

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

Posouzení výhodnosti výstavby přečerpávací vodní elektrárny velkého výkonu v lokalitě Cukrová bouda, okres Šumperk

THE ASSESSMENT OF ADVANTAGES OF CONSTRUCTION OF LARGE
HYDROELECTRIC POWER PLANTS IN THE AREA OF CUKROVA BOUDA,
DISTRICT SUMPERK

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. MICHAL KNÁPEK

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Student: Bc. Michal Knápek
Ročník: 2

ID: 106538
Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Posouzení výhodnosti výstavby přečerpávací vodní elektrárny velkého výkonu v lokalitě Cukrová bouda, okres Šumperk

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Uplatnění PVE při poskytování podpůrných služeb provozovateli přenosové soustavy
2. Základní návrh technického řešení včetně vyvedení výkonu do nejbližší rozvodny 400 kV
3. Stanovení jmenovitého výkonu PVE a provozních parametrů turbosoustrojí
4. Vliv výstavby a provozu díla na životní prostředí v lokalitě
5. Stanovení investičních nákladů projektu, provozních nákladů a výnosů z provozu
6. Ekonomická analýza projektu s výpočtem NPV, IRR, návratnosti a měrných investičních nákladů, swot analýza
7. Předpokládaný harmonogram přípravy a realizace díla
8. Posouzení výhodnosti výstavby PVE v lokalitě

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 18.5.2012

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

KNÁPEK, M. *Posouzení výhodnosti výstavby přečerpávací vodní elektrárny velkého výkonu v lokalitě Cukrová bouda, okres Šumperk*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 81 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D..

Jako autor uvedené diplomové (bakalářské) práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové (bakalářské) práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Zároveň bych chtěl také poděkovat doc. Ing. Petru Mastnému, Ph.D. za vedení při tvorbě práce a dále také Ing. Miroslavu Kopřivovi, CSc. za podnětné rady a další přínosné připomínky při zpracování této práce.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

**Posouzení výhodnosti výstavby přečerpávací vodní
elektrárny velkého výkonu v lokalitě Cukrová bouda,
okres Šumperk**

Bc. Michal Knápek

vedoucí: doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2012

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering**

Master's Thesis

**THE ASSESSMENT OF ADVANTAGES OF
CONSTRUCTION OF LARGE HYDROELECTRIC
POWER PLANTS IN THE AREA OF CUKROVA
BOUDA, DISTRICT SUMPERK**

by

Bc. Michal Knápek

Supervisor: doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

Brno University of Technology, 2012

Brno

ABSTRAKT

Náplní této diplomové práce je především posouzení výhodnosti výstavby přečerpávací vodní elektrárny v lokalitě Cukrová Bouda. V úvodu práce je pojednáno o využití přečerpávacích vodních elektráren při poskytování podpůrných služeb provozovateli přenosové soustavy. Dále je tato práce zaměřena na návrh technického řešení, kdy jsou vypracovány dvě možné varianty, pro které jsou stanoveny jmenovité parametry jednotlivých řešení přečerpávací vodní elektrárny. Následuje část zabývající se vlivem stavby a následného provozu díla na životní prostředí. Další stěžejní částí je stanovení investičních a následných provozních nákladů a hodnocení díla podle ekonomických ukazatelů. V poslední části se práce zabývá swot analýzou a předpokládaným harmonogramem přípravy a samotné realizace díla. Celkové zhodnocení je obsahem závěru.

KLÍČOVÁ SLOVA: přečerpávací vodní elektrárna, horní nádrž, kaverna, dolní nádrž, Reverzní Francisova turbína, motorgenerátor, blokový transformátor, kulový uzávěr, parametry PVE, poskytování podpůrných služeb, harmonogram přípravy.

ABSTRACT

The subject matter of the master's thesis is, in particular, an evaluation of the advantageousness of the construction of a pumped-storage hydroelectric power station in the vicinity of Cukrová Bouda. In the master's thesis introduction the utilisation of pumped-storage hydroelectric power stations in providing reserve power generation to the operator of a power transmission system is discussed. The thesis then focuses on a technical design solution where two alternatives are drawn up for which the nominal parameters of individual designs for a pumped-storage hydroelectric power station are specified. The following part deals with the impact of the structure and the plant's subsequent operation on the environment. A further key part is the determination of investment and subsequent operating costs and an evaluation of the plant according to economic pointers. The final part of the master's thesis contains a SWOT analysis and an assumed programme of works for the plant's preparation and actual construction. The conclusion contains an overall evaluation

KEY WORDS:

pumped-storage hydroelectric power station, upper reservoir, cavern, lower reservoir, Francis reversible turbine, motor-generator, block transformer, ball valve, PSH parameters, provision of reserve power generation, programme of works.

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| SEZNAM OBRÁZKŮ..... | 10 |
| SEZNAM TABULEK | 11 |
| SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | 12 |
| 1 ÚVOD..... | 14 |
| 2 CÍL PRÁCE..... | 15 |
| 3 PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNA OBECNĚ..... | 16 |
| 3.1 DŮVOD VYUŽITÍ..... | 16 |
| 3.2 PRINCIP PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNY | 16 |
| 3.3 PROVOZ | 18 |
| 3.4 PVE DLOUHÉ STRÁNĚ | 18 |
| 4 UPLATNĚNÍ PVE PŘI POSKYTOVÁNÍ PODPŮRNÝCH SLUŽEB (PPS)..... | 20 |
| 4.1 OBECNÉ POŽADAVKY NA PPS..... | 20 |
| 4.1.1 DEFINICE PODPŮRNÝCH SLUŽEB | 20 |
| 4.2 MOŽNOSTI PVE PŘI POSKYTOVÁNÍ PODPŮRNÝCH SLUŽEB | 20 |
| 4.3 RYCHLE STARTUJÍCÍ 10-TI MINUTOVÉ ZÁLOHY (QS10) | 21 |
| 4.4 SCHOPNOST STARTU ZE TMY (BS) | 21 |
| 4.5 ZMĚNA ZATÍŽENÍ (ZZ30)..... | 22 |
| 4.6 SCHOPNOST OSTROVNÍHO PROVOZU (OP)..... | 22 |
| 4.7 VYHODNOCENÍ RYCHLE STARTUJÍCÍ 10-TI MINUTOVÉ ZÁLOHY (QS10)..... | 24 |
| 4.8 MINUTOVÁ ZÁLOHA (MZT±) (T=5, 15, 30 MINUT) | 24 |
| 5 PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNA V LOKALITĚ CUKROVÁ BOUDA | 25 |
| 5.1 POPIS LOKALITY | 25 |
| 5.2 VARIANTA A: 4x 126MW | 26 |
| 5.2.1 DOLNÍ NÁDRŽ | 26 |
| 5.2.2 HORNÍ NÁDRŽ | 29 |
| 5.2.3 NÁVRH ENERGETICKÝCH PARAMETRŮ PVE..... | 33 |
| 5.2.4 TLAKOVÉ POTRUBÍ..... | 35 |
| 5.2.5 TURBÍNY | 38 |
| 5.2.6 MOTORGENERÁTORY..... | 38 |
| 5.2.7 BLOKOVÉ TRANSFORMÁTORY | 39 |
| 5.2.8 STROJOVNA..... | 39 |
| 5.2.9 TRAFOKAVERNA | 40 |
| 5.2.10 VYVEDENÍ VÝKONU DO NEJBLIŽŠÍ ROZVODNY..... | 40 |
| 5.3 VARIANTA B: 2x 200MW | 41 |
| 5.3.1 DOLNÍ NÁDRŽ | 41 |
| 5.3.2 HORNÍ NÁDRŽ | 41 |
| 5.3.3 NÁVRH ENERGETICKÝCH PARAMETRŮ PVE..... | 45 |
| 5.3.4 TLAKOVÉ POTRUBÍ..... | 47 |

| | |
|--|-----------|
| 5.3.5 TURBÍNY | 49 |
| 5.3.6 MOTORGENERÁTORY | 49 |
| 5.3.7 BLOKOVÉ TRANSFORMÁTORY | 49 |
| 5.3.8 STROJOVNA | 49 |
| 5.3.9 TRAFOKAVERNA | 50 |
| 6 VLIV VÝSTAVBY A PROVOZU DÍLA NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ V LOKALITĚ..... | 51 |
| 6.1 ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ V LOKALITĚ..... | 51 |
| 6.2 GEOLOGICKÉ POMĚRY | 52 |
| 6.3 VZTAH DÍLA K OCHRANĚ ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ..... | 52 |
| 7 EKONOMICKÁ ANALÝZA PROJEKTU | 54 |
| 7.1 NÁKLADY..... | 54 |
| 7.2 EKONOMICKÁ ANALÝZA..... | 54 |
| 7.2.1 STRUKTURA TRŽEB | 55 |
| 7.2.2 PROVOZNÍ NÁKLADY PVE..... | 55 |
| 7.2.3 OSTATNÍ POTŘEBNÉ VELIČINY A PODMÍNKY PRO EKONOMICKOU ANALÝZU | 55 |
| 7.2.4 PŘEHLED VSTUPNÍCH HODNOT HODNOCENÍ | 56 |
| 7.2.5 HODNOTÍCÍ UKAZATELE EKONOMICKÉ ANALÝZY | 57 |
| 7.2.6 VÝSTUPY EKONOMICKÉ ANALÝZY | 58 |
| 7.3 ZJEDNODUŠENÁ SWOT ANALÝZA | 58 |
| 8 PŘEDPOKLÁDANÝ HARMONOGRAM PŘÍPRAVY A REALIZACE DÍLA..... | 61 |
| 9 ZÁVĚR..... | 63 |
| POUŽITÁ LITERATURA | 66 |
| PŘÍLOHA A: EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VARIANTY A. | 68 |
| PŘÍLOHA B: EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VARIANTY B..... | 72 |
| PŘÍLOHA C: PŘEDPOKLÁDANÝ HARMONOGRAM PŘÍPRAVY A REALIZACE DÍLA..... | 76 |
| PŘÍLOHA D: HYDRAULICKÝ OBVOD PVE..... | 77 |
| PŘÍLOHA E: PŘÍČNÝ ŘEZ STROJOVNOU..... | 78 |
| PŘÍLOHA F: ORIENTAČNÍ ELEKTRICKÉ SCHÉMA PVE | 79 |
| PŘÍLOHA G: ZAČLENĚNÍ PVE V TERÉNU..... | 80 |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|-----------|
| <i>Obr. 3-1 Schéma PVE</i> | <i>16</i> |
| <i>Obr. 3-2 Letecký pohled na dolní a horní nádrž PVE Dlouhé Stráně[13]</i> | <i>19</i> |
| <i>Obr. 5-1 Umístění PVE v České republice[12]</i> | <i>26</i> |
| <i>Obr. 5-2 Umístění PVE v oblasti [12]“</i> | <i>26</i> |
| <i>Obr. 5-3 Umístění dolní hráze[12].....</i> | <i>27</i> |
| <i>Obr. 5-4 Náčrt dolní hráze</i> | <i>28</i> |
| <i>Obr. 5-5 Náčrt horní hráze.....</i> | <i>30</i> |
| <i>Obr. 5-6 Umístění horní nádrže v terénu pro Variantu A[12].....</i> | <i>33</i> |
| <i>Obr. 5-7 Výškové rozložení nádrží</i> | <i>34</i> |
| <i>Obr. 5-8 Podélný řez přivaděčem a zaústěním do dolní a horní nádrže.....</i> | <i>36</i> |
| <i>Obr. 5-9 Trasa venkovního vedení vývodu výkonu do rozvodny Krasíkov[12].</i> | <i>40</i> |
| <i>Obr. 5-10 Náčrt horní hráze.....</i> | <i>42</i> |
| <i>Obr. 5-11 Umístění horní nádrže v terénu pro Variantu B [12].....</i> | <i>44</i> |
| <i>Obr. 5-12 Výškové rozložení nádrží pro Variantu B</i> | <i>46</i> |
| <i>Obr. D-1Hydraulický obvod PVE</i> | <i>77</i> |
| <i>Obr. E-1 Příčný řez strojovnou</i> | <i>78</i> |
| <i>Obr. F-1 Orientační elektrické schéma</i> | <i>79</i> |
| <i>Obr. G-1 Pohled na PVE z Mirovské hory.....</i> | <i>80</i> |
| <i>Obr. G-2 Letecký pohled na PVE.....</i> | <i>80</i> |
| <i>Obr. G-3 Letecký pohled na PVE.....</i> | <i>81</i> |

