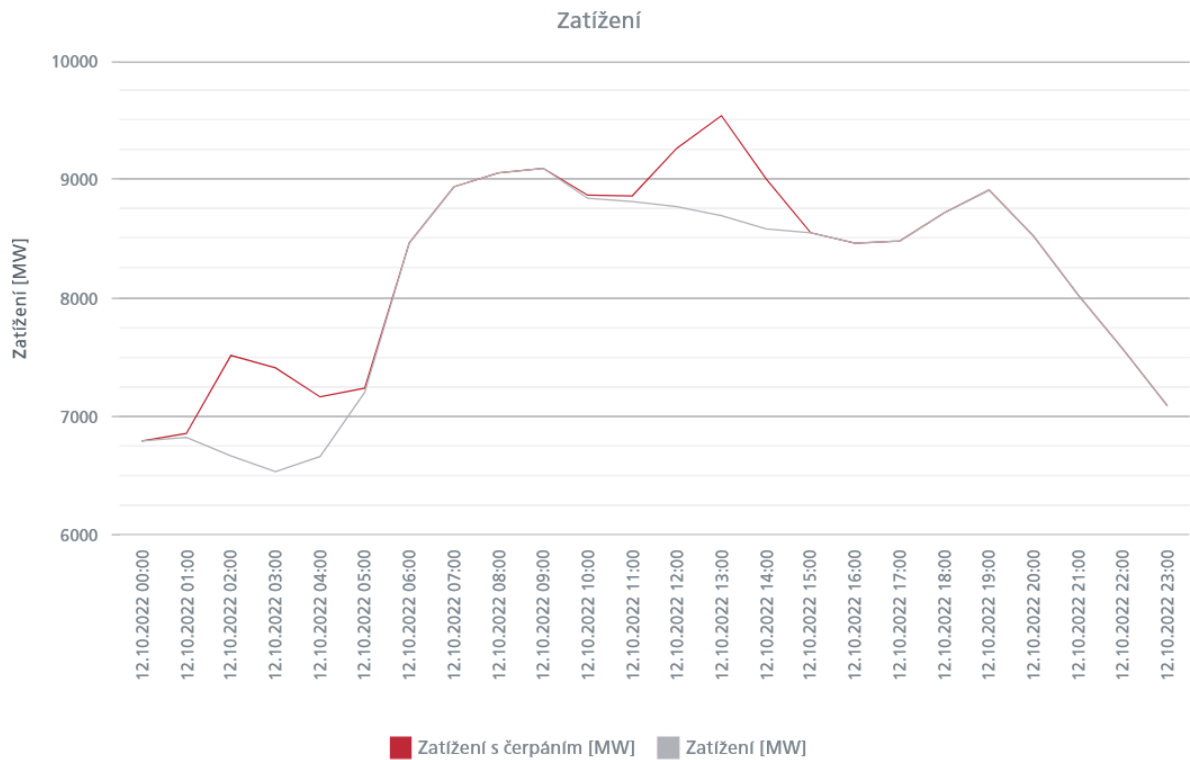
Výsledky vnitrodenního trhu - 12.10.2022



Obr. 1.3 Ceny vnitrodenního trhu⁵

Na níže uvedeném diagramu zatížení elektrizační soustavy (ES) lze vidět reakci přečerpávacích vodních elektráren (PVE) na cenový pokles způsobený poledním nárůstem výroby, aniž by tento nárůst byl kopírovaný změnou spotřeby.

⁵ OTE: Výsledky vnitrodenního trhu - 12.10.2022 [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/kratkodobe-trhy/elektrina/vnitrodenni-trh?date=2022-10-12>



Obr. 1.4 Křivka zatížení ES ČR⁶

Z výše uvedených průběhů lze usoudit, že možnost akumulace velkého množství elektrické energie bude zásadním parametrem elektrifikační soustavy.

Přečerpávací vodní elektrárny jsou objekt schopný využít nízké marginální ceny výroby energie a uložit energii ze sítě v době nadbytku produkce a dodat jí zpět v době nedostatku.

⁶ ČEPS: Aktivace SVR v ČR [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.ceps.cz/cs/data#AktivaceSVRvCR

2 Rovnováha v síti

Spotřebiče připojené na síť jsou navrženy tak, aby správně fungovaly na nominálním napětí sítě a nominální frekvenci 50 Hz.

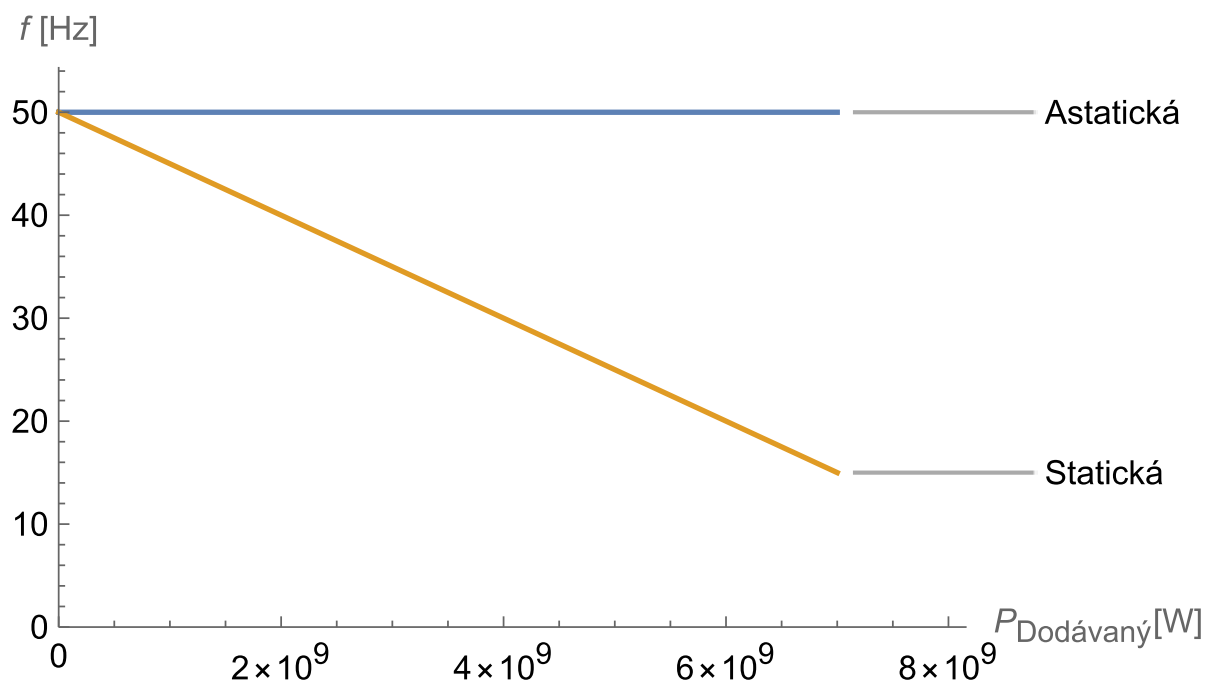
2.1 Statická charakteristika soustavy

Statická charakteristika soustavy je závislost změny frekvence odchylkou, způsobenou nerovnováhou dodávaného a odebíraného výkonu.

2.1.1 Regulace frekvence

Zdroje a spotřebiče mohou na změnu frekvence sítě reagovat odlišně.

V závislosti na tom, jak zdroje regulují svůj výkon v závislosti na frekvenci, je dělíme na statické a astatické. Astatické zdroje na změnu frekvence nereagují, statické však ano. Cílem systémových služeb je zajistit to, aby se celek elektrizační soustavy choval jako astatický zdroj.



Obr. 2.1 Statická a astatická charakteristika ⁷

⁷ Powerwiki: Materiály přednášek k předmětu Prvky a provoz elektroenergetických soustav: Řízení napětí a frekvence v ES [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: www.powerwiki.cz/wiki/PPE, upraveno

Tato statika zdroje je definována jako relativní změna frekvence ku relativní změně výkonů.

$$s = \frac{\frac{\Delta f}{f_n}}{\frac{\Delta P}{P_n}} [-] \quad (1)$$

z čehož lze algebraickou úpravou vyvodit vzorec pro navýšení výkonu sítě známého výkonu při změně frekvence.

$$\Delta P = \frac{P_n \left(\frac{\Delta f}{f_n} \right)}{s} [\text{W}] \quad (2)$$

Příklad: při odchylce frekvence o +0,1 Hz, výkonu sítě 1086 MW (1 blok JE Temelín) a statikou sítě 5 % by bylo nutné snížit výkon generátoru o 43,44 MW.

Stejné chování je i u spotřebičů. Při zvýšení frekvence sítě naroste odebíraný výkon některých spotřebičů.

$$P(U, f) = P(U)[1 + k_{Pf}(f - f_0)] \quad (3)$$

$$Q(U, f) = Q(U)[1 + k_{Qf}(f - f_0)] \quad (4)$$

Kde k_{Pf} je výkonové číslo pro činný výkon a k_{Qf} je výkonové číslo pro jalový výkon.

2.2 Výkonové číslo sítě

Výkonové číslo je převrácená hodnota statiky. Popisuje vliv výkonové odchylky na frekvenci sítě. Definice tohoto čísla je definována jako odchylka výkonu elektrické soustavy ku změně frekvence soustavy.

$$Ku = \frac{1}{s} [\text{MW Hz}^{-1}] \quad (5)$$

$$Ku = \frac{\Delta Pa}{\Delta f} [\text{MW Hz}^{-1}] \quad (6)$$

Toto číslo se určuje zvlášť pro každou soustavu. Na podzim roku 2022 mělo hodnotu 752 MW/Hz ⁸.

2.3 Odchyly

Výkonová odchylka elektrizační soustavy ČR je definována jako suma výroby, spotřeby, dovozu a vývozu.

$$S_{yO} = P_{\text{vyroba}} + P_{\text{dovoz}} - S_{\text{domaci}} - S_{\text{vyvoz}} \text{ [W]}$$

Kde...

P_{vyroba} : Domácí výroba [W]

P_{dovoz} : Import ze zahraničí [W]

S_{domaci} : Domácí spotřeba [W]

S_{vyvoz} : Export do zahraničí [W]

Pokud je odchylka kladná, což nastane v případě, že výroba převyšuje spotřebu, tak označíme soustavu za “přebytkovou”. V opačném případě označíme soustavu za “deficitní.”

2.3.1 Důvody vzniku odchylek

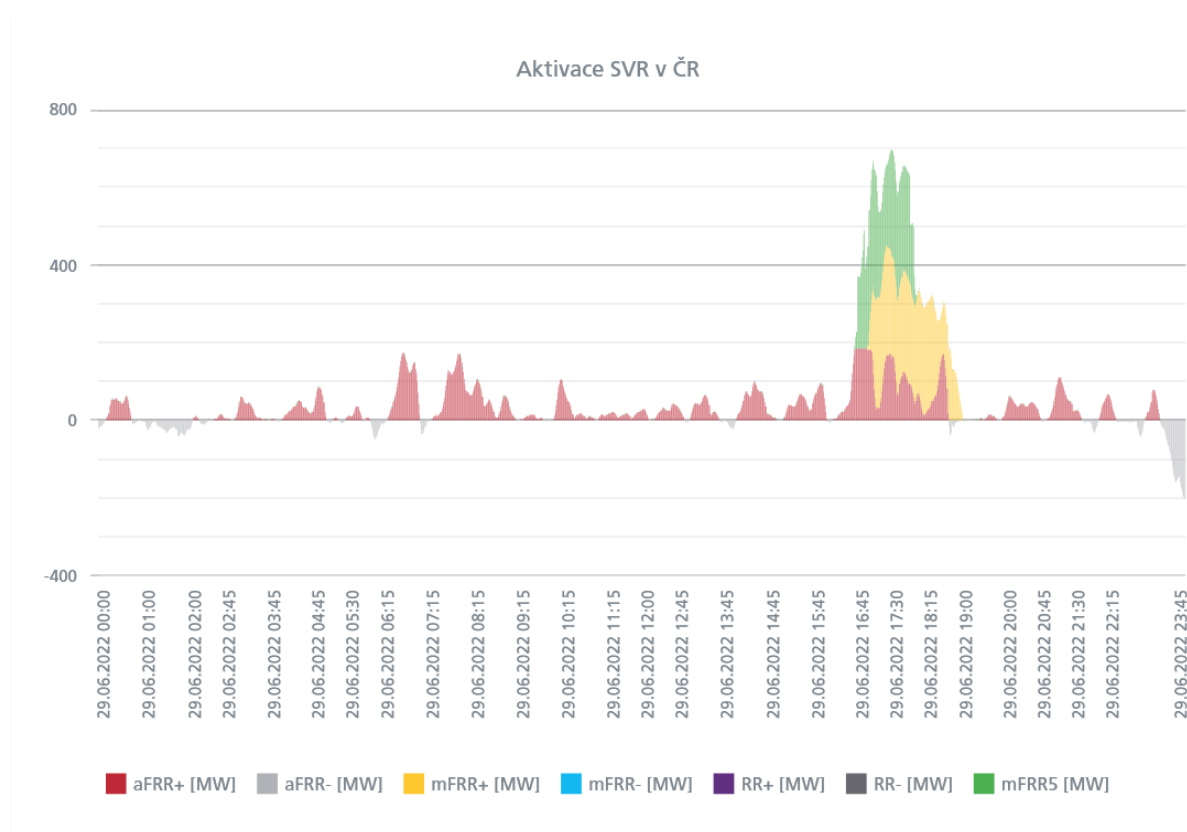
Spotřeba elektrické energie se nedá předvídat v plném rozsahu. Existují statistické metody zohledňující časové období, denní dobu a mnohé jiné parametry, avšak i tyto odhady nedokáží naprosto přesně predikovat reálné zatížení. Tyto modely však dokáží odhadnout tuto hodnotu natolik přesně, aby bylo možné zajistit včasnou aktivaci produkce elektřiny ze zdrojů, které mají dlouhé doby náběhu.

2.3.1.1 Výpadky

V každém systému mohou nastat výpadky a poruchy. Pro tyto případy je celá přenosová soustava provozována v režimu N-1. To znamená, že i při výpadku libovolného člena sítě je síť schopna provozu.

⁸ TESARĚ, Jan, senior specialista oddělení Rozvoj dispečerského řízení ČEPS [ústní sdělení]. Praha, [2022-8-30.]

Například dne 29.6.2022 došlo k výpadku 700 MW výkonu následovaném aktivací služeb výkonové rovnováhy (SVR).



Obr. 2.2 aktivace FRR⁹

2.3.1.2 Intermitentní zdroje

Instalace intermitentních zdrojů výkonu do 10 MW v posledních letech, z velké části podpořená zákonem §165/2012 *Zákon o podporovaných zdrojích energie*, zvýhodňující OZE, výrazně zvýšila množství instalovaného výkonu těchto zdrojů. Bohužel se výkon těchto zdrojů nedá zvýšit dle požadavků a je tedy potřeba tuto energii buď akumulovat nebo poslat do sítě a snížit výkon ostatních zdrojů.

⁹ ČEPS: *Aktivace SVR v ČR* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.ceps.cz/cs/data#AktivaceSVRvCR

2.4 Účinky odchylek

Z důvodu zachování rovnováhy soustavy je potřeba udržovat absolutní hodnotu systémové odchylky co nejmenší. Důvod je ten, že v případě přebytkového výkonu hrozí to, že by se síť mohla odchýlit od požadované hodnoty frekvence a jmenovitého napětí.

Za normálního stavu soustavy nesmí napětí na uzlech vedení vybočit mimo rozpětí¹⁰

- Síť 400 kV $-10 + 5 \% U_n$ (360 - 420 kV)
- Síť 220 kV $-10 + 11,8 \% U_n$ (198 - 246 kV)

Tohoto docílíme regulací jalového výkonu v síti.

Za normální stav se považuje právě odchylka od žádané frekvence sítě nižší než 50 mHz.¹¹

Frekvence též musí zůstat v rozmezí 50 Hz + 4% / -6 % (tj. 47 – 52 Hz) během 100% času.¹²

Výpadek frekvence ze žádaného tolerančního rozmezí frekvence kolem hodnoty 50 Hz může mít za následek:¹³

- Zvýšené vibrační namáhání lopatek nízkotlakých dílů parních turbín.
- Zvýšené magnetizační proudy asynchronních motorů a transformátorů.
- Může narušit správnou funkci zařízení a systémů vyžadující synchronní čas. Pro tento případ je též nutné udržovat frekvenci nejen v požadovaném rozmezí, ale dbát i na odchylku integrálu.
- Odpojení od okolních přenosových soustav
- Narušení přenosových cest zajišťujících mezinárodní obchod elektřiny a služeb a následné penále

¹⁰ ČEPS: *Kodex přenosové soustavy II* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/kodex-ps>

¹¹ ČEPS: *Kodex přenosové soustavy V* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/kodex-ps>

¹² ČEPS: *Kodex přenosové soustavy V* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/kodex-ps>

¹³ Powerwiki: *Materiály přednášek k předmětu Prvky a provoz elektroenergetických soustav: Řízení napětí a frekvence v ES* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: www.powerwiki.cz/wiki/PPE

Je tedy zřejmé že je potřeba tento stav omezit. Toho lze docílit buď navýšením výkonu výroby či omezením spotřeby. Omezování spotřeby je však nežádoucí.

3 Možnosti vyrovnávání odchylek

Pro zachování stability sítě je potřeba odchylky vyrovnávat. Vyrovnání probíhá navýšením či snížením výkonu dodávaného zdroji. Možnosti vyrovnávání odchylek se dají rozdělit na dva principy.

3.1 Výroba elektřiny v době, kdy je o ní zájem

Vyrábět jen když je odběr se může jevit jako vhodné řešení problému odchylek. Tento princip se ale používá jen v omezeném rozsahu. Důvody tohoto omezení jsou následující.

- Zdrojem příjmů zdrojů je především poskytování silové elektřiny. Když zdroj nevyrábí tak jeho majiteli neplynou příjmy.
- Velká část elektrické energie je prodávána obchodníkům ve formě dlouhodobých forwardových kontraktů
- Zdroje mají omezenou schopnost regulovat svůj výkon
- Všechny zdroje mají jistou setrvačnost změny svého výkonu. Například nastartování uhelné elektrárny trvá přes 12 hodin.¹⁴

Jaderné reaktory nové generace „3+“ jsou sice schopny v případě potřeby svůj výkon navýšit či snížit o 5 % za minutu¹⁵. Avšak i přes tuto schopnost regulace je ekonomická motivace regulovat výkon v soustavě jinými prostředky, například aktivací PVE v čerpadlovém režimu, omezením výkonu paroplynových a uhelných elektráren či snížením produkce FVE¹⁶.

Důvodem tohoto chování jsou velmi malé marginální náklady JE oproti elektrárnám využívající fosilní paliva. LCOE (Vyrovnané náklady na elektřinu) jaderné elektrárny jsou totiž

¹⁴ EIA: *About 25% of U.S. power plants can start up within an hour* [online]. U.S. Energy Information Administration [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=45956

¹⁵ ŽIŽKA, Jan. *Flexibilita jaderných elektráren – šance pro zastánce atomu?* [online]. 2018 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: oenergetice.cz/jadernoelektrarny/flexibilita-jadernych-elektraren-sance-zastance-atomu

¹⁶ Powerwiki, Řízení napětí a frekvence v ES: Materiály přednášek k předmětu Prvky a provoz elektroenergetických soustav. *Powerwiki* [online]. [cit. 2023-01-06]. Dostupné z: www.powerwiki.cz/wiki/PPE

z velké míry tvořeny náklady na výstavbu a údržbu, zatímco náklady na palivo tvoří pouze malou část¹⁷.

3.2 Akumulace energie

Z důvodu existence technických a ekonomických omezení změny výroby elektrické energie se často jeví výhodněji nadbytečnou energii akumulovat.

Jako možnosti akumulace jsou nejrozšířenější následující možnosti¹⁸:

- Vodní elektrárny (VE)
 - Přečerpávací vodní elektrárny
 - Akumulační vodní elektrárny
- Chemická úložiště (baterie)
- Kinetická úložiště (setrvačníky)

Každá z těchto možností má své místo v problematice ukládání energie.

Rozhodujícími vlastnostmi je rychlost odezvy, úložná kapacita, cena a v neposlední řadě účinnost akumulačního cyklu (dále jen RTE).

3.2.1 Hlavní zdroje akumulované energie

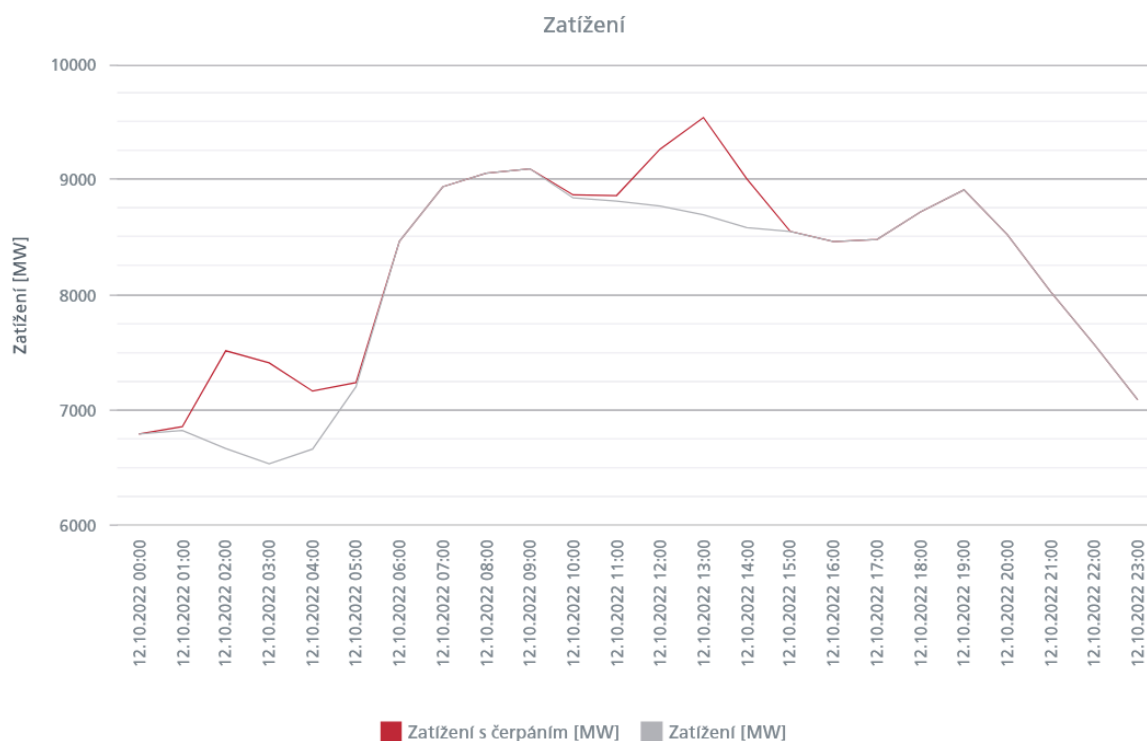
Úložiště energie musí vydanou energii opět naakumulovat. To se bude dít především v době, kdy je energie nadbytek. Hlavním zdrojem akumulované energie budou tedy buď zdroje základního zatížení v době nízké poptávky (noc) či zdroje intermitentní, například FVE, v době převisu nabídky nad poptávkou (poledne).

Zdrojem v základním zatížení jsou uhelné a jaderné elektrárny. Avšak investicím do těchto technologií brání nejistota ohledně politické podpory.

¹⁷ *World nuclear association: Economics of Nuclear Power* [online]. Tower House, 10 Southampton Street, London, WC2E 7HA, United Kingdom: World Nuclear Association, srpen 2022 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx

¹⁸ *Nuclear Power: Electrochemical Energy Storage – Battery Storage Power Station* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.nuclear-power.com/energy-conversion-and-storage-efficiency/electrochemical-energy-storage-battery-storage-power-station/>

Dříve akumulovaly PVE energii jen v noci. Důvodem byl energetický mix, jehož skladba byla založena na uhelných a jaderných zdrojích. Avšak z důvodu nárůstu instalovaného výkonu obnovitelných intermitentních zdrojů, zejména FVE, bývají PVE často aktivovány mezi dopolední a odpolední špičkou, tedy v době špičky produkce FVE.



Obr. 3.1 Intradenní zatížení 19

3.2.2 Špičkové a pološpičkové zdroje primární energie

Nejlepší nástroj vyvažování odchylek je výroba energie v době její potřeby. Jako nástroj doplnění pokrytí spotřeby v době pološpičkového a špičkového zatížení jsou stavěny i elektrárny s rychlým náběhem. Zejména plynové a paroplynové. Příkladem těchto elektráren je paroplynová elektrárna Počerady²⁰.

¹⁹ ČEPS, *Data denního zatížení* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.ceps.cz/cs/data

²⁰ ČEZ: *Provozované paroplynové a plynové elektrárny a teplárny* [online]. ČEZ [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/paroplynovy-a-plynovy-zdroje/provozovane-paroplynovy-elektrarny

Jejich současné zastoupení v energetickém mixu ČR je 6 %.²¹ Velkou předností těchto elektráren je krátká doba výstavby pohybující se mezi 30 až 40 měsíci²².

Obvyklé palivo je zemní plyn. Cena za 1 MWh zemního plynu se v prosinci 2022 pohybuje kolem 120 €/MWh²³ a obvyklé paroplynové elektrárny mají účinnost přeměny energie plynu na elektrickou energii mezi 33 % až 58 %^{24 25}.

Další výhodou těchto plynových zdrojů je nižší emise CO₂ na vyrobené množství energie oproti uhelným elektrárnám, což v minulosti motivovalo upřednostňování výstavby plynových elektráren na úkor uhelných.

Nevýhodou plynového zdroje je však závislost na dodávce plynu. Původ velké části plynu je mimo Evropu²⁶, což vytváří politické riziko.

3.3 Vodní elektrárny

Energii vody využívá člověk velmi dlouho. I dnes jsou vodní elektrárny jedním z nejvíce využívaným obnovitelným zdrojem energie v ČR. Přeměňují potenciální energii vody na energii elektrickou.

Na rozdíl od paroplynových a jaderných zdrojů je generace elektrické energie z VE relativně decentralizovaná. 40,7 % energie z vody je vyrobeno v malých vodních elektrárnách (MVE).²⁷

²¹ ČEZ: *Provozované paroplynové a plynové elektrárny a teplárny* [online]. ČEZ [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/paroplynove-a-plynove-zdroje/provozovane-paroplynove-elektrarny

²² VOBOŘIL, David. *Paroplynová elektrárna – princip funkce* [online]. 2015 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: oenergetice.cz/typy-elektraren/paroplynova-elektrarna-princip-funkce

²³ PXE: *Zemní plyn - ceny a grafy PXE zemního plynu* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.kurzy.cz/komodity/pxe-zemni-plyn-graf-vyvoje-ceny/1MWh-eur-2-roky

²⁴ Identický zdroj jako zdroj u čísla 20

²⁵ BHATIA, S.C. *Advanced Renewable Energy Systems, (Part 1 and 2)*. Indie: WPI India, 2014. ISBN 9781782422730.

²⁶ *Consilium: Infographic - Where does the EU's gas come from?* [online]. General Secretariat of the European Council [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/eu-gas-supply/>

²⁷ VOBOŘIL, David. *Vodní elektrárny - princip, rozdělení, elektrárny v ČR* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni

V roce 2008 se vodní energie na celkové výrobě elektřiny podílela 3 %, což, v rámci OZE, bylo 54 %. To, v absolutních hodnotách, znamená celkový výkon VE 2 376,4 GWh, přičemž 1 318,9 GWh pochází z MVE, 1 057 GWh z VE nad 10 MW a zbylých 352 GWh z PVE.²⁸

Lze je rozdělit podle způsobu využití vodního toku a typu použité turbíny.

3.3.1 Hydrodynamická rovnice

Hydrodynamická rovnice vychází z Newtonova zákona.

$$F = m \cdot a \quad (7)$$

Kde:

F... síla [N]

m... hmotnost [kg]

a... zrychlení [m s^{-2}]

Zrychlení je dáno tíhovým zrychlením $g \cong 9.81 \text{ [m s}^{-2}\text{]}$.

Hmotnost je dána vztahem $m = \rho V$, kde V značí objem [m^3] a $\rho \cong 1000 \text{ [kg m}^{-3}\text{]}$ je hustota vody.

Rovnici lze upravit do tvaru

$$F = V \cdot \rho \cdot g \quad (8)$$

Dále vyjdeme ze zákona definujícího vydanou energii jako skalární součin síly a dráhy jejího působení.

$$E = \mathbf{F} \cdot \mathbf{h} \text{ [J]} \quad (9)$$

A dosazením (8) do (9) získáme

²⁸ *Nazeleno.cz: Vodní elektrárny v České republice: Kolik vyrobí elektřiny?0* [online]. [cit. 2023-01-08].

Dostupné z: www.nazeleno.cz/energie/vodni-energie/vodni-elektrarny-v-ceske-republice-kolik-vyrobi-elektriny.aspx

$$E = V \cdot \rho \cdot g \cdot h \quad (10)$$

Pokud bychom chtěli výkon, tak lze na výše uvedenou rovnici nahlédnout z pohledu funkce vodní elektrárny, která spočívá v průtoku Q měřitelného objemu vody a disponuje reálnou účinností η .

$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot \eta \quad (11)$$

Z této rovnice lze vyčíst to, že výkon bude primárně regulovatelný průtokem Q a výškou h , která představuje výškový rozdíl hladin.

3.3.2 Přeměna potenciální energie vody na elektrickou

K přeměně potenciální energie vody na elektrickou energii se využívá turbíny. Ta se nachází na společné hřídeli s generátorem, který je touto turbínou roztáčen. Z pohledu umístění v elektrárně se nachází mezi přívodem vody a savkou, nacházející se ve spodní části elektrárny²⁹. Turbíny rozdělujeme podle několika kritérií.

- Tlakové kritérium
 - Rovnotlaké (akční)
 - Tlak vody se průchodem turbínou nezmění. Využívá se tedy jen kinetická energie vody.
 - Přetlakové (reakční)
 - Tlak vody před turbínou je vyšší než za ní. Kromě kinetické energie se v nich využívá i část energie tlakové.

²⁹ STUDENÍK, Jiří a Michal SVITAVSKÝ. *Energie větru, vody, biomasy*. Code Creator. ISBN 978-80-88058-08-3.

- Konstrukční kritérium
 - Francisova turbína



Obr. 3.2 Francisova turbína³⁰

Francisova turbína je přetlaková turbína vhodná pro velké rozpětí spádů se středním až velkým průtokem. Tento typ turbíny se vyskytuje i v PVE. Regulace účinnosti, a tedy výkonu při neměnném průtoku, lze u tohoto typu turbíny dosáhnout natáčením lopatek rozváděcího kola³¹.

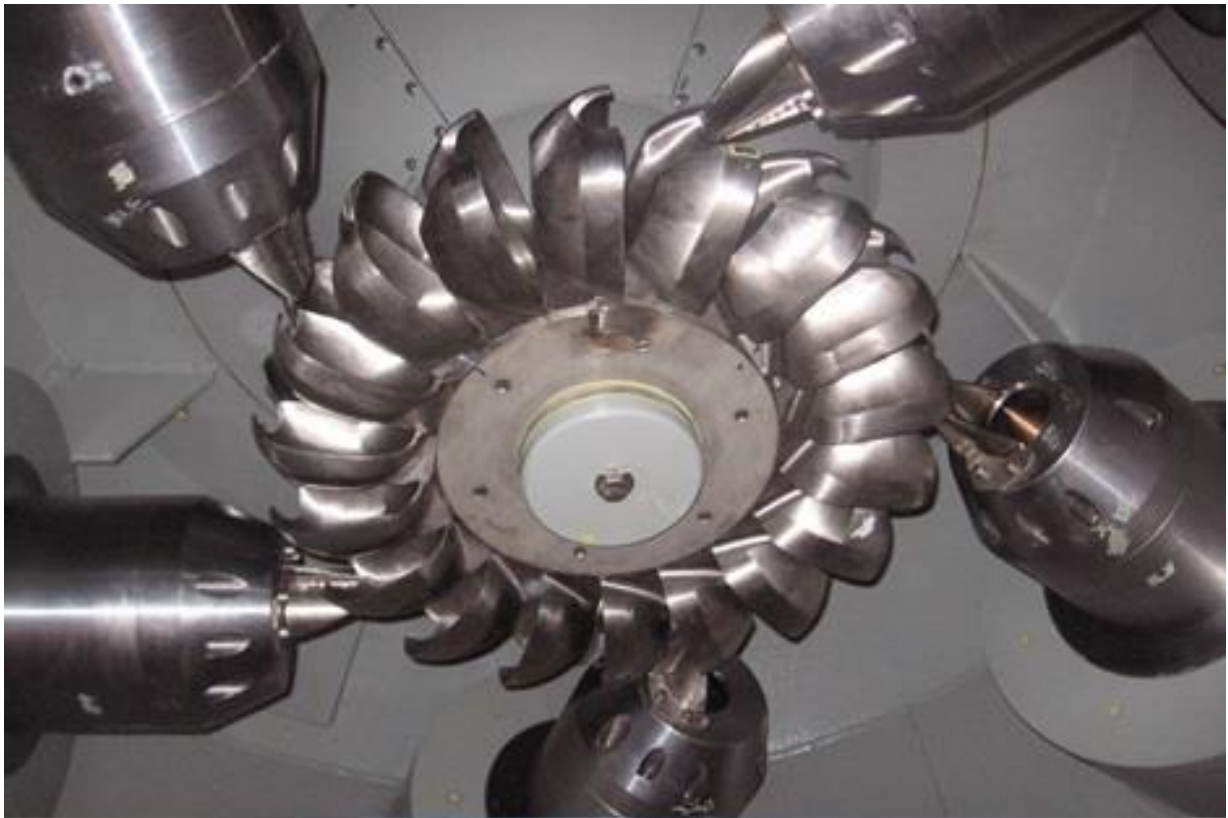
³⁰ VOBOŘIL, David. *Vodní elektrárny - princip, rozdělení, elektrárny v ČR* [online]. [cit. 2023-01-07].

Dostupné z: oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni

³¹ Svět energie: Francisova turbína. *Svět energie.cz: Vzdělávací portál ČEZ* [online]. [cit. 2023-01-07].

Dostupné z: www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/vodni-elektrarny/vodni-elektrarna-podrobne/francisova-turbina/vyklad

- Peltonova turbína



Obr. 3.3 Peltonova turbína³²

Peltonova turbína se využívá především pro vysoké spády a nižší průtoky vody. Jedná se o rovnotlakou turbínu, kde voda vstupuje v podobě kruhového paprsku na lopatky lžícovitého tvaru. Regulace výkonu se provádí pouze změnou průtoku.

Regulace průtoku je prováděna zasouváním regulační jehly. Z důvodu zvýšení účinnosti mají lopatky lžičkovitý tvar. Dosahovaná účinnost je kolem 85%.

³² *Strojírny Brno: Peltonovy turbíny* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://strojirnybrno.com/vodni-turbiny/pelton/>

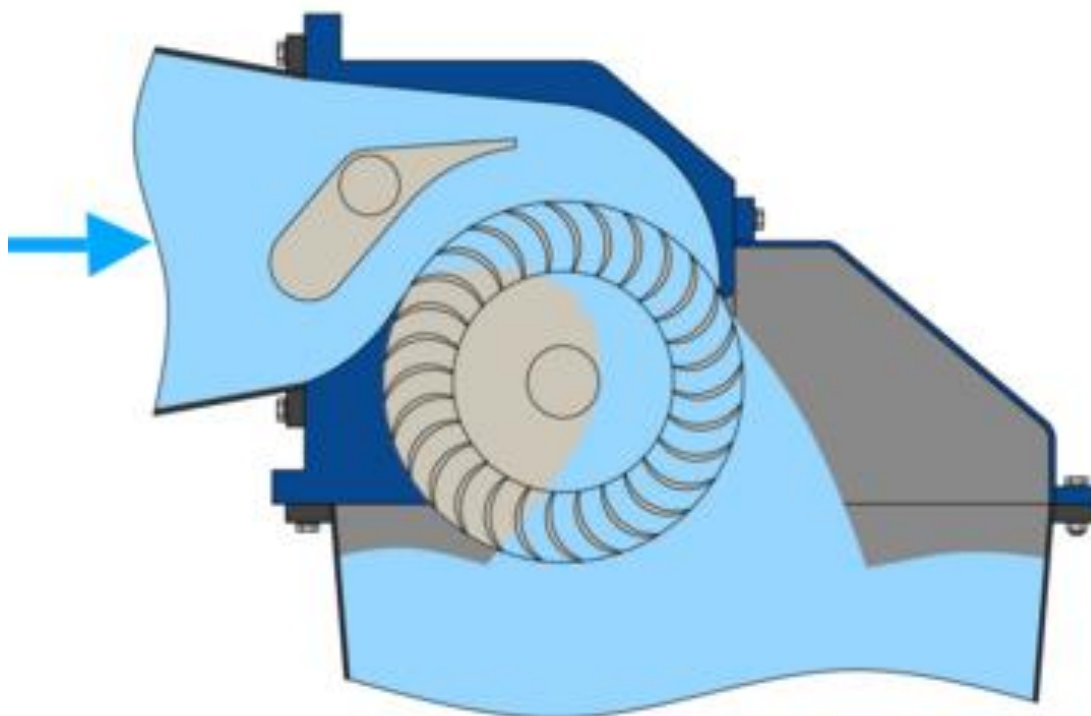
- Kaplanova turbína



Obr. 3.4 Kaplanova turbína ³⁰

Kaplanova turbína se díky své konstrukci a velmi dobrým regulačním vlastnostem využívá na nízké spády a velké průtoky. Regulace výkonu je zajišťována kombinací natočení rozváděcích a oběžných lopatek.

- Bánkiho turbína (Ossberger, Cross-flow)



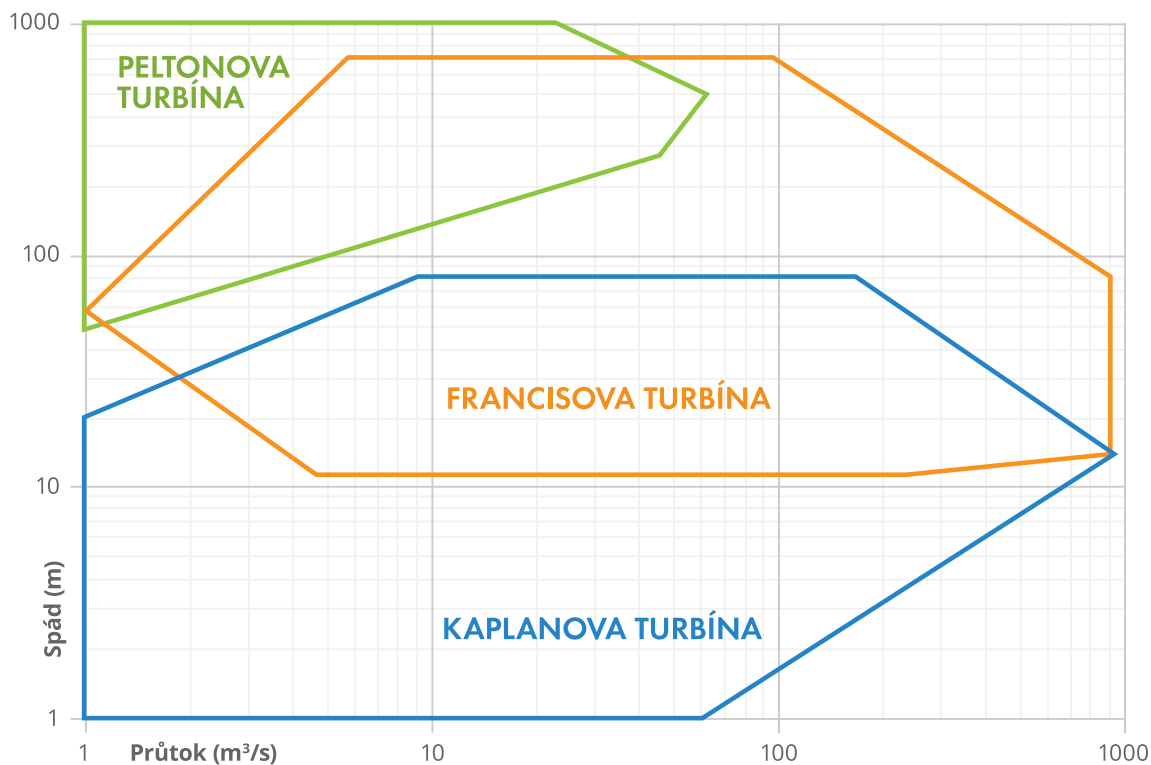
Obr. 3.5 Bánkiho turbína³³

Rovnotlaká turbína, která konstrukcí připomíná vodní kolo. Liší se od něj však tím, že voda jejími lopatkami protéká dvakrát a předá tím více energie. Dosahuje nižší účinnosti, avšak i přesto se díky své jednoduchosti a nižší ceně jeví ekonomicky výhodná pro některé MVE.

Tyto tři typy turbín umožňují pokrýt téměř jakýkoliv tok.

³³ Ossberger Hydro: Ossberger Cross Flow Turbines. *Ossberger Hydro* [online]. 2020 [cit. 2023-01-07].

Dostupné z: www.ossbergerhydro.com/cross-flow-turbines.html



Obr. 3.6 Grafické zjednodušení parametrů výběru turbíny³⁴

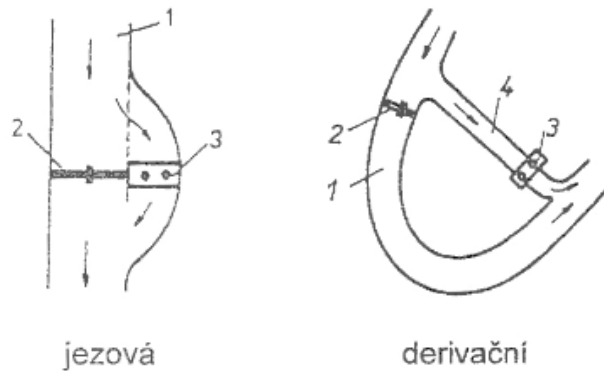
3.3.3 Průtočné vodní elektrárny

Tento typ elektráren využívá přirozeného průtoku řeky. Pokud je průtok příliš velký, tak je energie přebytečné vody nevyužita. Tento druh elektráren není, z důvodu absence akumulční nádrže, schopen akumulovat energii a používá se tedy jako zdroj v základním zatížení.