SEZNAM TABULEK

| | |
|--|-----------|
| <i>Tab. 4-1 M-denní průtoky v lokalitě.....</i> | <i>25</i> |
| <i>Tab. 4-2 N-leté průtoky v lokalitě.....</i> | <i>25</i> |
| <i>Tab. 4-3 Objem dolní nádrže.....</i> | <i>27</i> |
| <i>Tab. 4-4 Návrh hloubky horní nádrže pro Variantu A.....</i> | <i>32</i> |
| <i>Tab. 4-5 Návrh hloubky horní nádrže pro Variantu B.....</i> | <i>44</i> |
| <i>Tab. 6-1 Přehledová tabulka celkových nákladů.</i> | <i>54</i> |
| <i>Tab. 6-2 Přehledová tabulka vstupů hodnocení.....</i> | <i>56</i> |
| <i>Tab. 6-3 Přehledová tabulka výstupů ekonomické analýzy.....</i> | <i>58</i> |
| <i>Tab. 6-4 Tabulka SWOT analýzy.....</i> | <i>59</i> |
| <i>Tab. 6-5 Tabulka možného opatření před hrozbami.</i> | <i>60</i> |
| <i>Tab. A-1 Náklady Varianty A.</i> | <i>68</i> |
| <i>Tab. A-2 Přehledová tabulka výpočtu ekonomického hodnocení Varianty A.</i> | <i>70</i> |
| <i>Tab. A-3 Tabulka citlivostní analýzy ceny QS a elektrické energie pro Variantu A.....</i> | <i>71</i> |
| <i>Tab. B-1 Náklady Varianty B.</i> | <i>72</i> |
| <i>Tab. B-2 Přehledová tabulka výpočtu ekonomického hodnocení Varianty B.</i> | <i>74</i> |
| <i>Tab. B-3 Tabulka citlivostní analýzy ceny QS a elektrické energie pro Variantu B.....</i> | <i>75</i> |

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|---------------|---|
| D_{Tj} | průměr jednoho tunelu |
| b | šířka koruny hráze |
| BS | schopnost startu ze tmy |
| C_{ABdna} | cena asfaltobetonového těsnění svahů |
| C_{ABsvah} | cena asfaltobetonového těsnění dna |
| C_{celk} | celková cena |
| CF | Case Flow -peněžní tok |
| C_{jABdna} | jednotková cena asfaltobetonového těsnění svahů |
| $C_{jABsvah}$ | jednotková cena asfaltobetonového těsnění dna |
| $C_{jnás}$ | jednotková cena kamenitého násypu |
| $C_{nás}$ | cena kamenitého násypu |
| $D_{přiv}$ | průměr potrubí přivaděče |
| DZt | dispečerská záloha |
| E_T | využitelná energie vody jednoho cyklu |
| hc | celková výška hráze |
| H_{max} | maximální spád PVE |
| H_{min} | minimální spád PVE |
| $H_{STŘ}$ | střední spád PVE |
| i | diskontní sazba |
| INV | investice |
| IRR | Internal Rate of Return - vnitřní výnosové procento |
| k_{DNmax} | kóta maximální hladiny dolní nádrže |
| k_{DNmin} | kóta minimální hladiny dolní nádrže |
| k_{HNmax} | kóta maximální hladiny horní nádrže |
| k_{HNmin} | kóta minimální hladiny horní nádrže |
| K_{od} | kritérium odlehlosti |
| L | délka koruny hráze |
| $L_{dlč}$ | délka dolní ležaté části |
| $L_{hlč}$ | délka horní ležaté části |
| L_p | délka paty hráze |
| $L_{přiv}$ | délka přivaděče |
| L_t | délka tunelu |
| $L_{úč}$ | délka úklonné části |
| m | sklon svahu |
| Mz | minutová záloha |
| NPV | Net Present Value - čistá současná hodnota |
| OP | schopnost ostrovního provozu |
| P_i | instalovaný výkon |
| P_o | výkon bloku před přechodem do ostrovního provozu. |
| PpS | podpůrné služby |
| PR | primární regulace f bloku |
| P_{tmax} | maximální turbínový výkon |
| PVE | přečerpávací vodní elektrárna |
| Q_{100} | stoletý průtok |
| QS10 | rychle startující 10-ti minutová záloha |
| QS15 | rychle startující 15-ti minutová záloha |
| Q_T | turbínový průtok |

| | |
|--------------------|--|
| QTj | hltnost jednotky |
| Q_{tj} | průtok jedním tunelem |
| R_1 | průměr dna |
| R_2 | průměr středu násypu |
| R_{2V} | průměr hladiny při plném napuštění |
| $R_{STŘ}$ | střední průměr svahů |
| s | šířka svahu |
| S_{dna} | plocha dna |
| SR | sekundární regulace P bloku |
| SRUQ | sekundární regulace U/Q |
| S_{svahu} | plocha svahů |
| SyS | systemové služby |
| SZ ₃₀ | snížení výkonu |
| TR | terciární regulace P bloku |
| V_A | objem násypu dolní nádrže - část A |
| V_B | objem násypu dolní nádrže - část B |
| V_C | objem násypu dolní nádrže - část C |
| V_{celk} | celkový objem násypu dolní nádrže |
| V_D | objem násypu dolní nádrže - část D |
| V_{DEF} | objem násypu dolní nádrže - část DEF |
| V_E | objem násypu dolní nádrže - část E |
| V_F | objem násypu dolní nádrže - část F |
| V_G | objem násypu dolní nádrže - část G |
| V_H | objem násypu dolní nádrže - část H |
| V_I | objem násypu dolní nádrže - část I |
| VS | vlastní spotřeba |
| VSR | Vltava |
| W | objem násypu nádrže |
| W_{kaver} | objem výlomu kaverny |
| $W_{ražl}$ | objem výlomu jednoho přivaděče |
| W_{trafok} | objem výlomu trafokaverny |
| W_{tun1} | objem výlomu jednoho přivaděče |
| ZZ ₃₀ | změna zatížení |
| δ | statika proporcionálního regulátoru otáček |
| Δh_{kol} | kolísání hladiny |
| η_c | účinnost cyklu |
| η_ε | účinnost v čerpadlovém chodu |
| η_t | účinnost v turbínovém chodu |

1 ÚVOD

Průběh spotřeby elektrické energie během dne je v závislosti na požadavku spotřebitele proměnný. Vyrovnání špiček vzniklých při velkém nebo naopak malém odběru je nutné zajistit zdroji s možností jednoduché regulace dodávaného výkonu, při zajištění malých ztrát a to jak ekonomických, tak i energetických. Při zajištění těchto požadavků mají nezastupitelnou úlohu přečerpávací vodní elektrárny. Tyto elektrárny jsou svým řešením schopny pokrýt náhlé a neočekávané změny výkonu v elektrizační soustavě dodávkou nebo i odběrem elektrické energie.

Především u velkých tepelných a jaderných elektráren je obtížné měnit v průběhu krátkého časového horizontu dodávaný výkon. Toto omezení vyplývá z případných vznikajících ztrát a tím docházejícího snížení využití paliva. Proto je záhodno využívat tyto zdroje pro kontinuální dodávku a pro vykrývání špičkové změny výkonu využívat přečerpávacích vodních elektráren, popřípadě i akumulačních vodních elektráren. Nepochybnou výhodou těchto zdrojů je poměrně krátká doba najetí a to v řádech jednotek minut.

V poslední době se význam těchto zdrojů zvýšil s poměrně vysokou instalací obnovitelných zdrojů a to především zdrojů způsobujících náhle změny výkonu, které jsou závislé na aktuálních přírodních podmínkách.

2 CÍL PRÁCE

Náplní této diplomové práce je zhodnocení výhodnosti výstavby přečerpávací vodní elektrárny. Zvolená lokalita s názvem PVE Cukrová Bouda je umístěna na pomezí Olomouckého a Pardubického kraje a to v blízkosti obce Hoštejn.

Práce bude pojednávat o možnostech uplatnění přečerpávací vodní elektrárny při poskytování podpůrných služeb provozovateli přenosové soustavy. V následující části se zaměří na uvažovanou přečerpávací vodní elektrárnu v lokalitě Cukrová bouda. Zde budou pro porovnání vypracovány dvě varianty technického řešení s ohledem na instalovaný výkon a počet osazených technologických jednotek.

V následující části práce pojedná o vlivech díla na životní prostředí v daném místě a geologických poměrech v oblasti stavby.

Stěžejní kapitolou bude samotné ekonomické zhodnocení. Zde bude vypracována ekonomická analýza projektu, kdy porovnávacími kritérii bude NPV (čistá současná hodnota), IRR (vnitřní výnosové procento) a doba splacení vložených finančních prostředků. Součástí této kapitoly bude taktéž Swot analýza, která definuje silné a slabé stránky, příležitosti a hrozby spojené s daným projektem.

V poslední kapitole bude zpracován orientační předpokládaný harmonogram přípravy a realizace díla.

3 PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNA OBECNĚ

3.1 Důvod využití

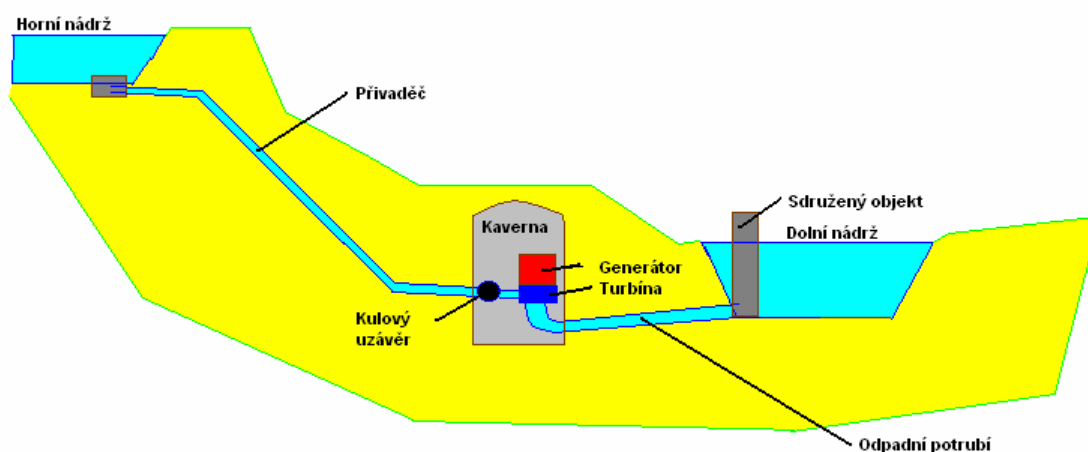
Výkon velkých tepelných a především jaderných elektráren je možné v průběhu dne měnit jen omezeně. Případné omezení dodávky těchto zdrojů je doprovázeno nemalými ztrátami energie a tím také snižování výsledného využití energie paliva. Navíc je velmi neekonomické stavět velké energetické zdroje, které by byly v provozu jen několik hodin denně, tento provoz zdroje by byl neúměrně drahý.

Proto se jaderné a velké tepelné elektrárny provozují vždy v základním zatížení sítě. Kdežto pro pokrytí špiček je využíváno vodních elektráren a přečerpávacích vodních elektráren. Význam přečerpávacích vodních elektráren je hlavně v pokrytí špičkové spotřeby energie a to způsobené změnou zatížení nebo výpadkem významného prvku vedení.

Význam přečerpávacích elektráren se zvyšuje rovněž rozšiřováním alternativních zdrojů energie, v současné době hlavně energie získané z fotovoltaických a také větrných elektráren. Dodávka těchto zdrojů je téměř neregulovatelná a její předvídání je omezené.

3.2 Princip přečerpávací vodní elektrárny

Přečerpávací vodní elektrárna se skládá ze dvou vodních nádrží. Jedna z nádrží je umístěna na níže položeném místě a nazývá se dolní nádrž. Druhá je umístěna na vyšším místě a nazývá se horní nádrž. Rozdíl hladin těchto nádrží je nazýván spádem a je jedním z hlavních parametrů přečerpávací vodní elektrárny. Umístění jednotlivých prvků PVE v terénu ukazuje následující obrázek Obr. 3-1.



Obr. 3-1 Schéma PVE

Při přebytečném množství energie v energetické soustavě je aktivován čerpadlový provoz, dochází k čerpání vody z dolní nádrže do horní nádrže. V tuto chvíli se PVE chová jako zátěž. V období špiček zatížení v energetické soustavě přechází PVE do turbínového provozu a dodává energii zpět do soustavy.

Hlavními částmi PVE jsou dolní a horní nádrž, tlakové potrubí a samotná strojovna. V tlakových přivaděčích se v případě potřeby umísťují vyrovnávací komory, které mají za úkol tlumit hydraulické rázy, které vznikají při manipulaci s vodním sloupcem.

PVE rozlišujeme také podle způsobu akumulace vody a to na PVE s umělou nebo smíšenou akumulací vody.

U nádrží záleží na tom, jestli je PVE s čistě umělou akumulací vody nebo se smíšenou akumulací vody. PVE se smíšenou akumulací je tvořena tak, že její horní nádrž je přehradní hrází v korytě řeky a má přirozený přítok vody. Dolní nádrž bývá současně vyrovnávací nádrž a umísťuje se do ní malá vodní elektrárna.

PVE s čistě umělou akumulací je tvořena tak, že její horní nádrž je uměle vytvořena bez přirozeného přítoku. Voda se do horní nádrže dopravuje pouze čerpáním z dolní nádrže, ta je vždy postavena na vodním toku. Tyto elektrárny mají uzavřený koloběh vody.

Ztráty vody v důsledku průsaku či odpařování jsou nahrazovány přirozeným přítokem do spodní nádrže.

Horní nádrž má buď sypanou hráz, nebo výjimečně i betonovou. Její hráz mívá nepravidelný tvar přizpůsobený možnostem terénu. Protože je nutné utěsnit před průsaky dno a svahy nádrže, využívá se pro tyto účely asfaltový beton. Propuštěná voda nedokonalým těsněním je odváděna pomocí drenáže. Tato prosáknutá voda by mohla při rychlém poklesu hladiny během turbínového provozu poškodit těsnění přetlakem. Horní nádrž se umísťuje tak, aby byl objem její hráze odpovídající objemu výkopů a výlomů pro nádrž. Toto řešení je ekonomicky nejvýhodnější. Tyto elektrárny pracují s velkým spádem a tudíž je při jejich stavbě využita morfologie terénu.

Strojovnu PVE je možné postavit nad zemí, ale obvyklé je také umístění v podzemí, v důkladně odvětrávané kaverně. Strojovna může být vybavena čtyř, tří nebo i dvoustrojovými bloky. Čtyřstrojové bloky se používají při čerpání vody na velké dopravní výšky a jsou tvořeny turbínou, generátorem, čerpadlem a motorem. Další třístrojové uspořádání sestává z turbíny, čerpadla a motorogenerátoru. U těchto uspořádání je spojení turbíny a čerpadla buď pevnou spojkou nebo vysouvatelnou spojkou. Při použití pevné spojky je nutné při provozu turbíny odvodnit a zavzdušnit čerpadlo a při provozu čerpadla naopak. To způsobuje ztráty, a proto se toto řešení moc nepoužívá. Vysouvatelná spojka se používá nejčastěji při vertikálním uspořádání. Při turbínovém provozu je spojka rozpojena a čerpadlo stojí. Tímto odpadají ztráty výkonu způsobené odporem čerpadla. Toto uspořádání umožňuje provoz soustrojí čerpadla a turbíny v jednom směru, toho se využívá pro zkrácení manipulačního času mezi přechody mezi jednotlivými provozu. Tohoto se s výhodou využívá při regulaci kmitočtu v elektrizační soustavě.

Dnes nejpoužívanějším uspořádáním je uspořádání dvoustrojové, které je tvořeno motorogenerátorem a reverzní turbínou. Turbína a čerpadlo jsou tedy současně jeden hydraulický stroj. Nejběžnějším typem je turbína dvousměrná, která pracuje v jednom směru jako čerpadlo a v druhém směru jako turbína. Nevýhodou těchto strojů je nutnost změny smyslu otáčení při přechodu z turbínového do čerpadlového provozu nebo naopak. Výhodou tohoto uspořádání je menší výška soustrojí, což znamená nižší požadavky na stavbu a tedy i nižší náklady.

Tlakový přivaděč mezi nádržemi je většinou tvořen tlakovým ocelovým potrubím. U PVE se smíšenou akumulací vody potrubí prochází pouze přehradou a má tedy minimální délku. Naopak v případě umělých horních nádrží, kdy jsou od sebe obě nádrže vzdáleny vzhledem

k reliéfu krajiny poměrně daleko, je délka výrazně delší oproti již zmiňovaným PVE se smíšenou akumulací.

PVE dělíme podle spádu na středotlaké a vysokotlaké. Středotlaké elektrárny mají spád od 15 do 50 metrů. Do vysokotlakých spadají vodní elektrárny se spádem nad 50m. [4]

3.3 Provoz

Provozní stavy soustrojí PVE dělíme na:

- klidový stav
- turbínový provoz
- čerpadlový provoz
- kompenzační provoz

Možnosti rozběhu soustrojí PVE do čerpadlového provozu:

- asynchronním rozběhem synchronního motorogenerátoru
- pomocí rozběhového asynchronního motoru
- frekvenčním střídačem a hydroalternátorem

Účinnost PVE

Výsledná účinnost PVE je součinem účinností jednotlivých částí PVE. Energetická bilance PVE závisí na řešení způsobu provozu elektrárny. Stanovení účinnosti PVE se provádí pro velký a malý cyklus. Velký cyklus uvažuje i ztráty vzniklé na přenosové cestě mezi zdrojem a čerpadlem při čerpadlovém provozu, ztráty při přenosu energie zákazníkovi a také účinnost kondenzační (resp. jaderné elektrárny). Malý cyklus tyto ztráty neuvažuje.

U starších PVE se účinnost pohybovala mezi 50 až 65%. V nových PVE je dosahováno vyšších účinností malého cyklu a to až na 78% (pro účely této diplomové práce však budeme uvažovat s účinností 75%).

3.4 PVE Dlouhé Stráně

PVE disponuje nádržemi s maximálním výškovým rozdílem hladin 532,7 m. Horní nádrž se nachází na vrcholu hory Dlouhé Stráně v nadmořské výšce 1350 m a má provozní objem 2 580 000 m³ (celkový objem 2 719 750 m³) a zabírá plochu 15,4 ha. Při provozu dochází ke kolísání hladin o 21,8m.

Dolní nádrž leží na říčce Divoká Desná v nadmořské výšce 824,7 m. Její celkový objem je 3 405 000 m³ a plocha 16,3 ha. Při provozu kolísá hladina o 22,2m.



Obr. 3-2 Letecký pohled na dolní a horní nádrž PVE Dlouhé Stráně[13]

Jelikož se areál elektrárny nachází uvnitř chráněné krajinné oblasti, bylo požadováno co nejnižšího zásahu do krajiny, proto je z ekologických důvodů celý provoz umístěn v podzemí. V kaverně o rozměrech $87,5 \times 25,5 \times 50$ m jsou umístěna dvě 24 metrů vysoká turbosoustrojí s reverzními Francisovými turbínami. Jednotkový výkon každého bloku je 325 MW (výkon v turbínovém režimu).

S horní nádrží je kaverna spojena dvěma přivaděči o průměru 3,6 m a délce 1547 a 1499 m a na koncích opatřena kulovými uzávěry. S dolní nádrží je propojena dvěma tunely o průměru 5,2m a délce 354 a 390 m. Hltnost každé turbíny je $68,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Vedle turbínové kaverny se nachází trafokaverna, o rozměru $115 \times 16 \times 21,7$ m, ve které jsou rozvodny 22 kV a dva blokové trojfázové transformátory 22kV/400kV. Výkon je vyveden o napětí 400 kV do zapouzdrěného vývodového pole a dále venkovním vedením 52 km do rozvodny v Krasíkově.

Elektrárna se využívá především pro zajištění Rychle startující 10-ti minutové zálohy. Po vyslání příkazu Dispečinku ČEPS poskytují sjednanou zálohu v podobě najetí elektrárny do turbínového provozu a dodávky požadovaného výkonu, nebo při čerpání odstavením samotného čerpání.

PVE je doplněna malou vodní elektrárnou vybavenou Francisovou turbínou o výkonu 163kW.[1]

4 UPLATNĚNÍ PVE PŘI POSKYTOVÁNÍ PODPŮRNÝCH SLUŽEB (PPS)

4.1 Obecné požadavky na PpS

Všechny podpůrné služby musí splňovat tyto obecné požadavky: [9]

- Měřitelnost – se stanovenými kvantitativními parametry a způsobem měření.
- Garantovaná dostupnost služby během denního, týdenního a ročního cyklu s možností vyžádat si inspekci.
- Certifikovatelnost – stanovený způsob prokazování schopnosti poskytnout služby pomocí periodických testů.
- Možnost průběžné kontroly poskytování.

4.1.1 Definice podpůrných služeb

K zajištění „systémových služeb“ (SyS) používá ČEPS „podpůrné služby“ (PpS) poskytované jednotlivými uživateli PS. ČEPS tak dosahuje správné a spolehlivé fungování ES v rámci standardů, které si pro provoz zvolil, nebo které přijal jako člen propojených soustav. Následující část popisuje PpS tak, jak jsou poskytovány jednotlivými subjekty na jejich zařízeních: [9]

- Primární regulace f bloku (PR)
- Sekundární regulace P bloku (SR)
- Terciární regulace P bloku (TR)
- Rychle startující 10-ti minutová záloha (QS₁₀)
- Rychle startující 15-ti minutová záloha (QS₁₅)
- Dispečerská záloha (DZ_t)
- Změna zatížení (ZZ₃₀)
- Snížení výkonu (SV₃₀)
- Vltava (VSR)
- Sekundární regulace U/Q (SRUQ)
- Schopnost ostrovního provozu (OP)
- Schopnost startu ze tmy (BS)

4.2 Možnosti PVE při poskytování podpůrných služeb

Hlavním záměrem při uvažování výstavby PVE je poskytování podpůrných služeb. Základní a nejpoužívanější je služba Rychle startující 10-ti minutové zálohy (QS₁₀). Požadavkem této služby je rychlé najetí na požadovaný výkon a to v krátkém čase do deseti minut od požadavku

dispečera. Samotná PVE je také vhodná pro poskytování služby startu ze tmy, kdy je schopná dodávat potřebný rozběhový výkon pro startující spolupracující tepelnou elektrárnu blízko tomuto zdroji. Je možné nabídnout i regulaci primární, sekundární a terciární. Dále je schopna zajistit i další služby a to Změnu zatížení při čerpadlovém provozu, případně omezeně i schopnost ostrovního provozu.