Rozdělit je lze podle způsobu vytvoření převýšení. Existují dvě varianty

- Jezová
 - Tento typ využívá přehrazení koryta řeky pomocí jezu s přepadem.
- Derivační
 - Vytvořením derivačního kanálu, který obvykle funguje jako zkratka.

³⁴ Vzdělávací portál ČEZ: Kaplanova turbína. *Svět energie*: [online]. [cit. 2023-01-07].



Obr. 3.7 Možnosti provedení průtočné vodní elektrárny³⁵

1 – koryto vodního toku, 2 – vzdouvací zařízení, 3 – strojovna, 4 – derivační přivaděč

Tento typ elektráren obvykle dosahuje malých výkonů. Jediná průtočná VE s instalovaným výkonem nad 10MW v ČR je VE Střekov s výkonem 19,5 MW a roční výrobou 96 GWh.³⁶

3.3.4 Akumulační vodní elektrárny

Akumulační elektrárny jsou, na rozdíl od elektráren průtočných, schopny dočasně dodávat výkon vyšší než umožňuje vodní tok, na kterém jsou umístěny. Vzhledem ke svým možnostem akumulace jsou využívány i jako ochrana proti povodním a k regulaci toku řek.

Příkladem tohoto typu elektrárny je elektrárna Slapy, která disponuje výkonem 3x48 MW. Tato elektrárna je ovládána z centrálního dispečinku ve Štěchovicích a od obdržení povelu je schopna najet na plný výkon během 136 s. Díky možnosti akumulace umožňující regulaci výkonu je schopna pokrývat pološpičkové zatížení.

Akumulačních VE s instalovaným výkonem nad 10 MW je v současnosti 7.³⁷

Liší se především instalovaným výkonem a dobou, za kterou najedou na plný výkon (FAT).

³⁵ STUDENÍK, Jiří a Michal SVITAVSKÝ. *Energie větru, vody, biomasy*. Code Creator. ISBN 978-80-88058-08-3.

³⁶ Stejný zdroj jako zdroj číslo 34

³⁷ VOBOŘIL, David. *Vodní elektrárny - princip, rozdělení, elektrárny v ČR* [online]. [cit. 2023-01-07].

Dostupné z: oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni

Zde je přehled akumulčních elektráren spolu s jejich dobou plné aktivace (FAT): ³⁸

Elektrárna	Typ	Doba plné aktivace [s]	Turbína	Celkový instalovaný výkon [MW]
Orlík	Akumulační	128	Kaplanova	364
Slapy	Akumulační	136	Kaplanova	144
Lipno I	Akumulační	150	Francisova	120
Kamýk	Akumulační	120	Kaplanova	40
Štěchovice I	Akumulační		Kaplanova	22.50
Vrané	Akumulační		Kaplanova	13.88
Vranov	Akumulační		Francisova	18.9

Tab. 3.1 Přehled akumulčních VE

S výkonem 10 MW rovných³⁹, avšak splňující definici MVE, je VN Nechanice.

Na obrázku je VE Slapy, která je součástí Vltavské kaskády pomáhající chránit před povodněmi a instalovaným výkonem 144 MW.

Nevýhoda těchto elektráren spočívá v zaplavení velké oblasti. I to je jedním z důvodů proč se dnes velké vodní elektrárny příliš nestaví.

³⁸ *Enviweb: Kamýk stříhá metr do konce modernizace. Celá elektrárna bude spolehlivější a ekologičtější* [online]. 2.10.2020 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.enviweb.cz/117349

³⁹ *Povodí Ohře: Vodní dílo Nechanice* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: www.poh.cz/vodni-dilo-nechanice/d-2598



Obr. 3.8 VE Slapy⁴⁰

3.3.5 Přečerpávací vodní elektrárny

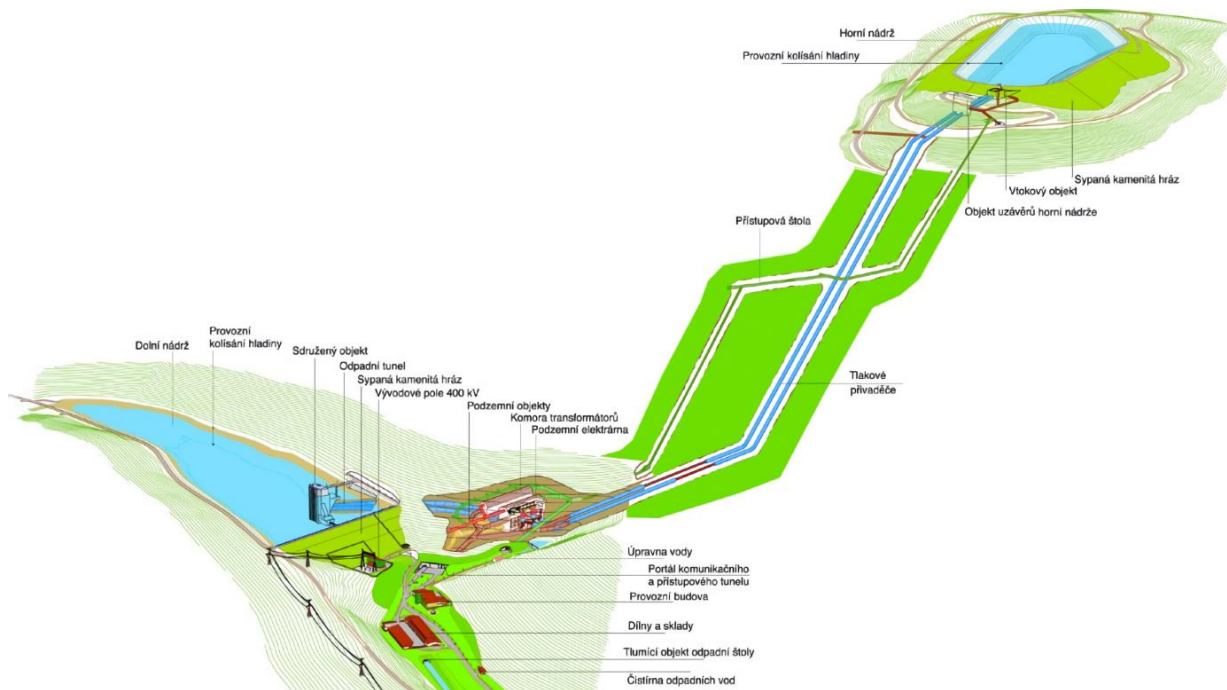
Přečerpávací vodní elektrárny se od ostatních VE se liší primárně funkcí, technologickým a stavebním uspořádáním a především hlavním zdrojem příjmů. Funkce PVE spočívá v ukládání tak, že elektrickou energii přemění v energii potenciální. PVE využívají jako úložné médium vodu.

Tyto elektrárny mohou, navzdory svému názvu, mít celkově zápornou bilanci elektrické energie. Tento deficit je daný ztrátami vznikajícími přeměnou typu energie. Akumulovanou energii jsou schopny vrátit do sítě s účinností okolo 80 %.⁴¹ I z tohoto důvodu jsou PVE nejpoužívanějším úložištěm energie pro energetické účely.

⁴⁰ ČEZ: Vodní elektrárna Slapy. ČEZ, a. s. [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/obnovitelne-zdroje/voda/vodni-elektrarny/ceska-republika/vodni-elektrarna-slapy-58142

⁴¹ EIA: About 25% of U.S. power plants can start up within an hour [online]. U.S. Energy Information Administration [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=45956

Ze stavebního hlediska je PVE zdroj umístěný na soustavě dvou vodních nádrží, mezi kterými je spád. Tyto vodní nádrže jsou propojeny potrubím, na jehož spodním konci je umístěno turbínové soustrojí. Toto soustrojí umožní jak čerpadlový chod, při kterém se čerpá voda z dolní nádrže do nádrže horní, tak turbínový chod, při kterém se pouští voda z horní nádrže do nádrže spodní. Tato horní nádrž může mít i vlastní přirozené přítoky.



Obr. 3.9 Schéma PVE ⁴²

3.3.6 Současný stav PVE v ČR

V současnosti je v ČR několik přečerpávacích vodních elektráren, z toho však jen 3 aktuálně v komerčním provozu. ^{43 44} Další PVE, které jsou však buď pozůstatky (omezení čerpadlového provozu) či pilotní projekty, jsou projekt PVE v dole Jeremenko, PVE Černé jezero či PVE Pastviny.

⁴² BUDÍN, Jan. Přečerpávací vodní elektrárna - princip a uspořádání. *O energetice* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: oenergetice.cz/typy-elektren/precerpavaci-vodni-elektarna-princip-usporadani-2

⁴³ TZB-info: V podzemí bývalého dolu v Ostravě vznikla přečerpávací elektrárna [online]. 18.7.2015 [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: [Dostupné z: https://oze.tzb-info.cz/117277-v-podzemi-byvaleho-dolu-v-ostrove-vznikla-precerpavaci-elektarna](https://oze.tzb-info.cz/117277-v-podzemi-byvaleho-dolu-v-ostrove-vznikla-precerpavaci-elektarna)

⁴⁴ ČEZ: Malá vodní elektrárna Černé jezero. ČEZ [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/obnovitelne-zdroje/voda/vodni-elektarny/ceska-republika/cerne-jezero-58157

- Dlouhé Stráně

Instalovaný výkon PVE Dlouhé Stráně je 650 MW (v čerpadlovém režimu 624 MW) rovnoměrně rozdělený mezi 2 soustrojí, jež jsou vybaveny reverzními Francisovými turbínami. Zajímavostí je, že tyto turbíny jsou největší reverzní turbíny v Evropě⁴⁵.

Díky umístění v Jeseníkách je převýšení hladin okolo 530 m a objem horní nádrže 2,72 mil. m³. Maximální kapacita uložené energie je 3,7 GWh, což při maximálním produkovaném výkonu vydá na zhruba 5 hodin provozu.⁴⁶

Rychlost náběhu z klidového stavu je 100 s do turbínového režimu a 400 s do čerpacího režimu.

Elektrárna má vyvedení do rozvodny Krasíkov, která je součástí přenosové soustavy. Toto umožňuje elektrárně poskytovat některé dodatečné podpůrné služby, například start ze tmy.

- Dalešice

PVE Dalešice je umístěna poblíž JE Dukovany. Byla dostavěna 7 let před dokončením JE. PVE slouží i k zásobování JE Dukovany technologickou vodou.

Instalovaný výkon PVE je 480 MW (435 MW v čerpadlovém režimu) rovnoměrně rozdělený mezi 4 soustrojí, která jsou vybavena reverzními Francisovými turbínami. Převýšení hladin se pohybuje mezi 60 a 91 metry.

Rychlost náběhu z klidového stavu je 55 s do turbínového provozu.

- Štěchovice II

PVE Štěchovice II, nacházející se proti proudu Vltavy od Prahy, využívá zázemí již existující VE Štěchovice I. Disponuje instalovaným výkonem 45 MW (39 MW v čerpadlovém režimu)

⁴⁵ *Ekonomický deník: Největší přečerpávací elektrárna Dlouhé Stráně projde modernizací. ČEZ zainvestuje přes 60 milionů* [online]. 23.6.2022 [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://ekonomickydenik.cz/nejvetsi-precerpavaci-elektrarna-dlouhe-strane-projde-modernizaci-cez-zainvestuje-pres-60-milionu/>

⁴⁶ VOBOŘIL, Jan. Přečerpávací vodní elektrárny v České republice. *O energetice* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/precerpavaci-vodni-elektrany-v-ceske-republice>

na který dokáže naběhnout za 100 s (250 s do čerpadlového režimu). Zajímavostí této PVE je to, že je jediná PVE v ČR vyvedená přímo do přenosové soustavy.⁴⁷

Z uvedených údajů lze vypočítat to, že všechny současné PVE jsou schopny akumulovat alespoň takové množství energie, ze které jsou schopny vydávat maximální výkon po dobu 4 hodin. Tato skutečnost a její důvod bude diskutována v dalších kapitolách.

3.3.7 Technologické zpracování

U PVE je možné použít dvoustrojové či třístrojové uspořádání. V posledních letech se na území ČR užívá výhradně uspořádání dvoustrojové⁴⁸, při kterém funkci čerpadla převezme reverzní Francisova turbína.

Třístrojové uspořádání bylo použito například v bývalé PVE Černý Mlýn, která však byla přestavěna v 60. letech. Od této přestavby se již neprovozuje v čerpadlovém režimu.⁴⁹

Stroj přeměňující točivou energii na energii elektrickou bývá v případě velkých vodních a paroplynových elektráren stroj synchronní. Důvodem je schopnost regulace jalového výkonu do elektrické sítě. Například JE Temelín používá dvoupólový synchronní generátor o maximálním možném výkonu 1125 MWe.

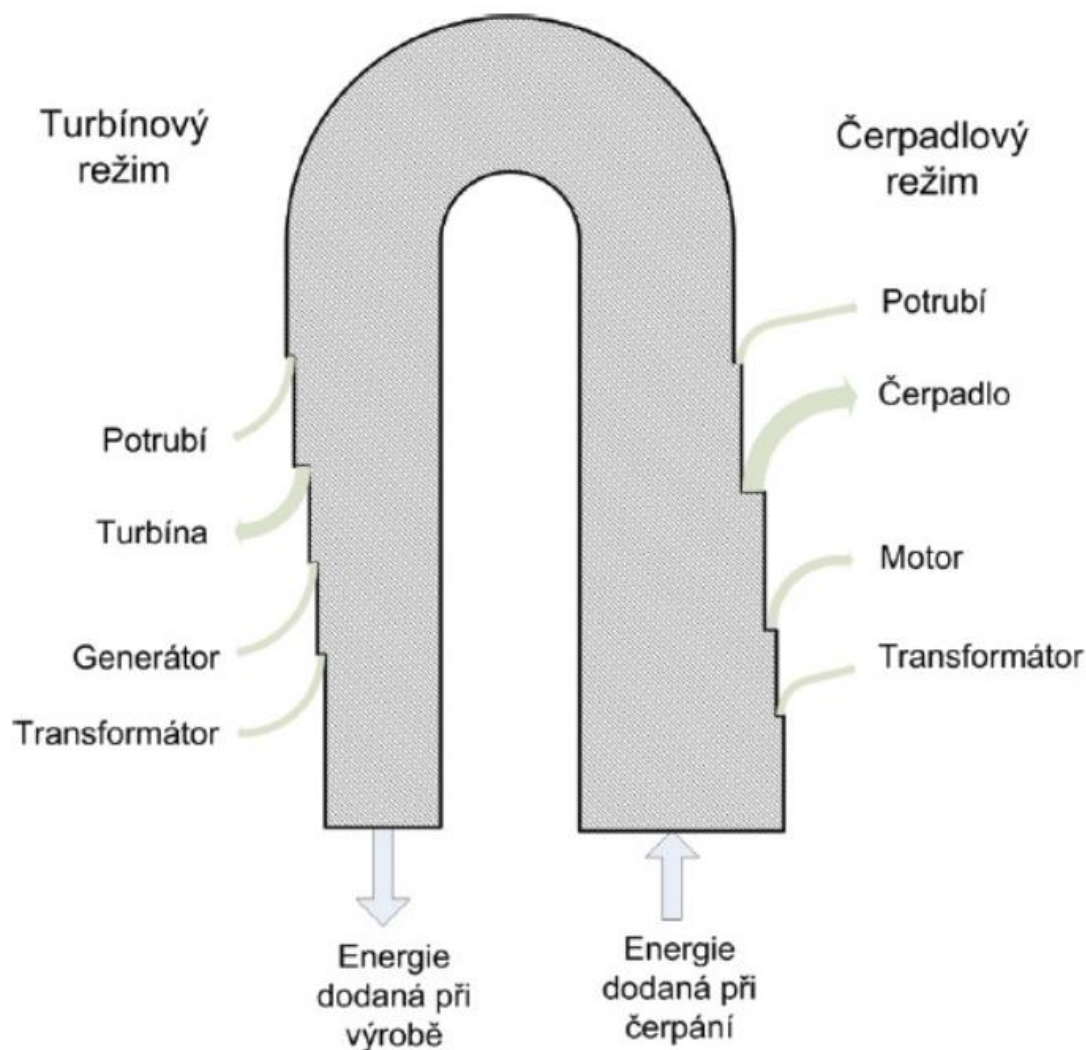
⁴⁷ ERÚ: Roční zpráva provozu elektrizační soustavy. *Energetický regulační úřad* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/sites/default/files/obsah/prilohy/rocnizpravaprovozes2010.pdf>

⁴⁸ MASTNÝ, Petr, Jirí 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.

⁴⁹ *Industry Open: Přecherčpávací vodní elektrárna Černé jezero* [online]. Plzeň [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: https://industryopen.cz/mista/precerpavaci-vodni-elektrarna-cerne-jezero/?doing_wp_cron=1670802740.9987659454345703125000

3.3.8 Účinnosti, Ztráty a jejich příčiny

Přečerpávací vodní elektrárny dosahují celkové účinnosti cyklu (RTE) 75-80 %⁵⁰. Ztráty jsou způsobené účinností jednotlivých částí PVE a to především čerpadlem/turbínou (80,15 %), hydroalternátorem (95,6 %) a potrubím (94,7 %).⁵¹



Obr. 3.10 Znázornění ztrát v PVE⁵²

⁵⁰ BUDÍN, Jan. Přečerpávací vodní elektrárna - princip a uspořádání. *O energetice* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: oenergetice.cz/typy-elektraren/precerpavaci-vodni-elektrarna-princip-usporadani-2

⁵¹ Č.Štoll, S.Kratochvil, M.Holata Využití vodní energie. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1977. . DT 621.22.

⁵² PORTUŽÁK, Roman. Přečerpávací vodní elektrárny. *DocPlayer.cz* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/12765909-Precerpavaci-vodni-elektrarny-roman-portuzak.html>, upraveno

Z důvodu minimalizace ztrát a nákladů stavby je tedy jedním z kritérií výběru lokace PVE právě délka potrubí.

3.4 Alternativy uložení energie

PVE nejsou jediným zařízením schopným akumulace energie. Těto úlohy jsou schopny i jiné technologie využívající jiné metody ukládání energie.

3.4.1 Bateriové úložiště

Bateriové úložiště (BESS) nejsou, z důvodu ceny na jednotku uložené energie, zatím příliš používána. Jejich výhoda je však ve velmi rychlém nasazení (řádově vteřiny) a vysoké účinnosti (87 %).⁵³ Takovéto bateriové systémy se využívají v západních zemích jako je Německo či Spojené království k primární regulaci napětí (FCR) nebo na zajištění dodávek elektřiny pro velké spotřebitele, včetně oceláren. Cena za jednotku uložené energie však díky pokroku technologie dlouhodobě klesá a v Číně je v provozu průtočná baterie s kapacitou 400 MWh.⁵⁴

V České republice je, díky historickému vývoji, trh s primární regulací převážně záležitostí tepelných elektráren. Avšak z důvodu nedostatku likvidity SVR bylo umožněno bateriovým systémům poskytování SVR.⁵⁵

3.4.2 Chemické úložiště

Chemickým úložištěm se rozumí zařízení využívané pro využití nadbytečné množství elektrické energie k přeměnu nějaké látky v médium, pro které máme technologický aparát

⁵³ E.ON: *Dotační projekt - Mydlovary* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/mydlovary/>

⁵⁴ V Číně funguje rekordní baterie: 400 MWh bez špetky lithia. *Technický týdeník* [online]. Business Media CZ [cit. 2023-01-07]. *Technický týdeník: V Číně funguje rekordní baterie: 400 MWh bez špetky lithia* [online]. Business Media CZ, 20.11.2022 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.technickytydenik.cz/rubriky/energetika-teplo/v-cine-funguje-rekordni-baterie-400-mwh-bez-spetky-lithia_57018.html

⁵⁵ BUDÍN, Jan. ČEPS vyslyšela volání trhu a zavádí pro baterie možnost samostatného poskytování podpůrných služeb. *O energetice* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/energetika-v-cr/ceps-vyslyšela-volani-trhu-zavadi-baterie-moznost-samostatneho-poskytovani-podpurnych-sluzeb>

převodu zpět na elektřinu. Tento typ úložišť však dosahuje velmi malé účinnosti 30 %⁵⁶ a tudíž se upřednostňují PVE. „Avšak když se plynové úložiště využije k ukládání energie tak se stane mnohem méně výhodným, než PVE. Z velké části kvůli nízké účinnosti cyklu. Přesto však by mohly být tyto úložiště alternativou v regionech bez možnosti výstavby PVE.“⁵⁷

Perspektivně se do budoucnosti jeví vodíkové úložiště, jehož ukládané médium lze buď převést zpět na elektřinu či potenciálně použít jako náhradu fosilních paliv v kombinaci s vodíkovými auty.^{58 59}

3.4.3 Kinetické úložiště

Množství naakumulované energie v kinetickém setrvačnicku je, v porovnání s ostatními technologiemi, velmi malé. Setrvačnický jsou však schopny velmi rychlé reakce. Tyto úložiště jsou tedy využívány především pro zkvalitnění průběhu napětí v síti.