4.3 Rychle startující 10-ti minutové zálohy (QS10)

Samotná PVE patří svými vlastnostmi mezi zdroje, schopné poskytovat podpůrnou službu **Rychle startující 10-ti minutové zálohy (QS10)**. Tyto bloky musí být schopny do 10 minut od příkazu Dispečinku ČEPS poskytnout sjednanou zálohu RZ QS10, najetí programového čerpání, nebo odpojení čerpání. Tyto bloky jsou využívány za účelem vyregulování výkonové nerovnováhy vzniklé jako důsledek náhlé a výrazné změny zatížení nebo výpadků elektrárenských bloků. Zodpovědností provozovatele tedy je obnova načerpání a zajištění možnosti poskytnout tuto službu. Minimální velikost (RZQS₁₀) jednoho bloku musí být 30 MW (pokud není s provozovatelem PS dohodnuto jinak). Minimální doba, po kterou musí být garantováno poskytování rychle startující 10-ti minutové zálohy (RZQS₁₀), jsou 4 hodiny. [9]

4.4 Schopnost startu ze tmy (BS)

Schopnost najetí bloku bez pomoci vnějšího zdroje napětí na jmenovité otáčky, dosažení jmenovitého napětí, připojení k síti a zajištění provozu v ostrovním režimu.

Schopnost vybraných bloků pro start ze tmy je nezbytná pro obnovu dodávky po částečném nebo úplném rozpadu sítě. Tato schopnost je legislativně podložena vyhláškou č. 80/2010 Sb., o stavu nouze v energetice a o obsahových náležitostech havarijního plánu. Výběr vhodných bloků pro plnění služby Startu ze tmy provádí ČEPS v dohodě s poskytovatelem této služby. [9]

Požadavky na vybrané bloky pro start ze tmy:

a) Dodržení postupu

Po obdržení požadavku od ČEPS na Start ze tmy se provedou následující úkony, které se řídí dle smluvně dohodnutého časového a výkonového rozpětí.

1. okamžité zahájení najíždění bloku bez použití vnějšího zdroje napětí
2. připojení napětí do nadřazené sítě (vedení zvn nebo vvn) v požadované kvalitě (napětí, stabilita a kmitočet), blok pracuje v regulačním režimu ostrovního provozu
3. obnovení napájení přiřazené části sítě dle pokynů Dispečinku ČEPS
4. postupné zatěžování ostrova činným výkonem pomocí předem určených změn zatížení
5. provoz ve stanovených výkonových mezích s limitem frekvenčních a napěťových odchylek
6. opětné připojení vzniklé ostrovní sítě ke zbývajícím distribučním soustavám
7. paralelní provoz se soustavou
8. další provoz podle pokynů ČEPS

b) Koordinovatelnost postupu

Poskytovaná PpS musí být v souladu s Plánem obnovy, kompatibilní s postupy obnovy a s provozními instrukcemi a předpisy dotčených subjektů (výrobců el.energie a regionálních distribučních podniků v dané lokalitě).

c) Schopnost ostrovního provozu

Vybraný blok musí být schopen pracovat v ostrovním provozu, a musí mít platnou certifikační zkoušku na PpS - Schopnost ostrovního provozu.

d) Dostupnost služby.

Pro kontrolu schopnosti startu ze tmy je povinen poskytovatel této PpS provádět periodické certifikační testy. ČEPS má právo požadovat na poskytovateli možnost inspekce připravenosti k plnění této podpůrné služby provedené způsobem, který neovlivní provoz bloku. [1]

4.5 Změna zatížení (ZZ₃₀)

Blok může poskytnout službu v podobě změny zatížení a to odlehčení nebo zvýšení o předem definovanou a garantovanou velikost regulační zálohy na požadavek provozovatele PS.

Tato změna zatížení nespadá do kategorie změn, které jsou povinně realizované podle vypínacího, regulačního a frekvenčního plánu.

Blok musí být schopen dosáhnout do 30min. plné velikosti sjednané služby od požadavku Dispečera ČEPS. Daný blok musí být schopen realizovat tuto PpS nejméně po dobu 2 hodin. Minimální velikost jednoho zařízení poskytujícího tuto službu je alespoň 10MW. [9]

4.6 Schopnost ostrovního provozu (OP)

Tuto službu může nabízet elektrárenský blok který je schopen být provozován do vydělené části vnější sítě tzv. ostrova. Pro ostrovní provoz jsou požadovány velké nároky na regulační schopnost bloku. Schopnost bloku pracovat v ostrovním režimu je nezbytná pro přecházení a řešení stavu nouze a je legislativně podložena vyhláškou o stavu nouze v elektroenergetice. S ohledem na práci bloku v ostrovním režimu lze předpokládat značnou změnu veličin- napětí a frekvence, což odpovídá předpokladu bloku pracujícího do izolované části soustavy. Při poklesu frekvence pod 49,8Hz nebo při vzrůstu nad 50,2Hz přechází automaticky elektrárenský blok do regulačního režimu ostrovního provozu. Zatížení ostrovní sítě je proměnné a v závislosti na něm vyvolává změny napětí a frekvence. Blok musí být schopen řešit tyto změny napětí a frekvence svou autonomní regulací. [9]

Požadavky na schopnosti bloku:**a. Přechod do ostrovního provozu**

Přechod bloku do ostrovního provozu je charakterizován náhlou změnou frekvence a vznikem bilanční nerovnováhy činného popřípadě i jalového výkonu. Toto je nejčastěji indikováno pomocí vhodného frekvenčního relé, které se nastavuje na hodnotu danou frekvenčním plánem.

Při přechodu do ostrovního provozu je nutné okamžitě zajistit toto:

- změnu režimu regulace bloku na proporcionální regulaci otáček,

- odpojení dálkové regulace výkonu, což spočívá ve vypojení bloku ze sekundární regulace frekvence a výkonu,
- odpojení automatické sekundární regulace napětí ze systému terciární regulace napětí,
- aperiodický a stabilní přechod otáček na novou hodnotu, která je dána hodnotou frekvence v ostrovu a nastavenými parametry regulace otáček, výkon turbíny může kolísat mezi jmenovitou hodnotou výkonu a hodnotou vlastní spotřeby,
- odepnutí bloku od vnější sítě a dále provoz pouze na vlastní spotřebu, pokud kmitočet vybočí z mezí daných frekvenčním plánem. Přechod na otáčky při napájení vlastní spotřeby bloku musí být stabilní,
- přepnutí nutných regulací bloku do režimu vhodného pro ostrovní provoz.

b. Ostrovní provoz

Technologické zařízení bloku a bloková regulace musí zajistit:

- Stabilní paralelní spolupráci s ostatními bloky zapojenými v daném ostrovu
- Adekvátní odezvu na požadavek dodání činného a jalového výkonu v závislosti na změně frekvence a napětí. Tato odezva musí být zajištěna i při práci s nenominálními parametry frekvence a napětí. Adekvátní odezvou rozumíme tzv. idealizovanou závislost výkonu turbíny P_{id} na stacionární odchylce frekvence Δf .

$$P_{id} = P_0 - \frac{100}{\delta} \frac{P_n}{f_n} \Delta f \quad (4.1)$$

kde: δ je statika proporcionálního regulátoru otáček

P_0 je výkon bloku před přechodem do ostrovního provozu.

Dle pokynu dispečera PS měnit dostatečně jemně a plynule výkon soustrojí.

c. Opětné připojení ostrova k soustavě

Blok musí být schopen:

- pracovat v režimu ostrovního provozu po dobu minimálně 2 hodin,
- dle pokynů dispečera PS regulovat frekvenci ostrova dostatečně plynule a jemně, tak aby byl schopen provést v daném místě opětné přifázování ostrova k propojené soustavě,
- blok musí být schopen připojení k vnější síti při požadovaném kmitočtu a svorkovém napětí $(92 < u < 108) \% U_n$,
- v případě, že se blok fází v rozvodně PS, musí být blok schopen přivést napětí po blokovém vedení do této rozvodny.

d. Dostupnost služby

Pro kontrolu schopnosti ostrovního provozu je povinen poskytovatel této PpS provádět periodické certifikační testy. ČEPS má právo požadovat na poskytovateli možnost inspekce připravenosti k plnění této podpůrné služby provedené způsobem, který neovlivní provoz bloku.

4.7 Vyhodnocení Rychle startující 10-ti minutové zálohy (QS₁₀)

Při každém povelu ke startu bloku (QS₁₀) se eviduje čas pokynu dispečera ČEPS. Dále se eviduje čas dosažení požadovaného výkonu a provozní doba od najetí bloku. Za aktivaci (QS₁₀) se též považuje odstavení PVE z čerpání.

Vyhodnocuje se splnění požadované doby najetí bloku, splnění minimální požadované doby provozu bloku a plnění výkonu požadovaného Dispečinku ČEPS. Podkladem pro hodnocení poskytování (QS₁₀) je denní hodnocení prováděné útvary ČEPS, a to následující údaje:

1. disponibilní výkon v (QS₁₀) pro každou hodinu,
2. aktivace (QS₁₀) po hodinách a blocích,
3. počet úspěšných a neúspěšných aktivací (QS₁₀)
4. garantovaná energie na jednotlivých zdrojích.

Jako úspěšná aktivace se hodnotí:

- aktivace (QS₁₀) v čase kratším než 10 min. dle požadavku dispečera ČEPS,
- udržení výkonu bloku na požadované hodnotě po dobu, dokud dispečer ČEPS nedá pokyn k odstavení (nepoužije se, byla-li vyčerpána energie odpovídající 4 hodinám vykoupěného výkonu (QS₁₀))
- deaktivace (QS₁₀) dle požadavku dispečera ČEPS,
- dodržení garantovaného množství energie na bloku.

Nejsou-li všechny výše zmíněné body splněny, považuje se aktivace bloku za neúspěšnou. [9]

4.8 Minutová záloha (MZt±) (t=5, 15, 30 minut)

Tuto podpůrná služba je zavedena od ledna 2012.

Službu mohou nabízet zařízení, připojená k ES ČR, která jsou schopna do t minut od příkazu Dispečinku ČEPS poskytnout sjednanou regulační zálohu RZMZ±.

Kladná regulační minutová záloha může být realizována např. zvýšením výkonu bloku, odpojením odpovídajícího zařízení od ES, odpojením čerpání nebo najetím programového čerpání (u PVE).

Záporná regulační minutová záloha může být realizována např. snížením výkonu bloku, připojením odpovídající zátěže k ES nebo najetím čerpání (u PVE).

Minimální velikost minutové regulační zálohy RZMZt± pro t=5min u jednoho bloku musí být 30 MW (pokud není s provozovatelem PS dohodnuto jinak). Maximální výkon zařízení, určí ČEPS. Minimální doba poskytnutí této garantované služby jsou 4 hodiny a to i v případě aktivace této služby na konci intervalu její rezervace. [9]

5 PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNA V LOKALITĚ ČUKROVÁ BOUDA

5.1 Popis lokality

Umístění: Blízké sídlo: Hoštejn
 Okresy: Šumperk, Ústí nad Orlicí
 Kraje: Olomoucký, Pardubický
 Vodní tok: Březná
 Správce toku: Povodí Moravy

5.1.1.1 Vodohospodářské parametry[11]

Tab. 5-1 M-denní průtoky v lokalitě

| M [dny] | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 | 355 | 364 |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|-------|-----|------|-------|-------|-------|-----|
| Q [m ³ /s] | 3,85 | 2,68 | 2,08 | 1,68 | 1,39 | 1,16 | 0,967 | 0,8 | 0,65 | 0,508 | 0,361 | 0,209 | 0,1 |

Tab. 5-2 N-leté průtoky v lokalitě

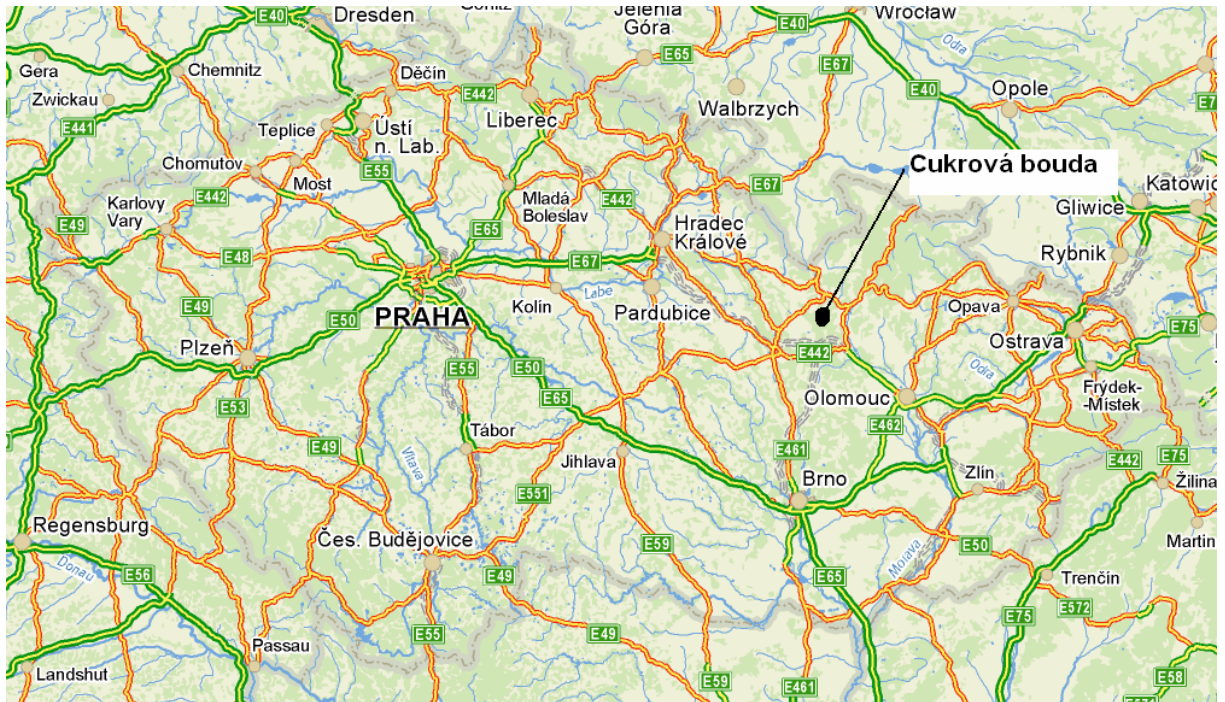
| M [léta] | 1 | 5 | 10 | 50 | 100 |
|-----------------------|------|----|------|------|-----|
| Q [m ³ /s] | 17,5 | 33 | 41,2 | 63,7 | 75 |

Lokalita PVE je uvažována v údolí dolní části toku Březná a na přilehlém kopci Cukrová bouda. Předpokládané umístění dolní nádrže nad obcí Hoštejn s kótou paty hráze 308 m.n.m. a možné umístění horní nádrže na kopci Cukrová bouda s možnou kótou koruny horní hráze 597m.n.m. ukazuje, že je zde možno dosáhnout poměrně vysokého spádu. Tato lokalita je velmi významná pro stavbu PVE.

Výstavbou dolní nádrže dojde k částečnému zatopení osady Drozdovská Pila a silnice č. 3684 spojující Hoštejn a Štítý.

Lokalita je součástí přírodního parku Březná, který skýtá chráněné území o rozloze 11600ha. Tento park se rozkládá mezi městy Zábřeh a Štítý na území mikroregionu Zábřežsko a tvoří jej zejména okolí řek Březná a Moravská Sázava. Přírodní park je unikátní propojení přírodních krás a činností člověka v krajině.

Přírodní park je tvořen náhorními plošinami, do kterých se řeky Moravská Sázava a Březná a také jejich přítoky hluboce zařezávají a vytvářejí tak symetrická malebná údolí s velice příkrými svahy.



Obr. 5-1 Umístění PVE v České republice [12]



Obr. 5-2 Umístění PVE v oblasti [12]

5.2 Varianta A: 4x 126MW

Tato varianta poskytuje vyšší energetické využití pro přečerpávací vodní elektrárnu. Objem horní nádrže by měl vystačit na 8 hodin provozu. Dolní nádrž by mohla poskytovat i retenční objem pro zachycení povodňových průtoků.

5.2.1 Dolní nádrž

Dolní nádrž se navrhuje umístit těsně nad obcí Hoštejn v údolí mezi kopci Homole a Strejcov cca 600 nad soutokem Březné s Moravskou Sázavou. V daných podmínkách je hráz navržena jako kamenitá s návodním asfaltobetonovým těsněním. Sklon návodního svahu se uvažuje 1:2

a na vzdušné straně se sklonem 1:1,5. Profil hráze je navržen co nejnižší na toku a v nejužším místě. Výška hráze a přehradní profil jsou koncipovány tak, aby bylo možné splnit požadované funkce nádrže. V této lokalitě se uvažuje o plnění funkce energetické a protipovodňové ochrany. Z hlediska vodohospodářského může být i část retenčního objemu použita k nadlepšování průtoku pod přehradou v období sucha.



Obr. 5-3 Umístění dolní hráze[12]

Hráz bude vybavena injekční štolou v místě navázání terénu s vlastním tělesem hráze. Tato štola bude také využívána pro kontrolu průsaku.

Funkční sdružený objekt bude umístěn v levé části hráze v místě nynějšího toku, na který bude navazovat. Objekt bude zajišťovat funkci bezpečnostního přelivu, spodní výpustí a potrubím pro malou vodní elektrárnu, která bude využívat přebytečný přítok do nádrže a zajišťovat minimální zůstatkový průtok v původním korytě pod přehradou. Bezpečnostní prvky musí být dimenzovány minimálně na stoletý průtok $Q_{100} = 75\text{m}^3/\text{s}$. [1]

5.2.1.1 Výpočet objemu dolní nádrže

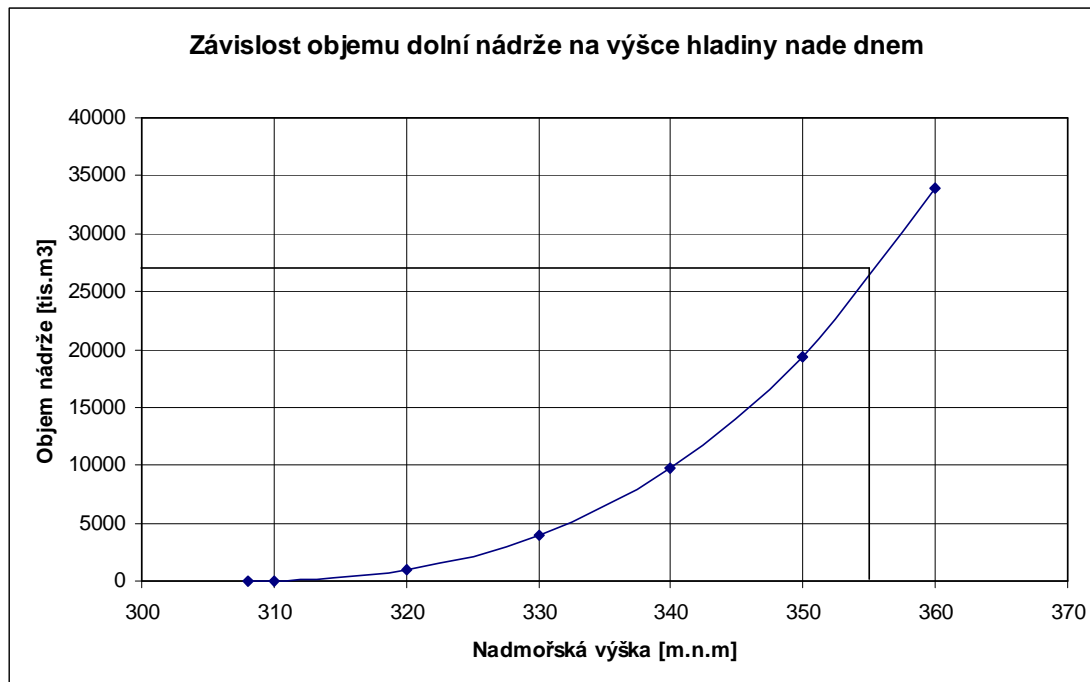
Pro výpočet je nutné zjistit plochy území na jednotlivých vrstevnicích. Tyto plochy byly změřeny z mapy. Z teréních možností vyplývá jako vhodná výška hráze 52m.

Výpočet vychází z teorie komolého kuželu, kdy plocha na nižší kótě představuje dolní podstavu kuželu a následující vyšší kóta představuje horní plochu komolého kuželu.

Tab. 5-3 Objem dolní nádrže

| Kóta hladiny | Výška vrstvy | Výška hladiny nade dnem | Plocha | Objem | Suma objemu |
|--------------|--------------|-------------------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------|
| [m.n.m] | [m] | [m] | [m ²] | [tis.m ³] | [tis.m ³] |
| 308 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 310 | 2 | 2 | 22000 | 22 | 22 |
| 320 | 10 | 12 | 165500 | 937,5 | 959,5 |
| 330 | 10 | 22 | 422000 | 2937,5 | 3897 |
| 340 | 10 | 32 | 746000 | 5840 | 9737 |
| 350 | 10 | 42 | 1185000 | 9655 | 19392 |
| 360 | 10 | 52 | 1724000 | 14545 | 33937 |
| | | | | celkový objem nádrže | |

Následující graf zobrazuje velikosti objemů dolní nádrže v závislosti na její výšce.