⁵⁶ HARMEN SYTZE, de Boer, Lukas GROND, Henk MOLL a René BENDERS. *The application of power-to-gas, pumped hydro storage and compressed air energy storage in an electricity system at different wind power penetration levels* [online]. 2014 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544214006136>. ISSN 0360-5442.

⁵⁷ CLOETE, Schalk, Oliver RUHNAU a Lion HIRTH. On capital utilization in the hydrogen economy: The quest to minimize idle capacity in renewables-rich energy systems. *International Journal of Hydrogen Energy* [online]. **2021**(46), 169-188 [cit. 2023-01-07]. ISSN 0360-3199. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319920336673>, přeloženo

⁵⁸ *Toyota: Toyota Mirai Vše, co potřebujete vědět o našem novém modelu na vodík* [online]. Toyota Central Europe - Czech [cit. 2022-02-06]. Dostupné z: <https://www.toyota.cz/world-of-toyota/news/new-toyota-mirai>

⁵⁹ *Nuclear Power: Electrochemical Energy Storage – Battery Storage Power Station* [online]. [cit. 2022-02-06]. Dostupné z: <https://www.nuclear-power.com/energy-conversion-and-storage-efficiency/electrochemical-energy-storage-battery-storage-power-station/>

4 Systémové služby

Primárním zdrojem příjmů PVE není obchodování s elektřinou na volném trhu, které by vytvářelo zisk rozdílem cen elektřiny v době nákupu a prodeje. Mnohem jistější a cenově stálejší zdroj příjmů je poskytování systémových služeb (SyS). Tyto služby se dělí na⁶⁰

Služby zaměřené na udržování kvality elektřiny:

- Udržování souhrnných rezervovaných záloh pro proces automatické regulace frekvence.
- Automaticky ovládaný proces obnovení frekvence a výkonové rovnováhy.
- Ručně ovládaný proces obnovení frekvence a výkonové rovnováhy.
- Sekundární regulace napětí.
- Terciární regulace napětí.
- Zajištění kvality napěťové sinusovky.
- Zajištění stability přenosu.

Služby zaměřené na udržování výkonové rovnováhy

- Automaticky ovládaným procesem obnovení frekvence a výkonové rovnováhy.
- Ručně ovládaným procesem obnovení frekvence a výkonové rovnováhy.
- Snížením výkonu.

Služby zaměřené na obnovení provozu

- Plán obnovy
- Schopnost startu ze tmy
- Schopnost ostrovního provozu

Dispečerské řízení

- Zajišťování bezpečnosti provozu prostřednictvím plánu obrany a provozních instrukcí.
- Řízení propustnosti sítě (toků činných výkonů) pomocí zapojení sítě, redispečinku, protiobchodu.

⁶⁰ ČEPS: Systémové služby. *ČEPS, a.s.* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.ceps.cz/cs/systemove-sluzby

Systémové služby jsou soubor doporučení a povinností, které by měl provozovatel přenosové soustavy plnit.

Tyto služby je však potřeba něčím zajistit. K tomuto plnění se využívají podpůrné služby.

4.1 Podpůrné služby

Podpůrné služby (PpS) jsou ty prostředky, které slouží k plnění systémových služeb. Tyto služby jsou nabízeny fyzickými či právníckými osobami⁶¹ provozovateli přenosové soustavy, který je používá k zajištění SyS.

4.1.1 Služby výkonové rovnováhy

Služby výkonové rovnováhy (SVR) slouží k vyvažování výkonové bilance. Cílem je vyvažováním výkonové bilance regulovat frekvenci. SVR se dělí podle rychlosti náběhu, schopnosti samoregulace a především ceny.

4.1.1.1 Proces automatické regulace frekvence

Proces automatické regulace frekvence (FCR) je služba, jejímž účelem je zajistit vyrovnání drobných výkyvů frekvence.

- FCR jsou lokální automatickou funkcí, spočívající v přesně definované změně výkonu jednotky v závislosti na odchylce frekvence od zadané hodnoty. Změna výkonu jednotky je určena pomocí proporcionálního regulátoru.
- FCR je záloha symetrická. Záloha je obstarávána jako kladná a záporná současně.
 - Kvůli této vlastnosti není v případě FCR hrazena regulační energie (RE). Jediná platba, kterou poskytovatel obdrží, je za rezervovaný výkon. Do této platby tedy musí zohlednit i náklady spojené s poskytováním této služby.
 - *“Vzhledem k charakteru zálohy FCR, jejíž výkon osciluje podle aktuální odchylky frekvence kolem bazového bodu, se RE v rámci poskytování FCR nevyhodnocuje.”*⁶²

⁶¹ ČEPS: Podpůrné služby. ČEPS, a.s. [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.ceps.cz/cs/podpurne-sluzby

⁶² ČEPS: Kodex přenosové soustavy: Část II [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/kodex-ps>

- Minimální množství poskytovaného FCR na jedné jednotce: 1 MW
- Maximální množství poskytovaného FCR na jedné jednotce: 10 MW
 - Důvodem horního omezení výkonu je omezení vlivu možných výpadků jednotek
- Poskytovatel služby musí při aktivaci splnit požadavky dané náběhovou křivkou.
 - Uvolnění 50 % rezervované velikosti FCR do 15 s od vzniku odchylky frekvence.
 - Uvolnění 100 % rezervované velikosti FCR do 30 s od vzniku odchylky frekvence.

Základní hodnota pásma necitlivosti frekvence korektoru musí být na jednotce poskytující FCR nastavena na 0 mHz. Reakce musí nastat do 2 s od vzniku odchylky frekvence a výše reakce je dána nastavenou hodnotou statiky.

Maximální rezervovaná velikost FCR je uvolňována při odchylce kmitočtu o 200 mHz.

Objem FCR je stanovován pro celou synchronně propojenou ES a suma rozdělena mezi jednotlivé PPS v závislosti na součtu čisté výroby a spotřeby. Celkem na kontinentální Evropu připadá 3000 MW v kladném a 3000 MW v záporném směru.⁶³

Pro ČEPS, jakožto provozovatele české elektrizační soustavy s maximálním přenášeným výkonem soustavy okolo 13 GWh, vychází objem FCR 76 MW.

Z vlastností PVE, doby jejího náběhu, který se pohybuje v rámci minut, a omezené kapacity akumulované energie lze vyloučit poskytování FCR. Tato služba je obstarávána převážně uhelnými zdroji.

4.1.1.2 Regulační zálohy výkonové rovnováhy

Na rozdíl od FCR, jejíž funkce je vyrovnávání krátkodobých odchylek, jsou zálohy pro regulaci frekvence (FRR) užívány k vyrovnávání déle trvajících odchylek energie. Tyto služby se kromě rychlosti náběhu liší i disponovanými objemy, cenou a platbou za dodanou RE.

⁶³ Commission Regulation (EU) 2017/1485 of 2 August 2017 establishing a guideline on electricity transmission system operation [2017] OJ L220/, 25.8.2017

FRR lze rozdělit podle typu produktu na

- Standardní produkty
 - Tyto produkty jsou sjednoceny v rámci kontinentální Evropy. Lze je tedy nabízet a nakupovat na společném trhu.
 - aFRR (platforma PICASO)
 - mFRR (platforma MARI)
- Specifické produkty
 - Tyto produkty jsou specifické pro český trh. Poskytování zahraničním TSO je mnohem složitější než u standardních produktů.
 - mFRR₅

4.1.1.2.1 Stanovení objemu regulačních záloh pro regulaci frekvence

Celkový objem FRR se stanovuje podle dvou pravidel.

- kladný i záporný objem FRR byl dostatečný pro pokrytí kladné i záporné odchylky nejméně v 99 % času.

Z tohoto prvního požadavku vyplývají výše záloh v kladném směru 350 MW a ve směru záporném 350 MW.

Druhé pravidlo pro určování objemu, nazýváno pravidlem N-1, říká:

- Objemy FRR však nesmí být nižší než největší kladná či záporná dimenzovací událost (koncept N-1).

Toto druhé pravidlo silně ovlivní výši záloh v kladném směru. Největší zápornou odchylkou je v ES ČR JE Temelín (1086 MW). Po zahrnutí obou pravidel jsou objemy následující:

- V kladném směru 1086 MW
- V záporném směru 350 MW

4.1.1.3 Zálohy výkonové rovnováhy s automatickou aktivací

Zálohy výkonové rovnováhy s automatickou aktivací (aFRR) se, spolu s mFRR, využívají na pokrytí dlouhodobých odchylek v denním zatížení. Míra využití aFRR je dána algoritmem regulátoru dispečinku ČEPS, zatímco mFRR jsou aktivována povellem dispečera.⁶⁴

Zařízení poskytující tuto službu musí, podobně jako FCR, splnit minimální rychlost náběhu do plného výkonu. Zajímavostí je, že aFRR nemá minimální dobu mezi deaktivací a následnou aktivací.

Jedním ze specifik aFRR je však nepřetržitá možnost aktivace podmíněná dostupností regulační energie⁶⁵. Z tohoto důvodu není poskytování těchto služeb vhodné pro PVE. Tuto službu téměř kompletně zajišťují uhelné elektrárny (80% záporné regulace SVR a cca 50 % kladné regulace SVR)⁶⁶

4.1.1.3.1 Objem služby výkonové zálohy s automatickou aktivací

Objem aFRR se stanovuje podle vzorce rozdílu mezi minutovými a 15minutovými průběhy regulační odchylky.

Podle části II kodexu PS⁶⁷ lze alternativně využít empirický vztah, který bere v potaz maximální očekávané zatížení roku.

V současné době musí ČEPS nakoupit přibližně 175 MW záloh aFRR.

4.1.1.3.2 Zálohy výkonové rovnováhy s manuální aktivací

Zálohy výkonové rovnováhy, mFRR_t jsou manuálně ovládané zálohy SVR. Parametr *t* může nabývat hodnot *t* = 5 minut a *t* = 12.5 minuty. Hodnota tohoto parametru určuje dobu plného náběhu služeb⁶⁸. Doba náběhu však není to jediné, čím se tyto služby liší.

⁶⁴ ČEPS: *Kodex přenosové soustavy II* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/kodex-ps>

⁶⁵ Stejný zdroj jako u zdroje 64

⁶⁶ RYGL, Sebastian. *Analýza dopadů změny řízení sekundární regulace - aFRR*. Praha, 2020. Diplomová práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. Vedoucí práce Jiří Salavec.

⁶⁷ ČEPS: *Kodex přenosové soustavy II* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/kodex-ps>

⁶⁸ Stejný zdroj jako u zdroje číslo 66

Tabulka vybraných vlastností služeb mFRR.

	mFRR ₅	mFRR _{12.5} (dříve mFRR ₁₅)
Doba náběhu [min]	5	12.5
Maximální doba aktivace za jeden obchodní den [hod]	4	Neomezeno
Minimální velikost mFRR poskytovaná na jedné jednotce [MW]	1	1
Maximální velikost mFRR poskytovaná na jedné jednotce [MW]	Neomezeno	70

Tab. 4.1 Přehled rozdílů mezi službami mFRR_i

Lze si, z pohledu PVE, povšimnout zajímavé vlastnosti mFRR₅. Při aktivaci pouhé 4 hodiny denně je služba považována za poskytovanou celý den. Díky této vlastnosti se pro PVE jeví poskytování mFRR₅ jako nejvhodnější ze všech služeb SVR.

Vzhledem k tomu, že je doba maximální aktivace 4 hodiny, je teoreticky možné, aby dispečer vydal příkazy k aktivaci v den n , v čase 21:00 a poté v den $n + 1$, v čase 00:00. Toto by vyústilo v aktivační dobu delší než 4 hodiny. Takovéto chování ze strany provozovatele PS se však nevyskytuje⁶⁹.

4.1.1.3.3 Objem služby výkonové zálohy s manuální aktivací

Objem mFRR se určuje podle cen a dostupnosti aFRR. Cílem existence této služby je poskytovat levnější alternativu aFRR. Objem FRR, 1086 MW v kladném směru a 350 MW ve směru záporném, musí být pokryt objemem aFRR a mFRR⁷⁰.

⁶⁹ ŠTĚPÁN, Strial, senior specialista Zajišťování systémových služeb, Ústní sdělení 13.12.2022 11:00, přednáška předmětu Management energetických soustav

⁷⁰ ČEPS: Kodex přenosové soustavy II [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/kodex-ps>

4.1.2 Nefrekvenční podpůrné služby

Nefrekvenční PpS jsou PpS, které nejsou považovány za SVR. Mezi tyto služby patří například

- Sekundární regulace U/Q

Tato regulace je převážně zajišťována změnou buzení synchronního generátoru v rozmezí $\cos(\phi) = 0.85$ (přebuzení) až $\cos(\phi) = 0.95$ (podbuzení).

V případě nedostatku tohoto rychle reagujícího způsobu lze využít i nevýrobních kompenzačních zařízení, tlumivek.

- Ostrovní provoz

Do ostrovního provozu blok přechází při odchylce frekvence o více než 200 mHz od 50 Hz. Jelikož nelze v ostrovním provozu spoléhat na vyhlazení křivky poptávky v důsledku statistiky je u těchto bloků vyžadována vysoká schopnost regulace.

- Start ze tmy

„Tuto podpůrnou službu mohou poskytovat provozovatelé vybraných bloků připojených do PS, schopných startu ze tmy a významných pro obnovu PS a splňující podmínky Kodexu PS.“

4.2 Příjmy z poskytování PpS

4.2.1 Platby za SVR

Platby za podpůrné služby provozovatelům zařízení se dělí do dvou kategorií.

- Platba za poskytování záloh SVR. Jednotka [Kč MW⁻¹.h⁻¹]

Platba za tuto část je součástí smlouvy. Uvažují se pouze skutečně rezervované zálohy SVR na základě odsouhlasených pravidel. Výše platby se odvíjí od rezervovaného výkonu.

- Platba za regulační energii (RE). Jednotka [Kč MW⁻¹ h⁻¹]dodaného výkonu.

Platba se odvíjí od počtu a délce trvání aktivace RE. Cena za dodanou RE bývá stanovena zvlášť pro kladnou a zvlášť pro zápornou dodávku.⁷¹

⁷¹ ČEPS: *Kodex přenosové soustavy II* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/kodex-ps>

Poskytovala-li jednotka SVR a byla-li aktivována, vyhodnotí ČEPS následující den velikost dodané RE a spolu s její přiřazenou cenou předá údaje ke zpracování OTE. OTE může vyhodnotit subjekty, které odchylku způsobily a načítovat jim náklady na její pokrytí⁷². Zároveň tyto předané údaje zveřejní poskytovatelům v obchodním portálu k námitkám a reklamacím. ČEPS si může vyžádat od poskytovatele podkladová data.

4.2.2 Penále

V případě vyhodnocení dodávky RE za nedodanou se platba za poskytování záloh SVR za daný měsíc snižuje za každou neúspěšnou aktivaci. Za neúspěšnou aktivaci se považuje i nedodržení kvalitativních parametrů. V případě vícenásobného selhání aktivace/aktivací je finanční odměna snižována nejvýše jednou denně, a to podle té penalizace, která má nejvyšší dopad na poskytovatele.

- V případě mFRR a mFRR₅ o 10 % měsíční platby SVR za neúspěšnou aktivaci
- V případě aFRR o 0,4 % měsíční platby SVR za neúspěšnou aktivaci

V případech opakovaných a častých neposkytnutích záloh SVR může ČEPS vyzvat poskytovatele k nápravě a může jeho jednotku, i navzdory platným certifikátům, považovat za technicky nezpůsobilou poskytovat danou SVR.⁷³

4.3 Dodatečné podmínky pro poskytovatele SVR s omezenými zásobníky energie

Každý poskytovatel SVR, jehož jednotka disponuje omezeným zásobníkem energie (například bateriové úložiště), musí zajistit, aby byla služba SVR během normálního stavu nepřetržitě dostupná.

Též musí takovýto poskytovatel samostatně certifikované jednotky, jako nedílnou součást certifikace, doložit nabíjecí strategii a omezení zásobníku energie.

⁷² ŠTĚPÁN, Strial, senior specialista Zajišťování systémových služeb, Ústní sdělení 13.12.2022 11:00, přednáška předmětu Management energetických soustav

⁷³ ČEPS: *Kodex přenosové soustavy II* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/kodex-ps>

Výjimku tvoří případ, kdy je zařízení poskytující SVR součástí agregačního bloku schopném nepřetržitě nabíjet BSAE či umožnit čerpadlový provoz PVE. V takovém případě není třeba dokládat nabíjecí strategii⁷⁴.

4.3.1.1 Nabíjecí strategie

Nabíjecí strategie musí zajistit možnost plnohodnotného nepřetržitého poskytování SVR v normálním stavu. Nabíjecí strategii posuzuje ČEPS. Strategie je dodána ČEPS minimálně 1 měsíc před certifikací jednotky. Pokud shledá ČEPS nabíjecí strategii jako nedostatečnou je oprávněna, neuznávat certifikáty SVR.⁷⁵

Nabíjecí strategie může být zajištěna různými způsoby, avšak poskytovatel SVR na jednotkách s omezenými zásobníky energie musí projít certifikačním měřením prokazujícím, že jeho jednotka je dimenzována dostatečně na zajištění možnosti plnohodnotného nepřetržitého SVR.

ČEPS je ochotná poskytnout, na žádost žadatele o certifikaci, základní informace o zamítnutých variantách nabíjecích strategií.⁷⁶

V případě, že se nabíjecí strategie zajistí pomocí agregačního bloku, je třeba dbát zřetel na zajištění koordinace rampování změn výkonu.

4.4 Nákup SVR

V minulosti se rezervovaný výkon SVR nakupoval primárně skrze výběrové řízení na 3 roky dopředu. Dokup se realizoval v rámci ročních výběrových řízení a zbývající objem se pokryl nákupem na DT. Poté však vešlo v platnost nařízení EU 2019/943 nařizující nakupovat veškerý objem regulačních záloh na DT. Toto nařízení však umožnilo jednotlivým regulačním orgánům (v ČR je tímto orgánem ERU) udělení výjimek. Společnosti ČEPS byla tato výjimka udělena v omezeném rozsahu. Od 1. 1. 2022 do 31. 3. 2022 mu byla udělena výjimka v rozsahu 70 %

⁷⁴ ČEPS: *Kodex přenosové soustavy II* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/kodex-ps>

⁷⁵ Stejný zdroj jako zdroj číslo 74

⁷⁶ ČEPS, *Kodex přenosové soustavy: Část II* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/kodex-ps>

celkového objemu regulační zálohy, avšak od 1. 4. 2022 do 31. 12. 2022 byl rozsah této výjimky snížen na 60 %⁷⁷.

Samotný nákup probíhá ve dvoukolovém procesu, přičemž druhé kolo se nemusí konat, je-li poptávka ČEPS uspokojena již v prvním kole. Při neuspokojení poptávky v obou kolech nastává přímé oslovení poskytovatelů.⁷⁸

4.5 Odhad vývoje cen podpůrných služeb

Z odůvodnění žádosti o výjimku z nařízení EU 2019/943⁷⁹ je uvedeno, že cena SVR se odvíjí od cen silové elektřiny. Avšak korelace s cenami silové elektřiny není jednoduchá.

Při vysoké ceně silové elektřiny je důvodem poklesu nabídky SVR větší motivace poskytovatelů provozovat zařízení v plném rozsahu, zatímco při nízké ceně silové elektřiny jsou, z ekonomických důvodů, zařízení odstavována úplně.

Odůvodnění žádosti o výjimku dále uvádí: „...převís nabízeného objemu nad poptávaným množstvím je poměrně nízký. V druhém čtvrtletí roku je patrné, že ČEPS ve více než dvaceti dnech nakupuje objem SVR převyšující 90 % objemu nabízeného poskytovateli...“.⁸⁰

„ČEPS v mimořádně rizikových situacích využívá i záložní principy zajištění bezpečnosti, jejichž charakter, již ovšem není tržní ... Jedná se o přímé oslovení poskytovatelů ... a v případě mimořádné situace je ČEPS připravena přistoupit i k vynucení provozu v souladu s platnou

⁷⁷ ERÚ: Odůvodnění žádosti o výjimku podle čl. 6 odst. 9 nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/943 ze dne 5. června 2019 o vnitřním trhu s elektřinou. *Energetický regulační úřad* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: [www.eru.cz/sites/default/files/import_files/Priloha_2_Oduvodneni_zadosti_verze_s_vyznaceny_m_obc_tajemstv_im_%C4%8DI.%206\(9\).pdf](http://www.eru.cz/sites/default/files/import_files/Priloha_2_Oduvodneni_zadosti_verze_s_vyznaceny_m_obc_tajemstv_im_%C4%8DI.%206(9).pdf)

⁷⁸ Stejný zdroj jako zdroj číslo 77

⁷⁹ ERÚ: Odůvodnění žádosti o výjimku podle čl. 6 odst. 9 nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/943 ze dne 5. června 2019 o vnitřním trhu s elektřinou. *Energetický regulační úřad* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: [www.eru.cz/sites/default/files/import_files/Priloha_2_Oduvodneni_zadosti_verze_s_vyznaceny_m_obc_tajemstv_im_%C4%8DI.%206\(9\).pdf](http://www.eru.cz/sites/default/files/import_files/Priloha_2_Oduvodneni_zadosti_verze_s_vyznaceny_m_obc_tajemstv_im_%C4%8DI.%206(9).pdf)

⁸⁰ Stejný zdroj jako zdroj číslo 77

evropskou i českou legislativou. Tyto mechanismy jsou však oproti zajištění zálohy na trhu výrazně nákladnější ...“

V závěru dochází zdroj⁸¹ k závěru: „V budoucnu proto nelze vyloučit, že by ČEPS v určitých mimořádných situacích musela vynucovat provoz z důvodu zajištění provozní bezpečnosti s jen těžko vyčíslitelnými náklady a dopadem na ceny pro koncového zákazníka“.