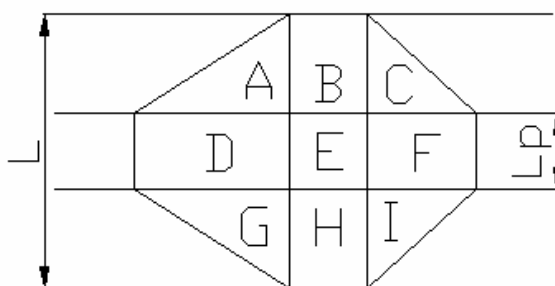
Graf 1 Objem dolní nádrže

5.2.1.2 Výpočet objemu násypu dolní nádrže

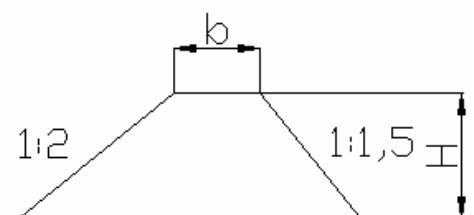
Pro výpočet objemu násypu vycházíme z hodnot:

- Maximální výška hráze $H_{max} = 54m$
- Délka koruny hráze $L = 325m$
- Délka paty hráze $L_p = 90m$
- Šířka komunikace umístěné na koruně hráze $b = 4m$
- Sklon návodního svahu 1:2
- Sklon vzdušného svahu 1:1,5
- Sklon pravobřežního a levobřežního svahu 1:2

Půdorys hráze



Podélný řez



Obr. 5-4 Náčrt dolní hráze

Pro výpočet objemu násypu si objekt hráze rozdělíme na několik segmentů, jak ukazuje

Obr. 5-4 . Pro zjednodušení uvažujeme, že levobřežní i pravobřežní sklon jsou stejné.

$$V_A = \frac{n \cdot H^2}{2} \cdot \left(\frac{(L - Lp)}{3} \right) = \frac{2 \cdot 54^2}{2} \cdot \left(\frac{(325 - 90)}{3} \right) = 114210 m^3 = V_G \quad (5.1)$$

$$V_B = \frac{\left(\frac{(L - Lp)}{2} \right) \cdot H \cdot b}{2} = \frac{\left(\frac{(325 - 90)}{2} \right) \cdot 54 \cdot 4}{2} = 12690 m^3 = V_H \quad (5.2)$$

$$V_c = \frac{m \cdot H^2}{2} \cdot \left(\frac{(L - Lp)}{3} \right) = \frac{1,5 \cdot 54^2}{2} \cdot \left(\frac{(325 - 90)}{3} \right) = 85658 m^3 = V_I \quad (5.3)$$

$$V_{DEF} = \left(\frac{n \cdot H + m \cdot H + 2b}{2} \right) \cdot H \cdot L = \left(\frac{1,5 \cdot 54 + 2 \cdot 54 + 2 \cdot 4}{2} \right) \cdot 54 \cdot 90 = 478710 m^3 \quad (5.4)$$

$$\begin{aligned} V_{celk} &= V_A + V_B + V_C + V_G + V_H + V_I + V_{DEF} = \\ &= 114310 + 12690 + 85658 + 478710 + 114310 + 12690 + 85658 = 904024 m^3 \end{aligned} \quad (5.5)$$

Z vypočtených hodnot je patrné, že při zatopení nádrže na kótu 360m.n.m. bude celková zatopená plocha 172,4ha a objem nadržené vody 33,9mil.m³

Pro samotnou výstavbu dolní hráze je nutné navést násep o objemu 904024m³ horniny.

5.2.2 Horní nádrž

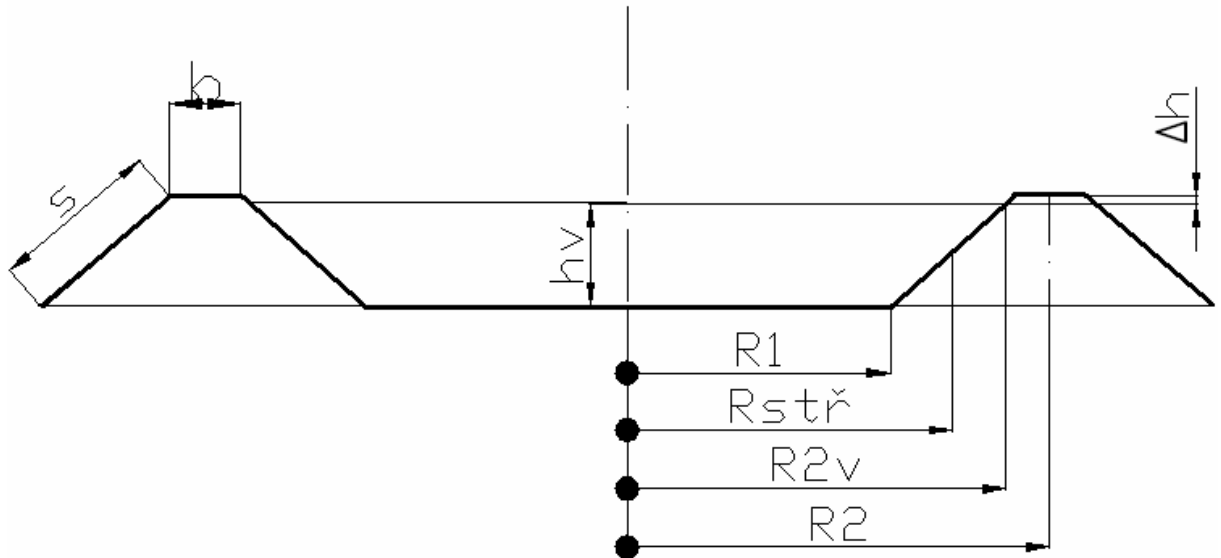
Při návrhu objemu horní nádrže vyjdeme z objemu dolní nádrže s uvážením jejích dalších funkcí. Zvolíme pro energetické využití kolísání hladin z maximální hladiny v dolní nádrži o cca 3m, při této volbě bereme v úvahu i předpokládanou délku provoz PVE v turbínovém režimu cca 5 hodin. Při uvážení těchto předpokladů dále určíme pro toto kolísání použitelný energetický objem $V_E = 4\,320\,000 m^3$.

Nádrž bude navržena na maximální objem 5 000 000 m³. Tento objem se uvažuje v rezervou objemu stálého nadržení.

5.2.2.1 Určení optimálních parametrů horní nádrže

Horní nádrž je navrhována se sypanou hrází. Hloubka nádrže je závislá na objemu a ploše nádrže. Při určení optimálních parametrů vycházíme z toho, že se zvyšující hloubkou se snižuje plocha dna, ale naopak se zvyšují plochy svahů a množství násypu horniny. Optimální hloubku určíme jako variantu hloubky s nejnižšími celkovými náklady.

Při výpočtu celkových nákladů vycházíme z ceny kamenitého násypu 900 Kč/m³. Dále uvažujeme cenu asfaltobetonového těsnění dna 4000 Kč/m³ a cena asfaltobetonového těsnění svahů 5000 Kč/m³



Obr. 5-5 Náčrt horní hráze

Pro jednoduchost výpočtu uvažujeme zjednodušení, kdy pro výpočet použijeme vztah pro objem válce. Při určité hloubce určíme střední průměr svahů a dále příslušné dílčí výpočty pro určení celkové ceny varianty.

Jednotlivé parametry pro určení optimálních parametrů horní nádrže určíme takto:

Příklad je uveden pro první řádek tabulky.

Uvažujeme:

- Objem nádrže $5\,000\,000\text{ m}^3$
- Sklon svahu 1:2 (1:m)
- Šířku koruny $b = 4\text{ m}$
- Výška hráze nad maximální hladinou $\Delta h = 2\text{ m}$
- Cena kamenitého násypu $C_{jnas} = 900\text{ Kč} / \text{m}^3$
- Cena asfaltobetonového těsnění dna $C_{jABdna} = 4000\text{ Kč} / \text{m}^2$
- Cena asfaltobetonového těsnění svahů $C_{jABsvah} = 5000\text{ Kč} / \text{m}^2$

Určení středního průměru svahů $R_{STŘ}$

$$R_{STŘ} = \sqrt{\frac{V}{h \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{5000000}{13,5 \cdot \pi}} = 343,4\text{ m} \quad (5.6)$$

Z této hodnoty vypočteme průměr dna R_1 , průměr hladiny při plném napuštění R_{2V} a průměr středu násypu R_2

$$R_1 = R_{STR} - \left(\frac{h}{2} \cdot m \right) = 343,4 - \left(\frac{13,5}{2} \cdot 2 \right) = 329,9m \quad (5.7)$$

$$R_{2V} = R_{STR} + \left(\frac{h}{2} \cdot m \right) = 343,4 + \left(\frac{13,5}{2} \cdot 2 \right) = 356,9m \quad (5.8)$$

$$R_2 = R_{2V} + \Delta h \cdot m + \frac{b}{2} = 356,9 + 2 \cdot 2 + \frac{4}{2} = 362,9m \quad (5.9)$$

Celková výška hráze h_c

$$h_c = h + \Delta h = 13,5 + 2 = 15,5m \quad (5.10)$$

Šířka svahu s

$$s = \sqrt{h^2 + (h \cdot m)^2} = \sqrt{13,5^2 + (13,5 \cdot 2)^2} = 34,7m \quad (5.11)$$

Plocha dna S_{dna}

$$S_{dna} = R_1^2 \cdot \pi = 329,9^2 \cdot \pi = 341900m^2 \quad (5.12)$$

Plocha svahů S_{svahu}

$$\begin{aligned} S_{svahu} &= \pi \cdot (R_1 + R_2) \cdot \sqrt{(R_2 - R_1)^2 + h_c^2} = \\ &= \pi \cdot (329,9 + 362,9) \cdot \sqrt{(362,9 - 329,9)^2 + 15,5^2} = 79300m^2 \end{aligned} \quad (5.13)$$

Střední délka hráze L

$$L = \pi \cdot 2 \cdot R_2 = \pi \cdot 2 \cdot 362,9 = 2278,8m \quad (5.14)$$

Objem násypu nádrže W

$$W = \left(\frac{b + (b + 2 \cdot (h_c \cdot m))}{2} \cdot h_c \right) \cdot L = \left(\frac{4 + (4 + 2 \cdot (15,5 \cdot 2))}{2} \cdot 15,5 \right) \cdot 2278,8 = 1236200m^3 \quad (5.15)$$

Cena kamenitého násypu C_{nas}

$$C_{nas} = W \cdot C_{jnas} = 1236200 \cdot 900 = 1112,6 \text{ mil. Kč} \quad (5.16)$$

Cena asfaltobetonového těsnění dna C_{ABdna}

$$C_{ABdna} = S_{dna} \cdot C_{jABdna} = 341800 \cdot 4000 = 1367,3 \text{ mil. Kč} \quad (5.17)$$

Cena asfaltobetonového těsnění svahu $C_{ABsvahu}$

$$C_{ABsvahu} = S_{pl} \cdot C_{jABsvahu} = 79300 \cdot 5000 = 396,5 \text{ mil. Kč} \quad (5.18)$$

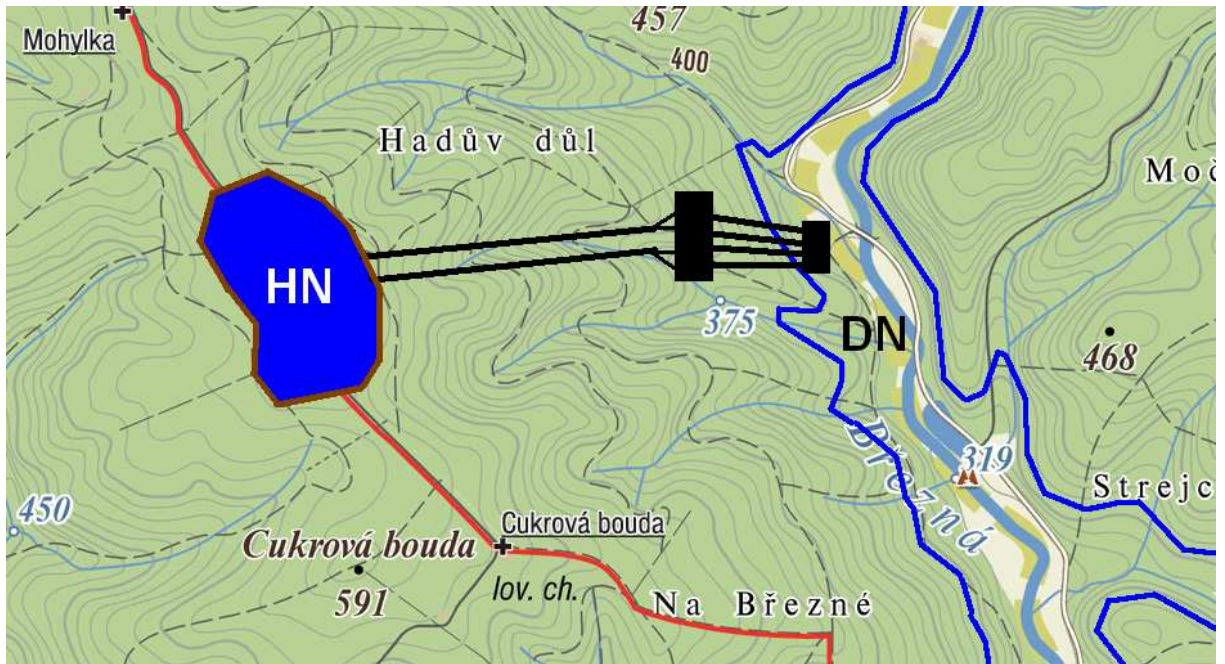
Výsledná celková cena C_{celk}

$$C_{celk} = C_{nas} + C_{ABdna} + C_{ABsvahu} = 1112,6 + 1367,3 + 396,5 = 2876,4 \text{ mil. Kč} \quad (5.19)$$