Odůvodnění o výjimku též diskutuje dosavadní průběh přechodu nákupu SVR na DT. Přesun nákupu 30 % záloh na DT⁸² způsobil dodatečné náklady v hodnotě 1 mld. Kč. Uvádí se, že v rámci minimalizace nákladů, se jeví výhodnější nakoupit co největší množství záloh na dlouhodobém trhu, tedy přesný opak toho, co nařizuje EU 2019/943. Z principu funkce SVR a tohoto dokumentu (odůvodnění žádosti) je patrné, že elasticita poptávky po SVR je velmi malá. I proto navrhnul ERU regulaci cen podpůrných služeb. Návrh stanovuje maximální cenu regulační zálohy mFRR5 pro konkrétní kalendářní den regulačním vzorcem.

$$RZ_{mFRR5} = \max(w_1 \cdot (P_1 \cdot VK - P_3 \cdot NK); 0) + \max(w_2 \cdot (P_2 \cdot VK - P_3 \cdot NK); 0) \quad (12)$$

Kde:

w_1 a w_2 ... Váhy, obě jsou rovny 0,5 [-]

P_1 ... Průměrná cena elektřiny na denním trhu v pěti nejdražších hodinách v každém z posledních sedmi známých dní [Kč MWh⁻¹]

P_2 ... Průměrná cena záporné odchylky v pěti nejdražších hodinách v každém z posledních sedmi známých dní [Kč MWh⁻¹]

P_3 ... Průměrná cena elektřiny na denním trhu v pěti nejlevnějších hodinách v každém z posledních sedmi známých dní [Kč MWh⁻¹]

NK... Nákladová konstanta, která je rovna 0,27397 [-]

⁸¹ ERÚ: Odůvodnění žádosti o výjimku podle čl. 6 odst. 9 nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/943 ze dne 5. června 2019 o vnitřním trhu s elektřinou. *Energetický regulační úřad* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z:

[www.eru.cz/sites/default/files/import_files/Priloha_2_Oduvodneni_zadosti_verze_s_vyznaceny_m_obc_tajemstv_im_%C4%8DI.%206\(9\).pdf](http://www.eru.cz/sites/default/files/import_files/Priloha_2_Oduvodneni_zadosti_verze_s_vyznaceny_m_obc_tajemstv_im_%C4%8DI.%206(9).pdf)

⁸² Stejný zdroj jako zdroj číslo 81

VK... Výnosová konstanta, která je rovna 0.22032 [-]

Minimální hodnota je však 600 [Kč MW⁻¹ h⁻¹].⁸³

I z těchto důvodů plánuje ERU regulovat cenu podpůrných služeb. Z důvodu propojení trhů SVR mezi jednotlivými státy ENTSO-E je však možné, že bude potřeba koordinovaná akce na mezinárodní úrovni.

Dostatečné množství nakoupených výkonových záloh je však pouze předpoklad pokrytí odchylky. Pokrytí zajistí až jejich aktivace a zahájení dodávek RE. Jelikož je poptávka po RE extrémně tvrdá a výše plateb za RE se odvíjí od marginální ceny MOL (Merit Order List) tak byla její cena donedávna teoreticky neomezená. Dnes je však omezena na 15 000 €/MWh.⁸⁴

⁸³ ERÚ: Návrh cenového rozhodnutí ERÚ, kterým se stanovují ceny služeb výkonové rovnováhy obstarávaných provozovatelem přenosové soustavy na denním trhu. *Energetický regulační úřad* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/navrh-cenoveho-rozhodnuti-kterym-se-meni-cenove-rozhodnuti-eru-c-82021-kterym-se-stanovuji-ceny-za>

⁸⁴ ACER: ACER has decided on the amendment of the common pricing methodology for European electricity balancing markets. *European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.acer.europa.eu/news-and-events/news/acer-has-decided-amendment-common-pricing-methodology-european-electricity-balancing-markets>

5 Návrh vodní elektrárny a její umístění

5.1 Umístění ostatních PVE

Z důvodu urbanizace a ochrany krajiny a přírody existuje minimum lokalit vhodných pro instalaci PVE.

Množství energie, kterou je schopna PVE uložit, je přímo úměrné výškovému rozdílu spodní a horní hladiny a objemu nádrže. Navíc je potřeba zajistit přístup k dostatečnému množství vody pro čerpání. V horách, jakožto lokaci, kde je vysoké převýšení, jsou vodní toky obvykle malé a roztroušené. Například v případě PVE Dolní Stráně musela být, pro zajištění dostatečného množství vody pro čerpání, vybudována dolní nádrž.



Obr. 5.1 Umístění PVE Dlouhé stráně⁸⁵

Naopak v dolní toky řek s dostatkem vody zřídka tečou v okolí neobydlených vyvýšenin a výstavba umělých pahorků by byla příliš nákladná.

Dalším faktorem omezeného počtu vhodných lokalit je ochrana přírody, která se většinou týká právě horských oblastí.

I z těchto důvodů byly výstavba všech dosud funkčních PVE v ČR zahájena před rokem 1990, ještě za doby centrálně řízeného hospodářství.

⁸⁵ SEZNAM.CZ, A. S., TOPGIS, S. R. O. Letecká mapa [online]. 19. 12. 2022 [cit. 2023-7-01]. Dostupné z: <https://mapy.cz>

Výstavba PVE Štěchovice probíhala mezi lety 1938-1947⁸⁶, PVE Dalešice byla zahájena v roce 1970 a dokončena 1978, ⁸⁷zahájení výstavby PVE Dlouhé Stráně v roce 1978, dokončena 1996. Uvedení PVE Dlouhé Stráně do provozu zdržovaly jak technické problémy, tak protesty ochránců přírody⁸⁸.

5.2 Kritéria volby projektu

Při návrhu umístění PVE budu vycházet z vyhledávací studie MPO z roku 2014 s názvem „*Stanovení vhodných lokalit pro výstavbu přečerpávacích vodních elektráren v České republice*“, jejímž zhotovitelem je společnost Energotis⁸⁹.

Studie vychází z 51 lokalit, které se svým terénem jeví vhodné pro výstavbu PVE.

Požadavky, kladené na lokality byly následující.

- Možnost akumulace výkonu schopného poskytnout 4 hodiny nepřetržitého výkonu.
- Dolní nádrž musí nad rámec objemu pro přečerpávání vytvořit dodatečný provozní objem, cca 1 mil m³.
- Prostor dolní nádrže nesmí zasahovat do důležitého území, například dopravní infrastruktury.
- Možnost vývodu do rozvodny 400 kV

⁸⁶ ČEZ: Vodní elektrárny Štěchovice. ČEZ, a.s. [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/obnovitelne-zdroje/voda/vodni-elektarny/ceska-republika/stechovice-58100

⁸⁷ ČEZ: Dalešická elektrárna funguje 40 let. Na plný výkon se dostane do minuty Zdroj: [https://www.idnes.cz/jihlava/zpravy/elektarna-dalesice-prehrada-hraz-energie-vysocina-vyroci.A180921_140942_jihlava-zpravy_mv](https://www.idnes.cz/jihlava/zpravy/elektarna-dalesice-prehrada-hraz-energie-vysocina-vyroci.A180921_140942_jihlava-zpravy_mv.Idnes.cz). *Idnes.cz* [online]. MAFRA [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.idnes.cz/jihlava/zpravy/elektarna-dalesice-prehrada-hraz-energie-vysocina-vyroci.A180921_140942_jihlava-zpravy_mv

⁸⁸ NOVOTNÝ, František. MROŽOVINY: Technický šperk v srdci Jeseníků. *Neviditelný pes* [online]. Praha, 2004 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: https://web.archive.org/web/20160304185912/http://archiv.neviditelnypes.zpravy.cz/clanky/2004/07/38339_21_0_0.html

⁸⁹ ENERBOTIS, S.R.O.: *VYHLEDÁVACÍ STUDIE VHODNÝCH LOKALIT PRO MOŽNOU REALIZACI PŘEČERPÁVACÍCH VODNÍCH ELEKTRÁREN Z HLEDISKA JEJICH TECHNICKÉHO, ENVIRONMENTÁLNÍHO, PŘÍPADNĚ EKONOMICKÉHO VYHODNOCENÍ A REGULAČNÍ FUNKCE VE VZTAHU K ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVĚ: Souhrnná zpráva*. Žižkova 5, 787 01 Šumperk, 2010.

Při návrhu jsou též respektovány zásady.

- Pozice horní nádrže
 - Umístění horní nádrže v co nejvyšší geografické poloze.
 - Umístění horní nádrže co nejbližší nádrži dolní.
- Pozice strojovny
 - Umístěna v podzemní kaverně z důvodu negativní nátokové výšky.
- Zajištění přístupu po komunikaci (nejlépe již existující)
 - Ke spodní nádrži
 - K horní nádrži

Jelikož však nedisponuji znalostmi týkající se provedení stavebních prací, potřebných povolení a procesů výstavby v CHKO či NP, ve kterých se mnoho z těchto lokalit nachází, budu uvažovat jediné kritérium, a to instalovaný výkon vzhledem k ceně projektu.

Jelikož je tržba za poskytovanou regulační zálohu SVR přímo závislá na velikosti poskytovaných záloh bude hlavním kritériem určujícím tržby právě výkon turbíny. Kritérium, které využiji pro volbu projektu, bude tedy měrná cena za instalovaný výkon, která se vypočítá podílem celkových nákladů ku celkovému výkonu.

5.3 Volba projektu

Zvolené kritérium volby projektu, měrná cena za instalovaný výkon, dosahuje nejnižší hodnoty (25 800 Kč MW⁻¹) pro projekt PVE Slavíč.

	Výkon	spád	Stavební část	Technologická část	Ostatní náklady	Celkové náklady	Měrný náklad
	[MW]	[m]	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	Kč/kW
Slavič	1 124	444	14 727 291	11 826 300	2 445 125	28 998 716	25 800
Stodůlky	1 228	484	17 045 922	13 338 700	3 552 100	33 936 722	27 600
Šumný důl	880	380	14 185 258	10 605 800	2 329 030	27 120 088	30 800
Spálená	888	638	14 468 406	10 817 500	2 314 653	27 600 560	31 100
Stříbrná	732	323	11 879 925	8 949 500	2 332 513	23 161 938	31 600
Smědavský vrch	620	476	11 024 478	8 242 600	1 928 391	21 195 469	34 200
Velká Morava	536	587	9 559 303	7 562 500	1 519 365	18 641 167	34 800
Žárový vrch	592	425	10 819 840	8 089 600	1 720 502	20 629 942	34 800
Červená Jáma	674	388	12 271 284	9 012 400	2 276 216	23 559 900	35 000
Hřebeny	640	249	12 575 968	8 165 200	2 290 225	23 031 393	36 000
Hoštejn	544	221	9 971 651	7 398 400	2 252 307	19 622 358	36 100
Kamenný vrch	616	236	11 773 290	8 510 600	2 536 174	22 820 064	37 000
Jelení hřbet	600	237	12 054 085	8 480 600	1 912 612	22 447 297	37 400
Spálov	600	234	13 294 115	7 846 300	2 485 929	23 626 344	39 400
Nové Heřminovy	262	251	5 226 026	4 196 600	963 959	10 386 585	39 600
Sendraž	456	250	9 430 980	7 051 200	1 647 266	18 129 446	39 800
Vinice	440	249	9 544 634	6 570 800	1 688 947	17 804 381	40 500
Kratušín	428	350	9 384 168	7 016 200	1 650 309	18 050 677	42 200
Lipno	412	218	9 018 793	7 190 300	1 733 081	17 942 174	43 500
Lenora	468	299	10 909 246	7 575 600	2 295 783	20 780 629	44 400
Slezská Harta	224	199	5 504 331	3 983 700	999 165	10 487 196	46 800

Tab. 5.1 Seznam vytipovaných oblastí pro výstavbu PVE.⁹⁰

Projekt PVE Slavič má při výkonu 1124 MW celkové investiční náklady 28 998 716 Kč (vztaženo k roku 2010). Ve vyhodnocení vlivu stavby PVE na životní prostředí se zvolený projekt nachází na 4.-5. nejlepší pozici, přičemž nejvýznamnější uváděný vliv na životní prostředí je „narušení migračních cest na vodotocích“.

Uvažovaná lokalita výstavby této PVE má také tu výhodu, že je jen cca 15 km od nejbližší rozvodny 400 kV (Nošovice). Napojení do této rozvodny umožní poskytování nefrekvenčních PpS. Při návrhu se tedy budu věnovat právě projektu PVE Slavič.

⁹⁰ ENERGETIS, S.R.O.: VYHLEDÁVACÍ STUDIE VHODNÝCH LOKALIT PRO MOŽNOU REALIZACI PŘEČERPÁVACÍCH VODNÍCH ELEKTRÁREN Z HLEDISKA JEJICH TECHNICKÉHO, ENVIRONMENTÁLNÍHO, PŘÍPADNĚ EKONOMICKÉHO VYHODNOCENÍ A REGULAČNÍ FUNKCE VE VZTAHU K ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVĚ: Souhrnná zpráva. Žižkova 5, 787 01 Šumperk, 2010.

5.4 Umístění navrženého projektu

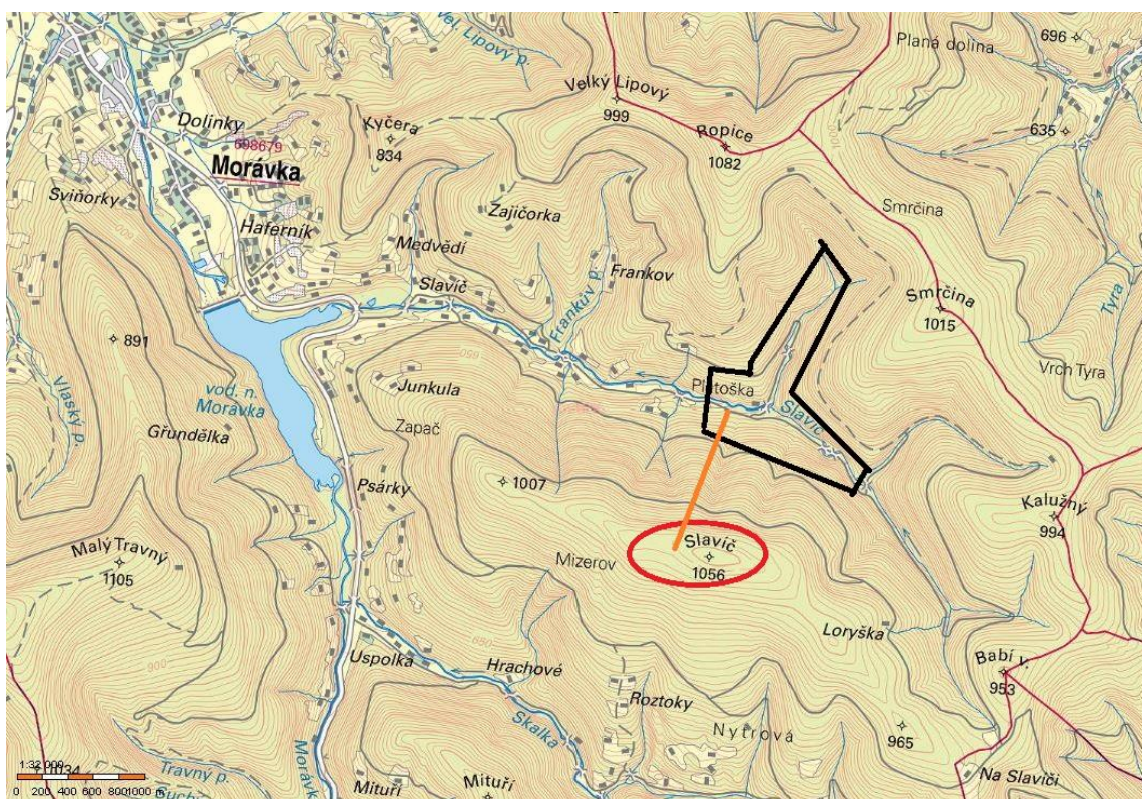
Umístění tohoto projektu se předpokládá v Moravskoslezském kraji v CHKO Beskydy. Bude využívat vodního toku řeky Slavíč.

Hráz spodní a střed horní nádrže budou vytyčeny body

Formát souřadnic	WGS-84	S-JTSK KROVAK
Levý roh hráze	49°34'47.45"N, 18°35'17.18"E	Y = 451016, X = 1131744
Pravý roh hráze	49°34'39.72"N, 18°35'15.47"E	Y = 451070, X = 1131979
Střední bod H.N.	49°34'05.45"N, 18°35'11.27"E	Y = 451240, X = 1133027

Tab. 5.2 Přehled souřadnic umístění nádrží.

Na Obr. 19 jsou zakresleny přibližné uvažované umístění nádrží a tlakového přivaděče.



Obr. 5.2 Umístění navrhované PVE ⁹¹

⁹¹ Státní správa zeměměřictví a katastru [online]. ČÚZK, 2022 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://sgi-nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&MarUid=E576B101%2062CEA7EE&MarUidi=62CEA7EE&MarMiddlePoint=-451482.898841522%20-1133094.819997123&MarScale=32000>

Legenda mapy:

červeně... horní nádrž

oranžově... tlakový přivaděč

černě... napuštěná dolní nádrž

Z důvodu neznalosti problematiky plánování výstavby vedení 400 kV se nebudu zabývat odkupem či vyvlastňováním parcel potřebných pro výstavbu vedení zajišťujícího vyvedení výkonu.

Zásady, které ovlivňují výslednou trasu vedení:

- Nutno vést v extravilánu obcí (nezastavěná území)
- Co nejpřímější trasa
 - Co nejméně lomů trasy (minimalizace počtu kotevních stožárů)
 - Co nejmenší úhly lomu trasy (ideálně do 150 °)
- Snaha vyhnout se záplavovým územím a námrazovým oblastem

5.5 Parametry projektu

Instalovaný výkon...	4 x 281 MW
Celkový instalovaný výkon...	1124 MW
Maximální spád...	444 m
Objem horní nádrže...	6,5 mil. m ³
Energeticky využitelný objem horní nádrže...	6,3 mil. m ³
Objem dolní nádrže...	11,3 mil. m ³
Délka potrubí...	1,3 km

Vyvedení výkonu bude realizované vedením 400 kV do rozvodny Nošovice, která je od hráze spodní nádrže vzdálena 15,3 km vzdušnou čarou.

5.6 Vlastníci pozemků

Data vlastníků pozemků lze získat z katastru nemovitostí. Uvažovaná horní nádrž se nachází na parcele 2005/151 katastrálního území „Morávka (okres Frýdek-Místek)“ . Jedná se o lesní pozemek, jehož vlastníkem jsou Lesy ČR.

V případě dolní nádrže je většina parcel držena Lesy ČR či Povodí Odry. Dalšími vlastníky jsou:

- Parcelu 1586/22 vlastní pánové Zitovi. Stejně tak vlastní pánové Zitovi parcelu st. 342/3.
- Parcely 1586/20 a st.1148 vlastní pan Hablawetz.
- Parcela 1875/3 a 1871/2 je ve vlastnictví manželů Haluzíkových.
- Parcely 1871/5 a 1871/3 vlastní pan Štůsek.
- Parcely 1869, 1867/2 a 1871/6, 1867/1 a 1586/8 jsou součástí SJM Gavlasových.
- Parcelu 1871/4 vlastní obec Morávka.

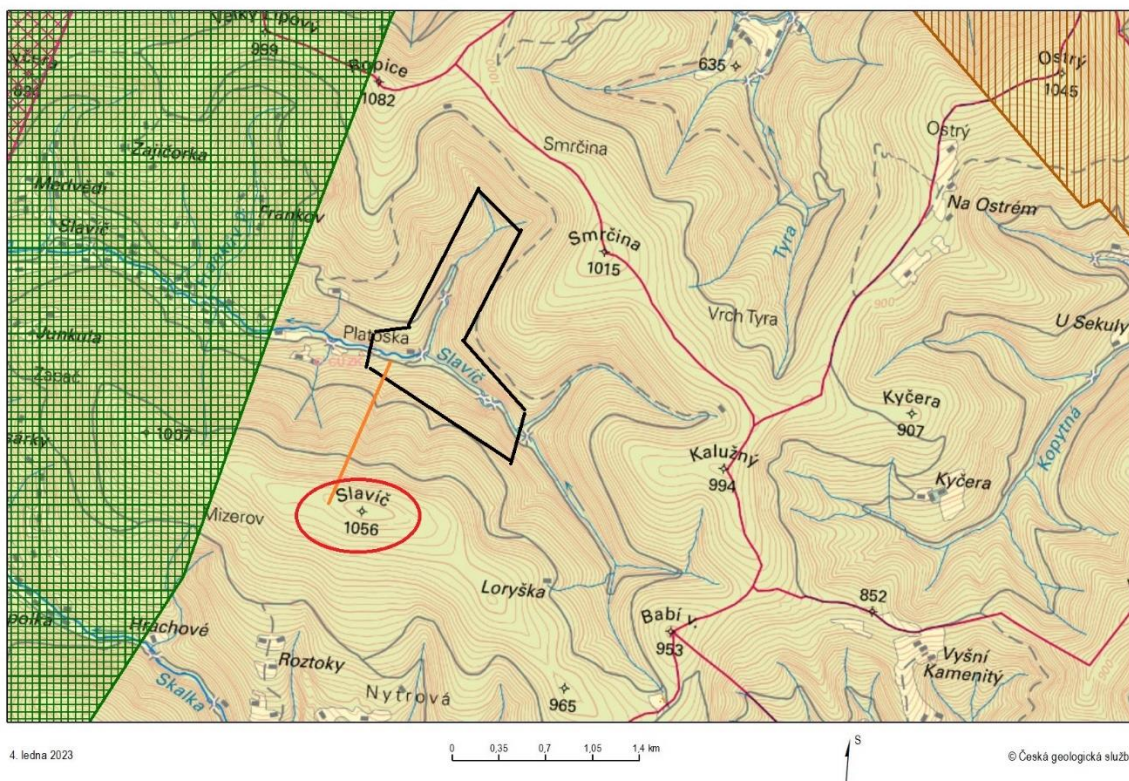
5.7 Chráněná ložisková území

Chráněné ložiskové území je způsob ochrany nerostu zakazující vznik činnosti, která by znemožnila budoucí těžbu⁹². Nejbližším chráněným ložiskovým územím je Hornoslezská pánev, která je ložiskem černého uhlí a zemního plynu.

Území, na kterém je zamýšlena výstavba PVE, nezasahuje do žádného chráněného ložiskového území.

Na Obr. 5.3 je zeleným šrafováním zaznačena Hornoslezská pánev.

⁹² Česká televize: Jezero Milada. : *Nedej se!* [online]. 2017 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.ceskatelevize.cz/porady/1095913550-nedej-se/217562248410013/



Obr. 5.3 Chráněná ložisková území⁹³

⁹³ Státní správa zeměměřictví a katastru [online]. ČÚZK, 2022 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://sgi-nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&MarUid=E576B101%2062CEA7EE&MarUidi=62CEA7EE&MarMiddlePoint=-451482.898841522%20-1133094.819997123&MarScale=32000>

6 Ekonomické zhodnocení

Důvodem výstavby PVE je primárně jejich ekonomičnost v porovnání s jinými akumulátory energie. Jelikož je pravděpodobné, že zadavatelem stavby bude soukromý či polostátní podnik, je třeba porovnat tento projekt s ostatními možnostmi investic.

Vzhledem k nemožnosti předvídat vývoj cen v energetice a mimo ni nebudu, kromě diskontu, přidělovat penězům časovou hodnotu. Budu tedy počítat se stálými cenami. Ceny jsou uvedeny s DPH.

6.1 Cena projektu

Cena projektu v roce 2010 byla odhadnuta na 29 mld. Kč. Metodika výpočtu uvažovala meziroční nárůst cen 3 %. Jelikož se mi nepodařilo dostat se k informaci rozložení nákladů v čase stavby projektu uvedené v příloze 14.2 vyhledávací studie PVE, která by měla být k dispozici na MPO, budu tuto cenu používat tak. Z důvodu nárůstu cen výrobců je však potřeba odhad ceny investičních nákladů (IN) o tento nárůst navýšit.

6.1.1 Cena stavební části

Podle ČSÚ⁹⁴ dosáhl ve třetím čtvrtletí listopadu 2022 index cen stavebních děl hodnoty 136,9 %, přičemž hodnota 100 % je průměrem roku 2015.

V roce 2015 poklesla hodnota indexu cen mezi lety 2010 a 2015 poklesla⁹⁵ z 116,4 % na 115,7 %. Tyto hodnoty jsou vztaženy k roku průměru roku 2014.

Vzájemným vztahem indexů lze získat index cen ve třetím čtvrtletí roku 2022 vztažený k roku 2010, tedy roku kdy byla studie vypracována.

$$i_{2022Q3-2010} = \frac{i_{2015-2010}}{i_{2010}} \cdot i_{2022-2015} = \frac{115,7}{116,4} \cdot 136,9 = 136,08 \% \quad (13)$$

⁹⁴ ČSÚ: *Indexy cen stavebních prací, indexy cen stavebních děl a indexy nákladů stavební výroby* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.czso.cz/csu/czso/indexy-cen-stavebnich-praci-indexy-cen-stavebnich-del-a-indexy-nakladu-stavebni-vyroby-ctvrtletni-casove-rady-3-ctvrtleti-2022

⁹⁵ IBR Consulting: *Indexy cen stavebních děl podle ČSÚ. Měrné ceny* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: http://merne-naklady-staveb.cz/2018-2019/ukazatele/index_cen_del/

Tento index zahrneme do ceny a získáme tím $IN_{stavební\ 2022}$ vztažené k současným cenám.

$$IN_{stavební\ 2022} = i_{2022Q3} \cdot IN_{stavební\ 2010} = 136,08 \cdot 14\ 727\ 291\ 000 = 20\ mld.\ Kč \quad (14)$$

Stavební náklady v současných cenách budou tedy mít hodnotu 20 mld. Kč.

6.1.2 Cena technologické části

Vzhledem k určení projektu budu předpokládat 100 % investičních nákladů v této kategorii jako ceny zařízení pro výrobu a přenos elektrické energie. Tedy generátoru a transformátoru.

Z indexu cen průmyslových výrobců⁹⁶ lze odečíst to, že index položky „CJ 271 - Elektrické motory, generátory a transformátory“ nabývá v roce 2021 hodnoty 115 %, přičemž index je vztažen k hodnotě roku 2005. V roce 2010 nabýval tento index hodnoty 108,7 %. Opět je potřeba tyto hodnoty vůči sobě vztáhnout.

$$i_{2021-2010} = \frac{i_{2021-2005}}{i_{2010-2005}} = \frac{115}{108,7} = 105,8\% \quad (15)$$

Avšak vzhledem k nedávnému nárůstu cen energií, které se promítají do výroby, budu uvažovat nárůst cen položky CJ 271 mezi lety 2010 až 2022 o 8 % ročně.

$$i_{Technologie\ 2022-2010} = 108\%$$

Investiční náklady této položky tedy budou:

$$\begin{aligned} IN_{Technologie\ 2022} &= IN_{Technologie\ 2010} \cdot \left(\frac{i_{Technologie\ 2022-2010}}{100} \right)^{12} = \\ &= 11\ 826\ 300\ 000 \cdot \left(\frac{108}{100} \right)^{12} = 29\ 780\ 635\ 250\ Kč \end{aligned} \quad (16)$$

⁹⁶ ČSÚ: *Indexy cen průmyslových výrobců - leden 2011* [online]. 25.02.2011 [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/indexy-cen-prumyslovych-vyrobcu-leden-2011-b3e85e9n>

6.1.3 Ostatní náklady

Ostatní náklady ve své struktuře obsahují, mimo jiné náklady spojené s

- Průzkumy a zaměření
- Vynětí ze zemědělského půdního fondu a výkupy pozemků
- Poplatky spojené s náhradou a rekultivací

Budu předpokládat, že poplatky spojené s nákupem obydlí včetně pozemků budou tvořit polovinu nákladů a druhá polovina bude tvořena obecnými položkami.

6.1.3.1 Výkup nemovitostí a pozemků

Index cen nákupu obydlí včetně pozemků⁹⁷ dosahoval hodnoty $i_{\text{pozemky2021-2010}} = 235 \%$

Hodnota je vztažena k roku 2010.

$$\begin{aligned} IN_{\text{Pozemky 2022}} &= i_{\text{pozemky2021-2010}} \cdot \frac{IN_{\text{ostatní}}}{2} = \\ &= 2,35 \cdot \frac{2\,445\,125\,000}{2} = 2\,873\,021\,875 \text{ Kč} \end{aligned} \tag{17}$$

Studie též uvádí dobu výstavby PVE 14 let. Avšak vlastní realizaci uvažuje jen 65 měsíců, tedy 5 let. Po tuto dobu výstavby tedy nebude projekt vytvářet tržby.

6.1.3.2 Obecné položky

Tyto položky zahrnují mnoho objektů. Vzhledem k neznámé stavbě těchto nákladů tuto položku očistím pomocí indexu cen spotřebitelských cen. Obě hodnoty jsou vztažené k roku 2015 (100 %). $i_{\text{CPI2022Q3}} = 138,1 \%$, $i_{\text{CPI2010}} = 93,0 \%$. Celkový nárůst indexu spotřebitelských cen bude:

$$i_{\text{CPI2021-2010}} = \frac{i_{2021-2015}}{i_{2010-2015}} = \frac{138,1}{93,0} = 148,5 \% \tag{18}$$

⁹⁷ ČSÚ: Index cen bytových nemovitostí - 3. čtvrtletí 2022 [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/index-cen-bytovych-nemovitosti-3-ctvrtleti-2022>

A celková současná cena této položky bude:

$$IN_{Obecne\ 2022} = i_{CPI2021-2010} \cdot \frac{IN_{ostatní}}{2} = 1\ 815\ 439\ 583\ Kč \quad (19)$$

6.2 Celkové investiční náklady

Celkové investiční náklady budou dány součtem dílčích položek.

$$\begin{aligned} IN &= IN_{stavební\ 2022} = IN_{stavební\ 2022} + \\ &+ IN_{Technologie\ 2022} + IN_{Pozemky\ 2022} + IN_{Obecne\ 2022} = \\ &= 20\ 040\ 897\ 593 + 29\ 780\ 635\ 250 + 2\ 873\ 021\ 875 + 1\ 815\ 439\ 583 = \\ &= IN = 54\ 509\ 994\ 301\ Kč \end{aligned} \quad (20)$$

6.3 Poskytované služby

Jediným uvažovaným zdrojem příjmů projektu budou tržby z poskytování PpS a poskytováním RE v rámci SVR. Jelikož, z principu funkce PVE, nemá stavba neomezený zdroj energie, je poskytování standardních produktů SVR aFRR a mFRR_{12,5} nemožné.

Jako vhodný produkt se tedy jeví poskytování specifického produktu mFRR₅, který umožňuje započítání celého dne poskytování SVR i přesto, že pokud se v některých dnech čtyřhodinové aktivační okno vyčerpá, je možné nabízet regulační výkon a energii mimo kontrakt o poskytování SVR.

6.3.1 Poskytování SVR mFRR5

Doba poskytování SVR mFRR5 bude vycházet z počtu provozních dní, který vyhledávací studie⁹⁸ odhaduje na 330 dní. Jako odhad cen této služby využijí data vážených průměrů cen

⁹⁸ ENERGETIS, S.R.O.: *VYHLEDÁVACÍ STUDIE VHODNÝCH LOKALIT PRO MOŽNOU REALIZACI PŘEČERPÁVACÍCH VODNÍCH ELEKTRÁREN Z HLEDISKA JEJICH TECHNICKÉHO, ENVIRONMENTÁLNÍHO, PŘÍPADNĚ EKONOMICKÉHO VYHODNOCENÍ A REGULAČNÍ FUNKCE VE VZTAHU K ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVĚ: Souhrnná zpráva. Žižkova 5, 787 01 Šumperk, 2010.*

PpS pro rok 2023.⁹⁹ Vážené průměrné ceny SVR mFRR5 pro rok 2023 dosahují hodnoty $C_{mFRR_5} = 1\,550,76 \text{ Kč MW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

Roční tržbu z prodeje výkonové zálohy společnosti ČEPS v rámci služby SVR mFRR5 lze, při zanedbání likvidity trhu, odhadnout na

$$S = P \cdot T_{\text{poskytováno}} \cdot C_{mFRR_5} = 1\,124 \cdot 7\,920 \cdot 1\,550,76 = 13\,804\,989\,581 \text{ Kč} \quad (21)$$

Kde:

S	Tržby (Sales)	[Kč]
P	Objem poskytované služby (Výkon turbíny)	[MW]
$T_{\text{poskytováno}}$	Doba poskytování služby = $330 \cdot 24 = 7920$	[h]
C_{mFRR_5}	Cena služby	[Kč MW ⁻¹]

6.3.2 Platba za dodanou regulační energii

Platba za regulační energii se odvíjí od energie dodané do soustavy po obdržení povelu k aktivaci. Primárním vstupem při odvozování plateb za RE je křivka nabídky RE a poptávaný objem. Pro výpočet průměrných plateb za RE vypočítám cenu ve dvou měsících, vzdálených od sebe půl roku. Jeden z nich bude blízko letnímu slunovratu (květen) zatímco druhý bude u zimního slunovratu. Vyvážím tím vliv produkce FVE který přesahuje akumulaci schopnosti přidruženého akumulacího systému.

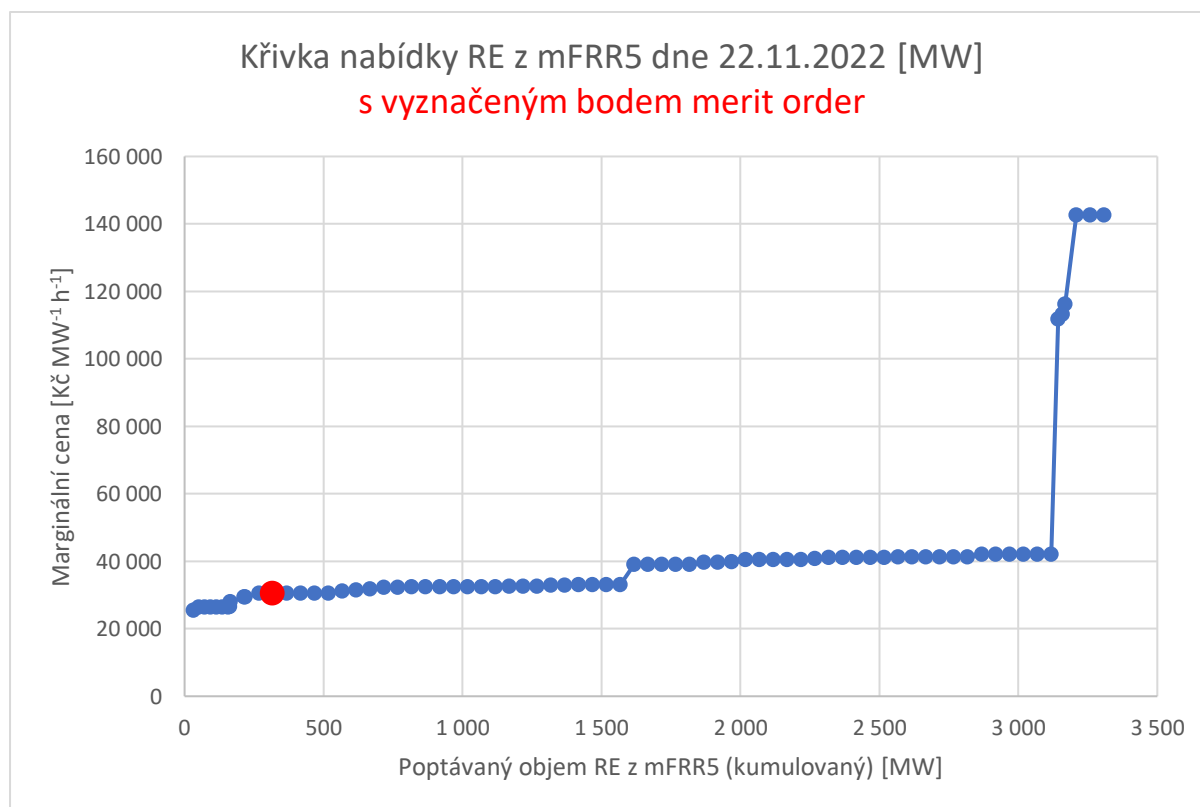
Důvodem pro toto zjednodušení je to, že data o cenách od června 2022 jsou umístována na Transparency platform, která nepodporuje export dat. Data je tedy nutné ručně přepsat, což je však velmi náchylné na chyby.

Dalším důvodem je, jak bude patrné z výsledků, že tato platba je výrazně menší, než je platba za poskytování SVR.

⁹⁹ ČEPS: Vážené průměry cen PpS 2023. ČEPS, a.s. [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.ceps.cz/cs/statistiky-svr

6.3.2.1 Výpočet platby za regulační energii v zimním měsíci

V průběhu měsíce listopadu 2022 byla celková doba aktivace mFRR s objemem vyšším než 1 MW 119 čtvrt hodin, tedy přibližně 100 minut denně. Vyhledávací studie ve svých výpočtech pracuje s dobou aktivace 120 minut denně.¹⁰⁰ Celkový objem dodané RE v měsíci listopad 2022 byl 3 241,5 MWh. Nejvyšší aktivovaný objem byl aktivován 22.11.2022 a činil 287 MW. Data nabídek jsou přístupná na stránkách ČEPS a ENTSO-E Transparency platform.¹⁰¹ Použitím jevu marginální ceny¹⁰² lze získat marginální cenu poptávaného objemu aktivované služby mFRR5.



¹⁰⁰ ENERGETIS, S.R.O: VYHLEDÁVACÍ STUDIE VHODNÝCH LOKALIT PRO MOŽNOU REALIZACI PŘEČERPÁVACÍCH VODNÍCH ELEKTRÁREN Z HLEDISKA JEJICH TECHNICKÉHO, ENVIRONMENTÁLNÍHO, PŘÍPADNĚ EKONOMICKÉHO VYHODNOCENÍ A REGULAČNÍ FUNKCE VE VZTAHU K ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVĚ: Souhrnná zpráva. Žižkova 5, 787 01 Šumperk, 2010.

¹⁰¹ ENTSO-E Transparency platform: Procured Capacity [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://transparency.entsoe.eu/balancing/r2/procuredCapacity/show>

¹⁰² Clean Energy Wire. Clean Energy Wire [online]. Anna-Louisa-Karsch-Str. 2 10178 Berlin [cit. 2022-02-06]. Dostupné z: www.cleanenergywire.org/factsheets/setting-power-price-merit-order-effect

Bod křivky nabídky, který pokryje celou poptávku po mFRR5 má souřadnice

- Celkový aktivovaný objem $V = 318 \text{ MW}$
- Marginální cena $C = 30\,480 \text{ Kč MW}^{-1} \text{ h}^{-1}$

A celkovou platbu za jednu hodinu dodávaného objemu získáme vynásobením.

$$P_{1h} = V \cdot C = 318 \cdot 30\,480 = 9\,692\,640 \text{ Kč} \quad (22)$$

Celkový instalovaný výkon (1 124 MW) navrhované PVE by byl schopen plně pokrýt celou poptávku po RE z mFRR5.

Křivka nabídky RE se v průběhu měsíce příliš nemění a většina poskytované RE je poskytována ve chvíli, kdy se celkový dodávaný výkon mFRR5 pohybuje mezi 170 MW a 208 MW. Budu proto uvažovat průměrnou marginální cenu $29\,000 \text{ Kč MW}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

Celková platba vyplacená společností ČEPS poskytovatelům SVR by tedy byla

$$P_{\text{listopad}} = V_{\text{RE}} \cdot C = 3\,241,5 \cdot 29\,000 \cong 94\,000\,000 \text{ Kč} \quad (23)$$

6.3.2.2 Výpočet platby za regulační energii v letním měsíci

Jelikož však, narozdíl od FCR, obdrží poskytovatel služby i cenu za dodanou RE je třeba platby za dodanou energii zohlednit. Budu vycházet z dat aktivace SVR v měsíci květnu (nejnovější dostupná data o aktivaci) dostupných ze stránek ČEPS¹⁰³.

V květnu byla služba mFRR5 aktivována celkem 17 čtvrthodin s výkonem nad 1 MW. Celková dodaná energie byla 685,75 MWh

Téměř veškerý objem RE byl koncentrován do dvou obchodních dnů.

- 29.5.2022
 - 12:00-13:00
 - marginální cena $8\,600,05 \text{ Kč MW}^{-1} \text{ h}^{-1}$
 - Průměrná výše aktivace v dané hodině $73,95 \text{ MW}$
 - Celková platba $635\,974 \text{ Kč}$
- 30.5.2022

¹⁰³ ČEPS: Aktivace SVR v ČR [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.ceps.cz/cs/data#AktivaceSVRvCR

- 7:00-8:00
 - Marginální cena 9 600,05 Kč MW⁻¹ h⁻¹
 - Průměrná výše aktivace v dané hodině 199,35 MW
 - Celková platba 1 714 420 Kč
- 8:00-9:00
 - Marginální cena 9 600,05 Kč MW⁻¹ h⁻¹
 - Průměrná výše aktivace v dané hodině 205 MW
 - Celková platba 1 763 010 Kč
- 9:00-10:00
 - Marginální cena 8 899,9 Kč MW⁻¹ h⁻¹
 - Průměrná výše aktivace v dané hodině 205 MW
 - Celková platba 1 824 480 Kč

$$\begin{aligned}
 P_{\text{květen}} &= \sum_{i=0}^n V_{RE\ i} \cdot C_{RE\ i} = 8\,600,05 \cdot 73,95 + 9\,600,05 \cdot 199,35 + \\
 &\quad + 9\,600,05 \cdot 205 + 8\,899,9 \cdot 205 \qquad (24) \\
 P_{\text{květen}} &\cong 6\,000\,000 \text{ Kč}
 \end{aligned}$$

Kde:

$n \dots$ Počet zaznamenávacích období.