Tab. 5-4 Návrh hloubky horní nádrže pro Variantu A

| h_v | R_1 | R_{2v} | R_2 | h_c | s | S_{dna} | S_{pl} | L | W | C_{nas} | C_{ABdna} | C_{ABsvah} | C_{celk} |
|-------------|-------|----------|-------|-------------|------|------------------------|------------------------|--------|------------------------|-----------|-------------|--------------|---------------|
| [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [tis. m ²] | [tis. m ²] | [m] | [tis. m ³] | [mil. Kč] | [mil. Kč] | [mil. Kč] | [mil. Kč] |
| 12 | 352,2 | 376,2 | 382,2 | 14 | 31,3 | 389,7 | 76,3 | 2400,1 | 1075,3 | 967,7 | 1558,6 | 381,7 | 2908,1 |
| 12,5 | 344,3 | 369,3 | 375,3 | 14,5 | 32,4 | 372,5 | 77,3 | 2357,1 | 1127,9 | 1015,1 | 1489,9 | 386,7 | 2891,6 |
| 13 | 336,9 | 362,9 | 368,9 | 15 | 33,5 | 356,6 | 78,3 | 2316,7 | 1181,5 | 1063,4 | 1426,3 | 391,6 | 2881,2 |
| 13,5 | 329,9 | 356,9 | 362,9 | 15,5 | 34,7 | 341,8 | 79,3 | 2278,8 | 1236,2 | 1112,6 | 1367,3 | 396,5 | 2876,4 |
| 14 | 323,2 | 351,2 | 357,2 | 16 | 35,8 | 328,1 | 80,3 | 2243,0 | 1292,0 | 1162,8 | 1312,4 | 401,4 | 2876,6 |
| 14,5 | 316,8 | 345,8 | 351,8 | 16,5 | 36,9 | 315,3 | 81,2 | 2209,4 | 1348,8 | 1213,9 | 1261,2 | 406,2 | 2881,3 |
| 15 | 310,7 | 340,7 | 346,7 | 17 | 38,0 | 303,3 | 82,2 | 2177,5 | 1406,7 | 1266,0 | 1213,4 | 411,0 | 2890,3 |
| 15,5 | 304,9 | 335,9 | 341,9 | 17,5 | 39,1 | 292,1 | 83,1 | 2147,4 | 1465,6 | 1319,0 | 1168,5 | 415,7 | 2903,2 |

Z tabulky je patrné, že nejvhodnější variantou bude hráz s výškou hladiny $h_v = 13,5\text{m}$.



Obr. 5-6 Umístění horní nádrže v terénu pro Variantu A[12]

Hráz bude umístěna na kopci poblíž Cukrové Boudy. Její tvar bude přizpůsoben terénním podmínkám tak, aby bylo dosaženo potřebné velikosti. Při uvažování umístění je nutné brát také v potaz umístění v blízkosti dolní nádrže z důvodu délky přivaděče a dále také umístění nádrže v co nejvyšší poloze s ohledem na co nejvyšší dosažený spád. [1]

Přesný tvar i objem horní i dolní nádrže by byl stanoven v případných dalších navazujících stupních projektové dokumentace za použití potřebného programového vybavení a výpočetní techniky.

5.2.3 Návrh energetických parametrů PVE

Určení středního provozního spádu turbíny

Kóta terénu budoucího dna horní nádrže je stanovena z mapových podkladů s ohledem na vyrovnaní výkopu horniny použité do násypu hráze. Kóta dna je tedy stanovena na 585 m.n.m..

Kótu maximální hladiny v horní nádrži stanovíme jako kótu dna $k_{HN\text{dna}} = 585\text{m.n.m}$ povýšenou o výšku hladiny v nádrži 15 m. Tedy výsledná kóta maximální hladiny je $k_{HN\text{max}} = 600\text{m.n.m}$.

Výpočet kolísání hladiny v horní nádrži pro energetické využití Δh_{kol}

- vyjdeme opět ze zjednodušení v podobě použití výpočtu válce
- energetický objem $V_E = 4\,320\,000\text{m}^3$.

$$\Delta h_{\text{kol}} = \frac{V}{R_{\text{STR}}^2 \cdot \pi} = \frac{4320000}{393,9^2 \cdot \pi} = 14,23\text{m} \quad (5.20)$$

Nyní lze určit kótu minimální hladiny v horní nádrži $k_{HN\text{min}}$

$$k_{HN\text{min}} = k_{HN\text{max}} - \Delta h_{\text{kol}} = 600 - 14,23 = 585,77\text{m.n.m.} \quad (5.21)$$

Dále pro výpočet potřebujeme již určené kóty v dolní nádrži. Vycházíme z hodnot pro maximální nadržení.

- maximální hladina v dolní nádrži $k_{DNmax} = 360\text{m.n.m}$
- minimální hladina v dolní nádrži $k_{HNmin} = 355\text{m.n.m}$

Maximální spád PVE H_{max}

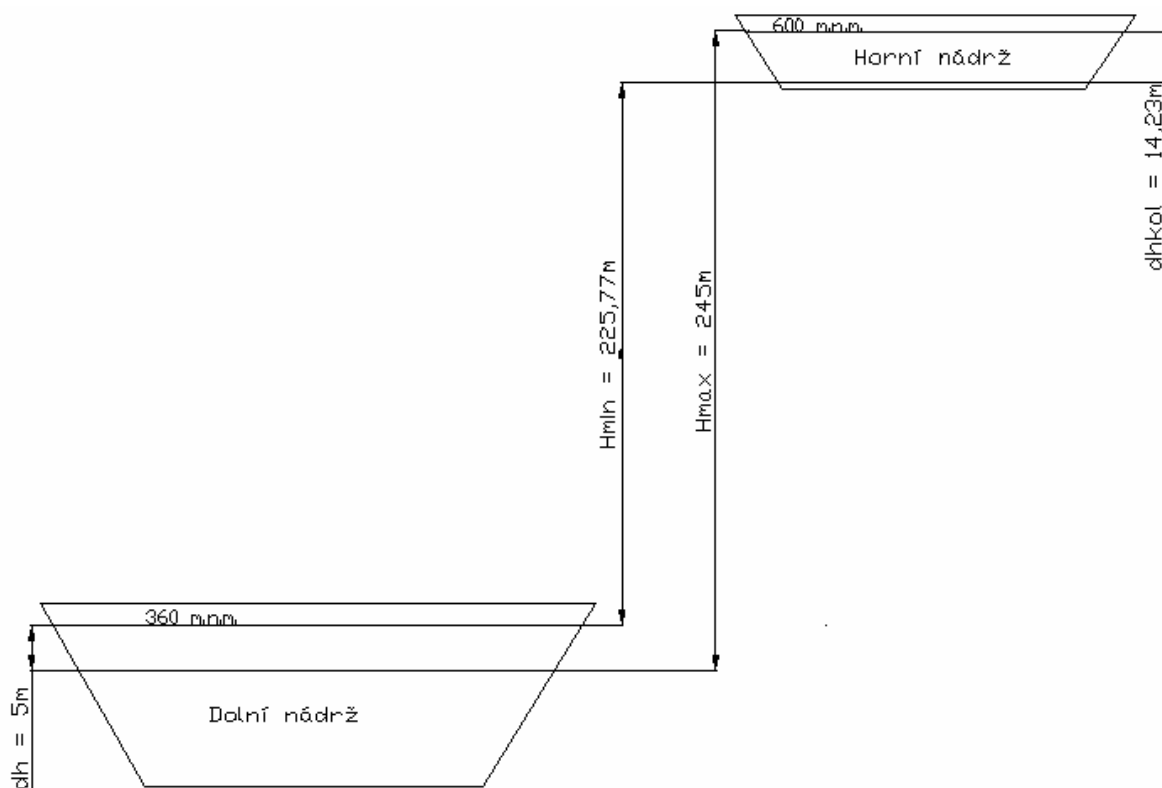
$$H_{max} = k_{HNmax} - k_{DNmin} = 600 - 355 = 245\text{m} \quad (5.22)$$

Minimální spád PVE H_{min}

$$H_{min} = k_{HNmin} - k_{DNmax} = 585,77 - 360 = 225,77\text{m} \quad (5.23)$$

Střední provozní spád PVE H_{STR}

$$H_{STR} = \frac{H_{max} + H_{min}}{2} = \frac{245 + 225,77}{2} = 235,4\text{m} \quad (5.24)$$



Obr. 5-7 Výškové rozložení nádrží

5.2.3.1 Nyní přistoupíme k určení energetických parametrů PVE

Při návrhu PVE bude uvažován maximální denní provoz v turbínovém provozu $t_t = 5$ hodin.

Z těchto údajů určíme maximální turbínový průtok Q_T pro splnění těchto požadavků

$$Q_T = \frac{V_E}{t_t} = \frac{432000}{5 \cdot 3600} = 240 \text{ m}^3 / \text{s} \quad (5.25)$$

Dále pro výpočet budeme potřebovat účinnosti jednotlivých stavů.