$V_{RE\ i} \dots$ Objem RE v zaznamenávacím období i

$C_{RE\ i} \dots$ Cena RE v zaznamenávacím období i

6.3.2.3 Výsledek ceny za regulační energii

Celkem bylo za dodávky RE v průběhu měsíce května vyplaceno 6 mil. Kč.

Jako průměrnou měsíční platbu za dodávanou RE budu považovat průměr plateb v měsících květen a listopad roku 2022.

$$\frac{P_{\text{listopad}} + P_{\text{květen}}}{2} = \frac{94\,000\,000 + 6\,000\,000}{2} = 50\,000\,000 \text{ Kč měsíc}^{-1} \qquad (25)$$

Celková odhadnutá suma je tedy 300 000 000 Kč za rok. Objem dodané energie z mFRR5 za rok 2022 byl 16 660,5 MWh. Průměrná cena aktivované RE tedy byla 18 000 Kč MW⁻¹ h⁻¹.

Navrhovaná PVE by, při současném stavu instalovaného výkonu jiných poskytovatelů, tvořila méně než 30 % zálohy SVR mFRR5. Též je tuto vydanou energii nutno nakoupit zpět na denním trhu. Cena na denním trhu v době mimo špičkové zatížení se pohybuje¹⁰⁴ okolo 3 000 Kč MW⁻¹, tedy přibližně jednu šestinu ceny RE z mFRR5.

Popis	Označení	Hodnota	Jednotka
Tržba za 1 MWh	T_{1MWh}	18 000	Kč MW ⁻¹ h ⁻¹
Výdaj za 1 MWh	V_{1MWh}	3 000	Kč MW ⁻¹ h ⁻¹
Ztráty při čerpání	z	20	%
Zisk za jednu poskytnutou MWh	Z_{1MWh}	14250	Kč MW ⁻¹ h ⁻¹

Tab. 6.1 Přehled cen za RE

$$Z_{1MWh} = T_{1MWh} - \frac{V_{1MWh}}{1 - z} = 18\,000 - \frac{3\,000}{0,80} = 14\,250 \text{ Kč} \quad (26)$$

Tyto platby se však rozloží mezi všechny poskytovatele služby mFRR5. Data o aktivaci jednotlivých poskytovatelů nejsou veřejná. Lze však předpokládat, že množství dodané RE se bude odvíjet od instalovaného výkonu. Dne 30.5, kdy se objem aktivace mFRR5 pohybovala kolem hodnoty 200 MW po dobu 3 hodin, bylo nabízené množství RE z mFRR5 529 MW, ze kterého 439 MW bylo obsaženo v nabídkách s marginální cenou pod 20 000 Kč MW⁻¹ h⁻¹.

V ekonomickém zhodnocení tedy budu uvažovat dva případy.

- V jednom z nich bude poskytovaná RE nulová.
- Ve druhém bude navrhovaná PVE poskytovat celý objem RE z mFRR5, tedy objem dodané energie bude $V_{RE\ mFRR5} = 16\,660,5 \text{ MWh}$

$$Z_{1MWh} \cdot V_{RE\ mFRR5} = 14\,250 \cdot 16\,660,5 = 237\,412\,125 \text{ Kč} \quad (27)$$

¹⁰⁴ OTE: Krátkodobé trhy - Vnitrodenní trh. *Organizátor trhu s elektřinou* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.ote-cr.cz/cs/kratkodobe-trhy/elektrina/vnitrodenni-trh

6.3.3 Poskytování nefrekvenčních služeb

Poskytování nefrekvenčních služeb, například startu ze tmy či ostrovního provozu je technicky možné poskytovat. Podmínkou poskytování služby je vyvedení výkonu do rozvodny, která je součástí PS, což navrhovaný projekt splňuje. Data k cenám těchto služeb však nejsou veřejná.

6.4 Stanovení diskontu

Diskont je forma zahrnutí časové ceny peněz do výpočtů peněžních toků. Stanovím ho podle ceny ušlé příležitosti.

V období vysoké inflace lze investovat do komodit, které, pokud budou správně zvoleny, budou míru inflace kopírovat. Inflace je tedy základní složkou diskontu. Mezi listopadem 2021 a listopadem 2022 stoupla hodnota spotřebitelského koše o 16,2 %.¹⁰⁵

$$i = 16,2 \%$$

Riziko investice bude dáno tím, že plocha povodí potoku Slavič je jen 15,193 km².¹⁰⁶ I přesto by však měla být PVE schopna, díky naddimenzované spodní nádrži, provozu i při suchém roku. Riziko z insolvence zákazníka, společnosti ČEPS je prakticky nulové. Celkové riziko stanovuji na 3 %.

$$r = 3 \%$$

Poslední započítanou hodnotou je očekávaný výnos. Tento výnos stanovím na 3 %.

$$v = 3 \%$$

Celkový diskont bude součtem těchto částí.

$$d = i + r + v = 16,2 + 3 + 3 = 22,2 \% \quad (28)$$

¹⁰⁵ ČSÚ: Inflace - druhy, definice, tabulky. *Český statistický úřad* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.czso.cz/csu/czso/mira_inflace

¹⁰⁶ ČHMÚ: Detail stanice Slavič. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: https://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfdyn.php?seq=45599721

6.5 Odpisy

Stavbu budu odepisovat rovnoměrně. Jednotlivé části stavby budou patřit do jiných odpisových skupin. Při určení do skupin budu vycházet ze zákona 586/1992 *Zákon České národní rady o daních z příjmů*.¹⁰⁷

Stavba patří do odpisové kategorie 4 „*Stavby elektráren (díla energetická výrobní)*“ s dobou odepisování 20 let.

Pro skupinu 4 platí tyto koeficienty k

- V prvním roce odepisování
 - $k_1 = 2.15$
- V dalších letech odepisování
 - $k_n = 5.15$
- Pro zvýšenou vstupní cenu
 - $k_c = 5$

Elektrická zařízení patří do odpisové kategorie 3 „*Elektrické motory, generátory a transformátory*“ s dobou odepisování 10 let. Koeficienty odpisu pro tuto kategorii jsou následující:

- V prvním roce odepisování
 - $k_1 = 5,5$
- V dalších letech odepisování
 - $k_n = 10,5$
- Pro zvýšenou vstupní cenu
 - $k_c = 10$

Výši ročního odpisu pro první rok provozu spočítáme následovně.

$$O_1 = P_{\text{porizovaci}} \cdot \frac{k_1}{100} \quad (29)$$

Výši ročního odpisu pro rok $n \in \{2, \dots, 20\}$ vypočítáme pomocí stejného vzorce ale s jiným koeficientem.

¹⁰⁷ ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 586/1992 Sb.: Zákon České národní rady o daních z příjmů. In: 586/1992. Praha: Ministerstvo vnitra, 1992, ročník 1992, částka 117, číslo 568. Dostupné také z: https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=586/1992&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy

$$O_n = P_{\text{porizovaci}} \cdot \frac{k_n}{100} \quad (30)$$

6.6 Náklady na údržbu

Každá stavba bude čelit okolním vlivům včetně počasí a technickým potížím. Proto potřebuje proškolené zaměstnance, pravidelné revize, pojištění a další.

6.6.1 Náklady na zaměstnance

Vyhledávací studie uvažuje množství zaměstnanců podle investičních nákladů tak, že na 1,1 mld. investičních nákladů je potřeba 1 zaměstnanec. Lze předpokládat jak automatizaci tak zvýšení požadavků na technickou úroveň. Budu se tedy této úvahy držet.

$$\text{Zaměstnanců} = \frac{IN}{1,1 \cdot 10^9} = \frac{54\,639\,994\,301}{1,1 \cdot 10^9} \cong 50 \quad (31)$$

To je více, než byl počet zaměstnanců PVE Dlouhé Stráně v roce 2004.¹⁰⁸

Studie odhadovala náklady na osobu ve výši 700 000 Kč za rok. Tuto hodnotu očistíme o růst mezd.

Náklady na zaměstnance, stanovené vyhledávací studií, upravím pomocí růstu mediánu mezd technických a odborných pracovníků (CZ-ISCO 3000)

V roce 2022 byl medián hrubé mzdy 40 230 Kč, zatímco v roce 2011 byl medián hrubé mzdy 25 486 Kč. Důvod pro použití dat z roku 2011 je ten, že jsou to nejstarší data ve veřejně přístupné databázi ČSÚ. Průměrný růst mezd v tomto období byl 4,24 % ročně.

$$\text{růst}_{2010-2022} = \left(\frac{40\,230}{25\,486} \right)^{\frac{12}{11}} = 1,645 [-] \quad (32)$$

Celkové roční náklady na zaměstnance budou tedy:

$$N_{\text{Zaměstnanci}} = 50 \cdot 700\,000 \cdot 1,645 = 57\,198\,139 \text{ Kč} \quad (33)$$

¹⁰⁸ NOVOTNÝ, František. MROŽOVINY: Technický šperk v srdci Jeseníků. *Neviditelný pes* [online]. Praha, 2004 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: https://web.archive.org/web/20160304185912/http://archiv.neviditelnypes.zpravy.cz/clanky/2004/07/38339_21_0_0.html

6.6.2 Ostatní náklady

Ostatními náklady se myslí opravy, údržba, správní režie, revize a měření, pojištění. Výše těchto nákladů se bude odvíjet od investičních nákladů a životnosti jednotlivých částí. Vyhledávací studie stanovila koeficienty vztažené k investičním nákladům. Jelikož jsem investiční náklady očistil o nárůst cen stavebních děl tak jednotlivé položky nebudu dodatečně očišťovat.

Typ	Hodnota	Jednotka		Hodnota	Jednotka
Opravy a údržba	0,220	% IN rok ⁻¹		120 207 987	Kč rok ⁻¹
správní režie	0,050	% IN rok ⁻¹		273 199 997	Kč rok ⁻¹
spotřeba materiálu	0,003	% IN rok ⁻¹		1 639 200	Kč rok ⁻¹
revize a měření	0,030	% IN rok ⁻¹		16 391 998	Kč rok ⁻¹
pojištění	0,025	% IN rok ⁻¹		13 659 999	Kč rok ⁻¹
Celkem	0,328	% IN rok⁻¹		179 219 181	Kč rok⁻¹

Tab. 6.2 Seznam nákladů na údržbu

$$N_{ostatní} = 179\,219\,181 \text{ Kč}$$

Celkové roční náklady na údržbu tedy budou součtem nákladů na zaměstnance a ostatních nákladů.

$$N_{celk} = N_{zaměstnanci} + N_{ostatní} = 57\,198\,139 + 179\,219\,181 = 236\,417\,321 \text{ Kč} \quad (34)$$

6.7 Stavba kapitálu

Pro tento projekt budu uvažovat následující stavbu kapitálu:

- 50 % *IN* Vlastní kapitál (VK)
- 50 % *IN* Cizí kapitál (CK)

Při využití cizího kapitálu bude věřitel po dlužníkovi požadovat platbu úroků. Výši těchto úroků lze zaúčtovat jako ztrátu, která zvýší daňový štít. Výpočet půjčené částky:

$$VK = CK = \frac{IN}{2} = \frac{54\,509\,994\,301}{2} = 27\,254\,997\,151 \text{ Kč} \quad (35)$$

Budu uvažovat dobu úpisu $n = 30$ let a úročení na konci období úrokem $i = 5\%$ p.a. a frekvenci splácení jednou ročně, vždy na konci roku.

6.7.1 Anuita

Anuita je neměnná stálá platba v daných intervalech po danou dobu. Skládá se z úroku a úmoru.

Stálou roční splátku určíme pomocí výše cizího kapitálu z rovnice (35).

$$a = CK \frac{i \cdot \left(\frac{i}{100}\right)^n}{\left(1 + \frac{i}{100}\right)^n - 1} = \frac{27\,254\,997\,151 \cdot \left(1 + \frac{5}{100}\right)^{35}}{\left(1 + \frac{5}{100}\right)^{35} - 1} = 1,77 \text{ mld. Kč} \quad (36)$$

Kde:

i ...	Úroková míra [-]
CK ...	Množství cizího kapitálu [Kč]
n ...	počet splátek [-]

6.7.2 Vážená cena kapitálu

Vážená cena kapitálu (WACC) je to, s čím bude diskontován peněžní tok. Výpočet bere v potaz rozdílnou cenu vlastního kapitálu, cizího kapitálu i zvýšení daňového štítu díky úrokům.

$$\begin{aligned} WACC &= d \cdot \frac{VK}{VK + CK} + i \cdot \frac{CK}{VK + CK} = \\ &= 22 \% \cdot \frac{27\,254\,997\,151}{27\,254\,997\,151 + 27\,254\,997\,151} + \\ &+ 5 \% \cdot \frac{27\,254\,997\,151}{27\,254\,997\,151 + 27\,254\,997\,151} = \\ &= WACC = 13,48 \% \end{aligned} \quad (37)$$

Kde:

d ...	Cena vlastního kapitálu = diskont [-]
VK ...	Množství vlastního kapitálu [Kč]
CK ...	Množství cizího kapitálu [Kč]
i ...	Úroková míra úvěru [-]

6.8 Ekonomické ukazatele

K vyhodnocování investic a jejich porovnávání mezi sebou je třeba redukovat velké vstupní množství informací na ukazatel. Tento ukazatel má nejčastěji podobu čísla.

6.8.1 Čistá současná hodnota

Čistá současná hodnota (NPV) představuje součet hotovostních toků zohledněný o časovou hodnotu peněz (diskont).

Jelikož v sobě diskontní míra již zahrnuje výnos bude rozhodujícím kritériem znaménko NPV.

Pokud bude znaménko kladné znamená to, že vypočítaný výnos je vyšší než ten, který byl použit pro výpočet diskontu.

Jestli bude hodnota NPV rovna nule znamená to, že výnosnost projektu odpovídá očekávané výnosnosti a pokud bude hodnota záporná bude to signalizovat nižší výnosnost projektu než je požadovaná. Vzorec pro výpočet NPV je následující:

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (38)$$

Kde:

$NPV...$	Čistá současná hodnota [Kč]
$CF_t...$	Hodnota peněžního toku v roce t [Kč]
$T...$	Doba hodnocení projektu [roky]
$r...$	cena kapitálu [-]

6.8.2 Vnitřní výnosové procento

Vnitřní výnosové procento (IRR) vychází ze vztahu pro NPV, který pokládá nule. Tento ukazatel popisuje výnosnost vložených prostředků.

IRR je taková diskontní míra, při které je rozdíl diskontovaného peněžního toku hotovosti roven nule.

$$\sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{\left(1 + \frac{IRR}{100}\right)^t} = 0 \quad (39)$$

Kde:

$CF_t...$	Hodnota peněžního toku v roce t [Kč]
$T...$	Doba hodnocení projektu [roky]

IRR... Vnitřní výnosové procento [%]

6.8.3 Vypočtené ekonomické ukazatele.

Výpočet je proveden v *Priloha1_DCFSlavičCK.xlsx*

Výkaz cashflow pro variantu s platbami za poskytnutou RE. V šestém roce zahájila elektrárna provoz.

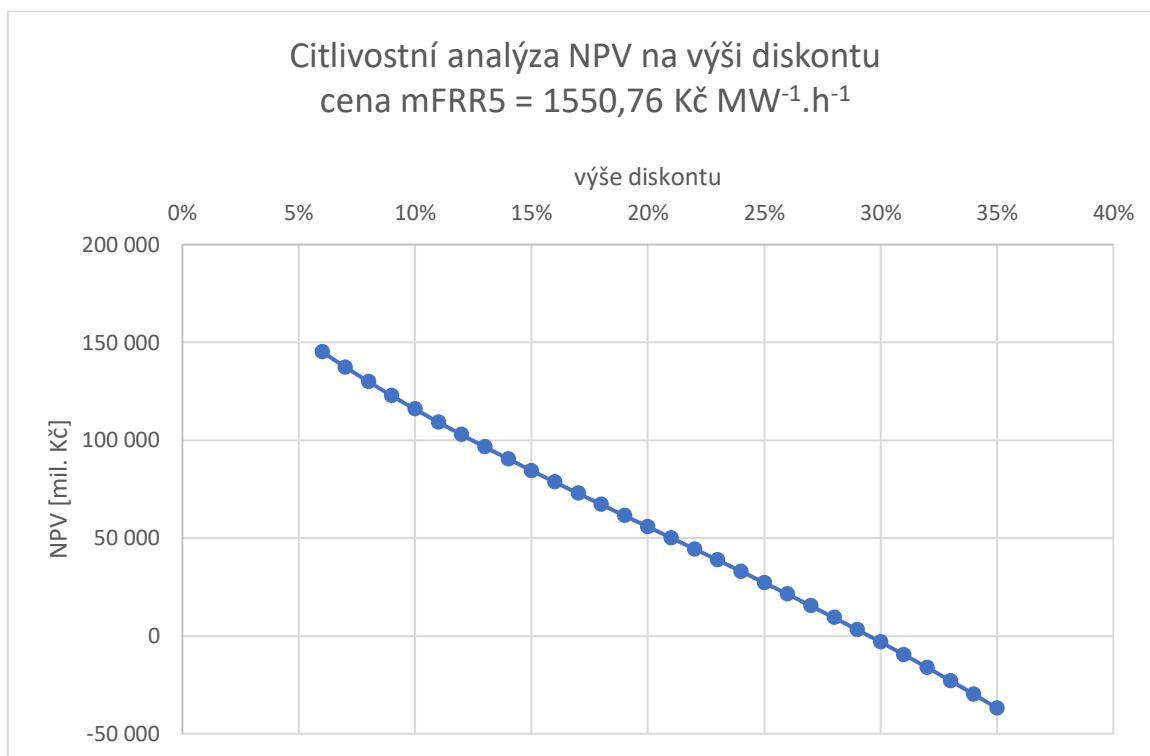
Byla uvažována návratnost projektu jen v době zamýšlené životnosti (30 let). Konečná hodnota stavby byla uvažována nulová. Výsledné hodnoty jsou:

	Včetně RE	Bez RE	
NPV při $d = 22\%$	44 447,45	41 493,39	[mil. Kč]
IRR	16,78 %	16,58 %	[-]

Tab. 6.3 Výsledné hodnoty ekonomických ukazatelů

Lze si povšimnout toho, že míra poskytování RE příliš neovlivnila výsledné ekonomické ukazatele. Citlivostní analýzu proto budu vytvářet jen pro jednu variantu. Variantu pro kterou je citlivostní analýza vytvořena je varianta s dodanou RE.

Z důvodu vysoké inflace diskont stanovený velmi vysoko. Na obrázku níže lze vidět změnu NPV v závislosti na výši diskontu. Cena mFRR₅ byla uvažována jako stálá.

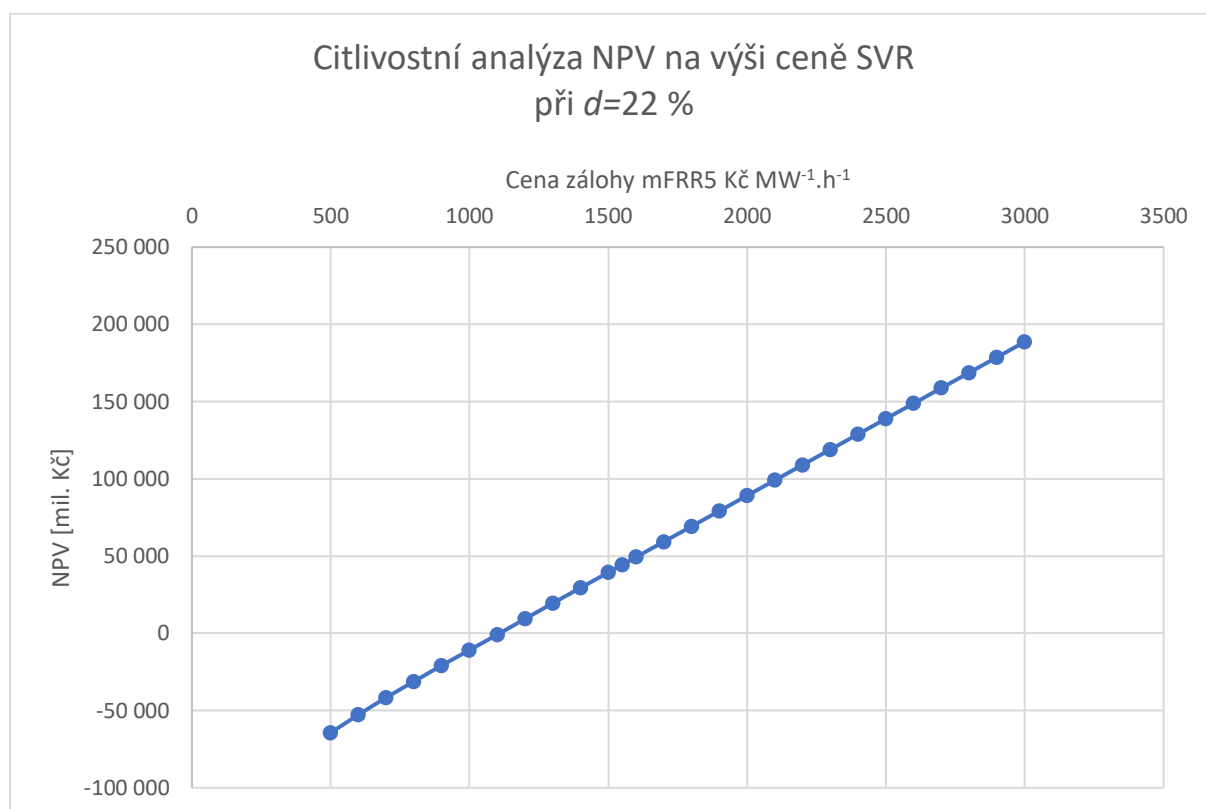


Obr. 6.2 Citlivostní analýza NPV na výši diskontu varianta s poskytovanou RE

Na výše uvedeném grafu lze vidět změnu NPV v závislosti na výši diskontu. Cena mFRR₅ byla uvažována jako stálá. Lze si povšimnout toho, hodnota NPV je velmi silně závislá na diskontu. Důvodem je to, že stavba prvních 6 let nevytváří žádné tržby.

Velký vliv na návratnost investice mělo to, že cizí kapitál byl úročen jen 5 %, zatímco vlastní kapitál používal diskont 22 %. Při tomto výpočtu byl použit poměr vlastního kapitálu ku celkovém kapitálu 50 %, což odpovídá dvojnásobné finanční páce.

Na obrázku níže je graficky vyznačena závislost NPV na ceně služeb SVR.



Obr. 6.3 Citlivostní analýza NPV na výši ceny záloh SVR varianta s poskytovanou RE

Z důvodu zanedbatelné složky ze zisku z dodané RE je tato závislost téměř lineární. Cena SVR se odvíjí od rozdílu cen na denním trhu. Pokud by se odstavovaly jiné špičkové a pološpičkové zdroje tak by to znamenalo nárůst cen této služby podle rovnice číslo (12) ale takového scénáře nedokážu odhadnout.

Byla uvažována životnost stavby 30 let. Z důvodu nemožnosti odhadnout cenu 30 let staré PVE jsem konečnou cenu stavby uvažoval nulovou. NPV projektu je při diskontu 22 % p.a. kladné. To je dáno relativně nízkou cenou cizího kapitálu a také tím, že stavba za dobu. Na základě ekonomických ukazatelů, konkrétně $IRR = 16,58\%$ p. a. pro variantu bez dodané RE a $IRR = 16,78\%$ pro variantu s dodanou RE, se projekt jeví jako vhodná investice.

Závěr

Bakalářská práce nastiňuje problematiku vyvažování sítě a soustředí se na to, jakou roli v ní hrají přečerpávací vodní elektrárny. V úvodu je popsán vliv intermitentních zdrojů energie na síťové odchylky, které ovlivňují rovnováhu sítě, což má vliv na síťovou frekvenci.

V další části jsou popsány systémové služby, které jsou zajišťovány podpůrnými službami. Součástí podpůrných služeb je i SVR. Následně jsou analyzovány podmínky a požadavky pro poskytování různých služeb SVR. Z této analýzy vyplývá, že nejvýhodněji se jeví poskytování služby mFRR₅. V práci jsou také popsány různé další metody akumulace energie, zejména akumulacních vodních elektráren a bateriových úložišť.

Následuje volba návrhu projektu PVE Slavíč, který je jednou z variant ve vyhledávací studii MPO a je provedeno ekonomické zhodnocení vybraného projektu. Jsou popsány konkrétní služby a tržby z nich. Též je stanoven diskont $d = 22 \%$ a zohledněn vliv odpisů a cizího kapitálu na ekonomické ukazatele. Výsledné hodnoty jsou $IRR \cong 16,6 \%$ a $NPV \cong 42$ mld. Kč. v závislosti na míře aktivace.

Obsah práce splnil všechny body zadání.

Přínos této práce spočívá ve vysvětlení toho, proč PVE poskytují především službu mFRR₅ a jaké jsou zisky z poskytování této služby.

Při vypracovávání této práce jsem se naučil odkud plynou příjmy PVE. Vypočítal jsem, jaký je poměr ročních plateb z poskytování RE (237 mil. Kč) vůči poskytování záloh SVR (13,8 mld. Kč). Z těchto dat usuzuji, že ačkoliv existuje možnost poskytování RE provozovateli přenosové soustavy i nad rámec SVR tak tato možnost není pro návratnost projektu zásadní. Též jsem si vytvořil kontakty u zdrojů svých dat, tedy na MPO a ČEPS.

Všechny zmíněné či opomenuté principy použité k určení ceny, například likvidita trhu, vliv budoucího vývoje variabilní složky LCOE zdrojů energie na křivku produkce či odhad ceny výstavby navržené PVE lze více analyzovat. Cílem práce však bylo zůstat u témat související s obsahem zadání.

Seznam použité literatury

- [1] ACER: ACER has decided on the amendment of the common pricing methodology for European electricity balancing markets. *European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.acer.europa.eu/news-and-events/news/acer-has-decided-amendment-common-pricing-methodology-european-electricity-balancing-markets>
- [2] BHATIA, S.C. *Advanced Renewable Energy Systems, (Part 1 and 2)*. Indie: WPI India, 2014. ISBN 9781782422730.
- [3] BUDÍN, Jan. ČEPS vyslyšela volání trhu a zavádí pro baterie možnost samostatného poskytování podpůrných služeb. *O energetice* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/energetika-v-cr/ceps-vyslyse-la-volani-trhu-zavadi-baterie-moznost-samostatneho-poskytovani-podpurnych-sluzeb>
- [4] BUDÍN, Jan. Přecherčpávací vodní elektrárna - princip a uspořádání. *O energetice* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: oenergetice.cz/typy-elektraren/precerpavaci-vodni-elektrarna-princip-usporadani-2
- [5] Č.Štoll, S.Kratochvil, M.Holata Využití vodní energie. Praha: Statní nakladatelství technické literatury, 1977. . DT 621.22.
- [6] ČEPS, *Kodex přenosové soustavy: Část II* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/kodex-ps>
- [7] ČEPS: *Aktivace SVR v ČR* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.ceps.cz/cs/data#AktivaceSVRvCR
- [8] ČEPS: *Data denního zatížení* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: www.ceps.cz/cs/data
- [9] ČEPS: *Kodex přenosové soustavy V* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/kodex-ps>
- [10] ČEPS: Maximální ceny SVR na DT. ČEPS, a.s. [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.ceps.cz/cs/maximalni-ceny-svr-na-dt
- [11] ČEPS: Podpůrné služby. ČEPS, a.s. [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.ceps.cz/cs/podpurne-sluzby
- [12] ČEPS: Systémové služby. ČEPS, a.s. [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.ceps.cz/cs/systemove-sluzby

- [13] ČEPS: Vážené průměry cen PpS 2023. ČEPS, a.s. [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.ceps.cz/cs/statistiky-svr
- [14] Česká televize: Jezero Milada. : *Nedej se!* [online]. 2017 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.ceskatelevize.cz/porady/1095913550-nedej-se/217562248410013/
- [15] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 586/1992 Sb.: *Zákon České národní rady o daních z příjmů*. In: 586/1992. Praha: Ministerstvo vnitra, 1992, ročník 1992, částka 117, číslo 568. Dostupné také z: https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=586/1992&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy
- [16] Český ústav zeměměřičský: *Surovinový informační systém* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/suris/>
- [17] ČEZ: *Malá vodní elektrárna Černé jezero* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/obnovitelne-zdroje/voda/vodni-elektrarny/ceska-republika/cerne-jezero-58157
- [18] ČEZ: *Provozované paroplynové a plynové elektrárny a teplárny* [online]. ČEZ [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/paroplynove-a-plynove-zdroje/provozovane-paroplynove-elektrarny
- [19] ČEZ: *Vodní elektrárna Slapy*. ČEZ, a. s. [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/obnovitelne-zdroje/voda/vodni-elektrarny/ceska-republika/vodni-elektrarna-slapy-58142
- [20] ČEZ: *Vodní elektrárny Štěchovice*. ČEZ, a.s. [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/obnovitelne-zdroje/voda/vodni-elektrarny/ceska-republika/stechovice-58100
- [21] ČHMÚ: *Detail stanice Slavič*. Český hydrometeorologický ústav [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: https://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfdyn.php?seq=45599721
- [22] Clean Energy Wire. Clean Energy Wire [online]. Anna-Louisa-Karsch-Str. 2 10178 Berlin [cit. 2022-02-06]. Dostupné z: www.cleanenergywire.org/factsheets/setting-power-price-merit-order-effect
- [23] CLOETE, Schalk, Oliver RUHNAU a Lion HIRTH. On capital utilization in the hydrogen economy: The quest to minimize idle capacity in renewables-rich energy systems. *International Journal of Hydrogen Energy* [online]. 2021(46), 169-188 [cit. 2023-01-07]. ISSN 0360-3199. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319920336673>, přeloženo

- [24] Commission Regulation (EU) 2017/1485 of 2 August 2017 establishing a guideline on electricity transmission system operation [2017] OJ L220/, 25.8.2017
- [25] *Consilium: Infographic - Where does the EU's gas come from?* [online]. General Secretariat of the European Council [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/eu-gas-supply/>
- [26] ČSÚ: *Index cen bytových nemovitostí - 3. čtvrtletí 2022* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/index-cen-bytovych-nemovitosti-3-ctvrtleti-2022>
- [27] ČSÚ: *Indexy cen průmyslových výrobců - leden 2011* [online]. 25.02.2011 [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/indexy-cen-prumyslovych-vyrobcu-leden-2011-b3ehe85e9n>
- [28] ČSÚ: *Indexy cen stavebních prací, indexy cen stavebních děl a indexy nákladů stavební výroby* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.czso.cz/csu/czso/indexy-cen-stavebnich-praci-indexy-cen-stavebnich-del-a-indexy-nakladu-stavebni-vyroby-ctvrtletni-casove-rady-3-ctvrtleti-2022
- [29] ČSÚ: *Inflace - druhy, definice, tabulky. Český statistický úřad* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.czso.cz/csu/czso/mira_inflace
- [30] Deník.cz: *Století elektřiny. První republika jako zlatá éra uhlí* [online]. VLTAVA LABE MEDIA, 2018 [cit. 2023-01-06]. Dostupné z: www.denik.cz/ekonomika/stoleti-elektriny-prvni-republika-a-socialismus-jako-zlata-era-uhli-20181026.html
- [31] E.ON: *Dotační projekt - Mydlovary* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/mydlovary/>
- [32] *EIA: About 25% of U.S. power plants can start up within an hour* [online]. U.S. Energy Information Administration [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=45956
- [33] *Electrochemical Energy Storage – Battery Storage Power Station* [online]. [cit. 2022-02-06]. Dostupné z: <https://www.nuclear-power.com/energy-conversion-and-storage-efficiency/electrochemical-energy-storage-battery-storage-power-station/>
- [34] ENERGETIS, S.R.O. : *Vyhledávací studie vhodných lokalit pro možnou realizaci přečerpávacích vodních elektráren z hlediska jejich technického, environmentálního, případně ekonomického vyhodnocení a regulační funkce ve vztahu k elektrizační soustavě : souhrnná zpráva. Žižkova 5, 787 01 Šumperk, 2010.*
- [35] *ENTSO-E: Transparency platform: Procured Capacity* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://transparency.entsoe.eu/balancing/r2/procuredCapacity/show>

- [36] *Enviweb: Kamýk stříhá metr do konce modernizace. Celá elektrárna bude spolehlivější a ekologičtější* [online]. 2.10.2020 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.enviweb.cz/117349
- [37] *ERÚ: Návrh cenového rozhodnutí ERÚ, kterým se stanovují ceny služeb výkonové rovnováhy obstarávaných provozovatelem přenosové soustavy na denním trhu* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/navrh-cenoveho-rozhodnuti-kterym-se-meni-cenove-rozhodnuti-eru-c-82021-kterym-se-stanovuji-ceny-za>
- [38] *ERÚ: Odůvodnění žádosti o výjimku podle čl. 6 odst. 9 nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/943 ze dne 5. června 2019 o vnitřním trhu s elektřinou* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: [www.eru.cz/sites/default/files/import_files/Priloha_2_Oduvodneni_zadosti_verze_s_vyznacnym_obc_tajemstvim_%C4%8DI.%206\(9\).pdf](http://www.eru.cz/sites/default/files/import_files/Priloha_2_Oduvodneni_zadosti_verze_s_vyznacnym_obc_tajemstvim_%C4%8DI.%206(9).pdf)
- [39] *ERÚ: Odůvodnění žádosti o výjimku podle čl. 6 odst. 9 nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/943 ze dne 5. června 2019 o vnitřním trhu s elektřinou. Energetický regulační úřad* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: [www.eru.cz/sites/default/files/import_files/Priloha_2_Oduvodneni_zadosti_verze_s_vyznacnym_obc_tajemstvim_%C4%8DI.%206\(9\).pdf](http://www.eru.cz/sites/default/files/import_files/Priloha_2_Oduvodneni_zadosti_verze_s_vyznacnym_obc_tajemstvim_%C4%8DI.%206(9).pdf)
- [40] *ERÚ: Roční zpráva provozu elektrizační soustavy* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/sites/default/files/obsah/prilohy/rocnizpravaprovozes2010.pdf>
- [41] HARMEN SYTZE, de Boer, Lukas GROND, Henk MOLL a René BENDERS. *The application of power-to-gas, pumped hydro storage and compressed air energy storage in an electricity system at different wind power penetration levels* [online]. 2014 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544214006136>. ISSN 0360-5442.
- [42] *Idnes: Dalešická elektrárna funguje 40 let. Na plný výkon se dostane do minuty* Zdroj: https://www.idnes.cz/jihlava/zpravy/elektrarna-dalesice-prehrada-hraz-energie-vysocina-vyroci.A180921_140942_jihlava-zpravy_mv. *Idnes.cz* [online]. MAFRA [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.idnes.cz/jihlava/zpravy/elektrarna-dalesice-prehrada-hraz-energie-vysocina-vyroci.A180921_140942_jihlava-zpravy_mv
- [43] *Industry Open: Přečerpávací vodní elektrárna Černé jezero* [online]. Plzeň [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: https://industryopen.cz/mista/precerpavaci-vodni-elektrarna-cerne-jezero/?doing_wp_cron=1670802740.9987659454345703125000

- [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] *Ministerstvo průmyslu a obchodu: Model zapojení DECE, akumulace a spotřeby včetně elektromobility do procesu řízení ES ČR - průběžná zpráva za rok 2018* [online]. In: . Praha, s. 46 [cit. 2022-02-06]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/2020/2/Flexibilita.pdf>
- [46] *Nazeleno.cz: Vodní elektrárny v České republice: Kolik vyrobí elektriny?0* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: www.nazeleno.cz/energie/vodni-energie/vodni-elektrarny-v-ceske-republice-kolik-vyrobi-elektriny.aspx
- [47] sNejvětší přečerpávací elektrárna Dlouhé Stráně projde modernizací. ČEZ zainvestuje přes 60 milionů. *Ekonomický deník* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://ekonomickydenik.cz/nejvetsi-precerpavaci-elektrarna-dlouhe-strane-projde-modernizaci-cez-zainvestuje-pres-60-milionu/>
- [48] NOVOTNÝ, František. MROŽOVINY: Technický šperk v srdci Jeseníků. *Neviditelný pes* [online]. Praha, 2004 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: https://web.archive.org/web/20160304185912/http://archiv.neviditelnypes.zpravy.cz/clanky/2004/07/38339_21_0_0.html
- [49] *Nuclear Power: Electrochemical Energy Storage – Battery Storage Power Station* [online]. [cit. 2022-02-06]. Dostupné z: <https://www.nuclear-power.com/energy-conversion-and-storage-efficiency/electrochemical-energy-storage-battery-storage-power-station/>
- [50] Ossberger Hydro: Ossberger Cross Flow Turbines. *Ossberger Hydro* [online]. 2020 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.ossbergerhydro.com/cross-flow-turbines.html
- [51] *OTE: Krátkodobé trhy - Vnitrodenní trh* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.ote-cr.cz/cs/kratkodobe-trhy/elektrina/vnitrodenni-trh
- [52] *OTE: Výsledky vnitrodenního trhu - 12.10.2022* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/kratkodobe-trhy/elektrina/vnitrodenni-trh?date=2022-10-12>
- [53] PORTUŽÁK, Roman. Přečerpávací vodní elektrárny. *DocPlayer.cz* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/12765909-Precerpavaci-vodni-elektrarny-roman-portuzak.html>
- [54] *Povodí Ohře: Vodní dílo Nechranice* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: www.poh.cz/vodni-dilo-nechranice/d-2598

- [55] Powerwiki: *Materiály přednášek k předmětu Prvky a provoz elektroenergetických soustav: Řízení napětí a frekvence v ES* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: www.powerwiki.cz/wiki/PPE
- [56] PXE: *Zemní plyn - ceny a grafy PXE zemního plynu* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.kurzy.cz/komodity/pxe-zemni-plyn-graf-vyvoje-ceny/1MWh-eur-2-roky
- [57] RYGL, Sebastian. *Analýza dopadů změny řízení sekundární regulace - aFRR*. Praha, 2020. Diplomová práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. Vedoucí práce Jiří Salavec.
- [58] SANGRODY, Hossein, SARAILLO MORTEZA, NIing ZHOU a Nhu TRAN. Weather forecasting error in solar energy forecasting [online]. [cit. 2023-01-08]. ISSN 1752-1416.
- [59] SEZNAM.CZ, A. S., TOPGIS, S. R. O. Letecká mapa [online]. 19. 12. 2022 [cit. 2023-7-01]. Dostupné z: <https://mapy.cz>
- [60] *Státní správa zeměměřictví a katastru* [online]. ČÚZK, 2022 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://sginahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&MarUid=E576B101%2062CEA7EE&MarUidi=62CEA7EE&MarMiddlePoint=-451482.898841522%20-1133094.819997123&MarScale=32000>
- [61] ŠTĚPÁN, Strial, senior specialista Zajišťování systémových služeb, Ústní sdělení 13.12.2022 11:00, přednáška předmětu Management energetických soustav, ČVUT
- [62] Strojírny Brno: *Peltonovy turbíny* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://strojirnybrno.com/vodni-turbiny/pelton/>
- [63] STUDENÍK, Jiří a Michal SVITAVSKÝ. *Energie větru, vody, biomasy*. Code Creator. ISBN 978-80-88058-08-3.
- [64] Svět energie: Francisova turbína. *Svět energie.cz: Vzdělávací portál ČEZ* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/vodni-elektrarny/vodni-elektrarna-podrobne/francisova-turbina/vyklad
- [65] Svět energie: Kaplanova turbína. *Svět energie: Vzdělávací portál ČEZ* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/vodni-elektrarny/vodni-elektrarna-podrobne/kaplanova-turbina/vyklad
- [66] *Technický týdeník: V Číně funguje rekordní baterie: 400 MWh bez špetky lithia* [online]. Business Media CZ, 20.11.2022 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.technickytydenik.cz/rubriky/energetika-teplo/v-cine-funguje-rekordni-baterie-400-mwh-bez-spetky-lithia_57018.html

- [67] TESAŘ, Jan, senior specialista oddělení Rozvoj dispečerského řízení ČEPS [ústní sdělení]. Praha, 30.8.2022
- [68] Toyota Mirai Vše, co potřebujete vědět o našem novém modelu na vodík [online]. Toyota Central Europe - Czech [cit. 2022-02-06]. Dostupné z: <https://www.toyota.cz/world-of-toyota/news/new-toyota-mirai>
- [69] Toyota: Toyota Mirai Vše, co potřebujete vědět o našem novém modelu na vodík [online]. Toyota Central Europe - Czech [cit. 2022-02-06]. Dostupné z: <https://www.toyota.cz/world-of-toyota/news/new-toyota-mirai>
- [70] TZB-info: V podzemí bývalého dolu v Ostravě vznikla přečerpávací elektrárna [online]. 18.7.2015 [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/117277-v-podzemi-byvaleho-dolu-v-ostrave-vznikla-precerpavaci-elektrarna>
- [71] VOBOŘIL, David. Paroplynová elektrárna – princip funkce [online]. 2015 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: oenergetice.cz/typy-elektren/paroplynova-elektrarna-princip-funkce
- [72] VOBOŘIL, David. Vodní elektrárny - princip, rozdělení, elektrárny v ČR [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/vodni-elektreny-princip-a-rozdeleni
- [73] VOBOŘIL, Jan. Přečerpávací vodní elektrárny v České republice. *O energetice* [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/precerpavaci-vodni-elektreny-v-ceske-republice>
- [74] Vodní elektrárny Štěchovice. ČEZ, a.s. [online]. [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/obnovitelne-zdroje/voda/vodni-elektreny/ceska-republika/stechovice-58100
- [75] World nuclear association: Economics of Nuclear Power [online]. Tower House, 10 Southampton Street, London, WC2E 7HA, United Kingdom: World Nuclear Association, srpen 2022 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx
- [76] ŽIŽKA, Jan. Flexibilita jaderných elektráren – šance pro zastánce atomu? [online]. 2018 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: oenergetice.cz/jaderne-elektreny/flexibilita-jadernych-elektren-sance-zastance-atomu

Seznam příloh

Příloha I: Priloha1_DCFSlavíčCK.xlsx