- účinnost v turbínovém chodu $\eta_t = 0,91$
- účinnost v čerpadlovém chodu $\eta_c = 0,83$
- účinnost cyklu $\eta_c = 0,75$

Maximální turbínový výkon $P_{t_{\max}}$

$$P_{t_{\max}} = H_{ST\check{R}} \cdot Q_T \cdot 9,81 \cdot \eta_t \cdot 1000 = 235,4 \cdot 240 \cdot 9,81 \cdot 0,91 \cdot 1000 = 504,3 \text{ MW} \quad (5.26)$$

Využitelná energie vody jednoho cyklu E_T

$$E_T = H_{ST\check{R}} \cdot \frac{V_E}{3600} \cdot 9,81 \cdot \eta_t \cdot 1000 = 235,4 \cdot \frac{432000}{3600} \cdot 9,81 \cdot 0,91 \cdot 1000 = 2,52 \text{ GW} \quad (5.27)$$

PVE bude osazena 4 soustrojími, tudíž jednotkový instalovaný výkon bude P_i

$$P_i = \frac{P_{t_{\max}}}{4} = \frac{504,3}{4} = 126 \text{ MW} \quad (5.28)$$

Hltnost jednotky Q_{Tj}

$$Q_{Tj} = \frac{Q_T}{x} = \frac{240}{4} = 60 \text{ m}^3 / \text{s} \quad (5.29)$$

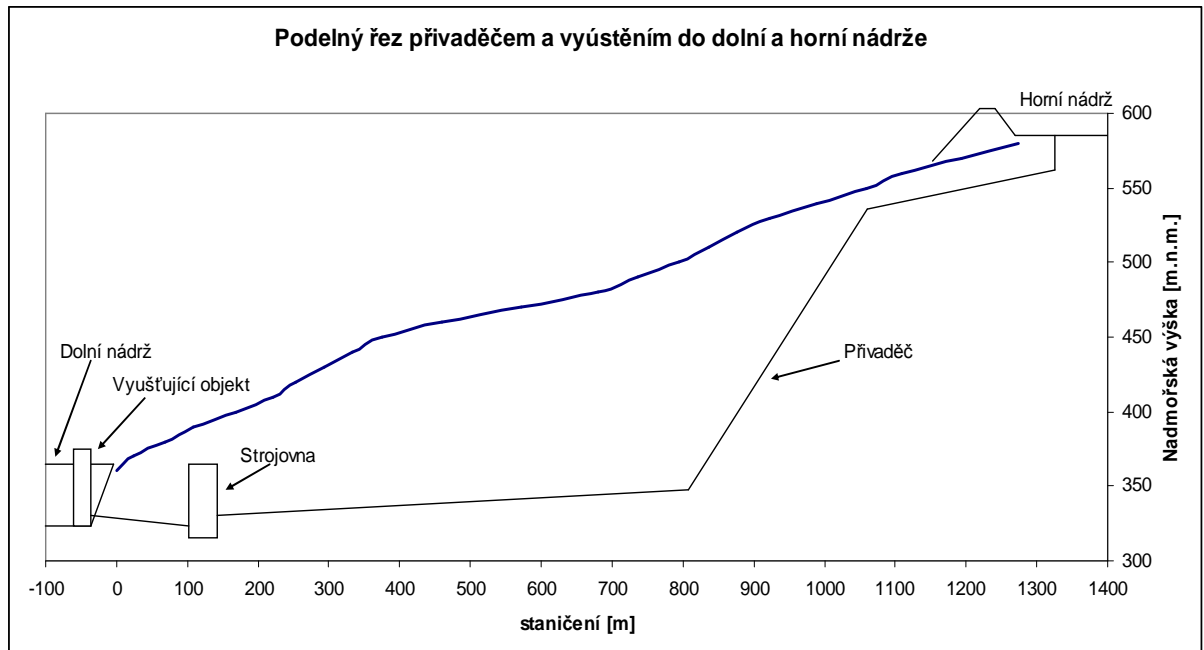
Po zaokrouhlení zvolíme čtyři jednotky o jmenovitém instalovaném výkonu 125 MW s hltností $60 \text{ m}^3/\text{s}$.

5.2.4 Tlakové potrubí

5.2.4.1 Přivaděče

Přívod vody k turbínám budou zajišťovat dva přivaděče, které budou umístěny v ražených štolách cca 20 m od sebe. Pancíře je nutné obetonovat vrstvou betonu $t_{ob} = 0,8 \text{ m}$ pro zpevnění přivaděče a vyplnění prostoru mezi přivaděčem a okolní horninou.

Pro určení nutnosti osazení vyrovnávacích komor před horním lomovým kolenem se vychází z přípustného hraničního poměru kritéria odlehlosti $L/H < 5$.



Obr. 5-8 Podélný řez přivaděčem a zaústěním do dolní a horní nádrže

Konstrukčně každý přivaděč dělíme na několik částí, a to:

- Horní ležatá část
 - rozděluje se na dvě části, mezi kterými je umístěn objekt uzavěrů.
 - Délka úseku je $L_{hlč} = 250$ m
- Horní lomové koleno
 - tvoří přechod mezi horní ležatou částí a úklonnou částí
- Úklonná část
 - překonává výškový rozdíl mezi horní a dolní nádrží
 - úklon 45°
 - její délka je $L_{úč} = 305$ m
- Dolní lomové koleno
 - tvoří přechod mezi úklonnou částí a dolní ležatou částí
- Dolní ležatá část
 - navazuje na dolní lomové koleno a pokračuje směrem ke stroje
 - délka $L_{dlč} = 700$ m
- Napojení na stroje
 - rozděluje přivaděč kalhotovým kosem na dvě potrubí, která jsou následně napojena na přímé potrubí ve stroje

Výpočet parametrů potrubí

Délku lomového horního a dolního kolena určíme $L_{lhk} = L_{ldk} = 50$ m.

Celková délka potrubí $L_{přiv}$

$$L_{přiv} = L_{hlč} + L_{thk} + L_{úč} + L_{ldk} + L_{dlč} = 250 + 50 + 305 + 50 + 700 = 1355m \quad (5.30)$$

Pro určení průměru potrubí vyjdeme z maximální rychlosti v potrubí pro turbínový provoz $v_t = 5m/s$.

Průměr potrubí $D_{přiv}$

$$D_{přiv} = 2 \cdot \sqrt{\frac{\frac{Q_T}{2}}{2 \cdot \pi \cdot v_t}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{240}{2 \cdot \pi \cdot 5}} = 3,9m \quad (5.31)$$

Objem výlomu jednoho přivaděče $W_{ražl}$

$$W_{ražl} = \left(\frac{D_{přiv}}{2} + t_{ob} \right)^2 \cdot \pi \cdot L_{přiv} = \left(\frac{3,9}{2} + 0,8 \right)^2 \cdot \pi \cdot 1355 = 32300m^3 \quad (5.32)$$

Kritérium odlehlosti K_{od}

$$K_{od} = \frac{L_{přiv}}{H_{stř}} = \frac{1355}{235,4} = 5,76 > 5 \quad (5.33)$$

Jelikož výsledek nevyhovuje, je nutné každý přivaděč osadit vyrovnávací komorou.

5.2.4.2 Odpadní tunely

Odpadní tunely pro odvod vody ze savek turbín se navrhují na rychlost proudění 2m/s.

Další vstupní údaje:

- Počet tunelů: 4
- Délka tunelu $L_t = 135m$
- Průtok jedním tunelem $Q_{tj} = 60m^3/s$

Nyní určíme průměr jednoho tunelu D_{Tj}

$$D_{Tj} = 2 \cdot \sqrt{\frac{Q_{Tj}}{2 \cdot \pi \cdot v_{od}}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot 2}} = 4,55m \quad (5.34)$$

Objem výlomu jednoho přivaděče W_{tun1}

$$W_{tun1} = \left(\frac{D_{Tj}}{2} + t_{ob} \right)^2 \cdot \pi \cdot L_{přiv} = \left(\frac{4,55}{2} + 0,8 \right)^2 \cdot \pi \cdot 135 = 4010m^3 \quad (5.35)$$

5.2.5 Turbíny

Pro provoz PVE je nejvhodnější použití Reverzních Francisových turbín ve vertikálním uložení společně s motorgenerátorem. Reverzní Francisova turbína je schopna pracovat jak v turbínovém, tak i čerpadlovém provozu, což volbu tohoto uspořádání upřednostňuje.

5.2.5.1 Reverzní Francisova turbína

Pro dosažení co nejvyšší účinnosti bude tvar oběžného kola optimalizován pro danou lokalitu. Samotné oběžné kolo bude vyrobeno z nerezové oceli pro zajištění jeho dlouhé životnosti. Spirála turbíny bude pro možnosti dopravy rozdělena na dva kusy formou svařence. Rozváděcí strojí turbíny bude tvořeno rozváděcími lopatkami a ovládáno prostřednictvím pák a táhel rozváděcím kruhem. Dále bude požadováno řešení konstrukce turbíny tak, aby při demontáži oběžného kola turbíny nebylo nutné demontovat motorgenerátor. [1]

Základní parametry turbíny (při maximálním spádu)

| | |
|------------------------|----------------------|
| Spád minimální: | 225,77m |
| Spád maximální: | 245m |
| Hltnost: | 60 m ³ /s |
| Výkon: | 130 MW |
| Průměr OK (orientační) | 5500mm |

V PVE Cukrová bouda se plánuje instalace 4 takovýchto soustrojí.

5.2.6 Motorgenerátory

Pro přeměnu mechanické energie na elektrickou bude využito motorgenerátorů, které fungují jako generátory v turbínovém provozu a jako motory v provozu čerpadlovém. Tyto stroje jsou nejčastěji používány ve spojení s Reverzní Francisovou turbínou ve vertikálním uložení a jsou konstruovány pro přímé pojení.

Kostra motorgenerátoru bude svařovaná. Statorové vnutí složeno z orientovaných plechů a chlazeno demineralizovanou vodou. Rotor bude složeno z odlitého náboje. Vnutí rotoru bude z měděných pásů, které budou vzájemně rozepřeny mezipólovými rozpěrkami. Rotor bude chlazen vzduchem.

Buzení motorgenerátoru budou zabezpečovat statické budicí soupravy, které budou tvořeny výkonovým tyristorovým můstkem a procesní stanicí řídicího systému PVE.

Motorgenerátory budou rozbíhány do čerpadlového směru frekvenčním měničem.

Orientační základní parametry motorgenerátorů v generátorovém chodu

| | |
|-------------------|---------|
| Zdánlivý výkon | 140 MVA |
| Činný výkon | 126 MW |
| Jmenovitý účinník | 0,9 |
| Jmenovité napětí | 13,8 kV |
| Jmenovitý proud | 5857 A |
| Kmitočet | 50 Hz |

Orientační základní parametry motorgenerátorů v motorickém chodu

| | |
|----------------|----------|
| Zdánlivý výkon | 138 MVA |
| Činný výkon | 131,1 MW |

| | |
|-------------------|---------|
| Jmenovitý účinník | 0,95 |
| Jmenovité napětí | 13,8 kV |
| Jmenovitý proud | 5773 A |
| Kmitočet | 50 Hz |

5.2.7 Blokové transformátory

Trojfázové blokové transformátory budou sloužit pro transformaci generovaného napětí na úroveň výstupní linky 400kV

Orientační základní parametry blokových transformátoru

| | |
|------------------------|-------------------|
| Zdánlivý výkon | 165 MVA |
| Jmenovité vyšší napětí | 400 kV $1\pm 5\%$ |
| Jmenovité nižší napětí | 13,8 kV |
| Kmitočet | 50 Hz |
| Chlazení | OFWF |

System OFWF představuje transformátor s olejovým chlazením v uzavřené nádobě. Chladicí olej cirkuluje prostřednictvím oběhového čerpadla přes výměník tepla, kde bude ztrátové teplo odevzdáváno.

Vinutí transformátoru bude měděné a jádro bude složeno z orientovaných plechů. Transformátory musí být vybaveny odizolovaným podvozkem pro připojení nádobové ochrany transformátoru.

5.2.8 Strojovna

Strojovna je umístěna na pravém břehu dolní nádrže. V kaverně budou umístěny čtyři reverzní jednotky. Dále zde bude také umístěno zázemí kaverny v podobě provozních kulových uzávěrů, čerpadel pro načerpání prázdného potrubí, regulace, atd.. Strojovna musí být vybavena mostovým jeřábem s únosností přesahující nejtěžší součást soustrojí.

Pro každý blok budeme uvažovat potřebný prostor ve strojovně (vycházející z PVE Dlouhé Stráně) o následujících rozměrech: šířka 28m , délka 25m a výška 45m. V kaverně budeme umísťovat čtyři stroje, a pro zázemí kaverny bude kaverna rozšířena na velikost pěti jednotek. [1]

Z těchto předpokladů vycházejí následné rozměry kaverny:

| | |
|--------|-------|
| Šířka: | 28 m |
| Délka: | 125 m |
| Výška: | 45 m |

Z daných hodnot vypočteme objem výlomu kaverny:

Objem výlomu kaverny W_{kaver}

$$W_{kaver} = \check{S} \cdot D \cdot V = 28 \cdot 125 \cdot 45 = 157500m^3 \quad (5.36)$$

5.2.9 Trafokaverna

Trafokaverna se rovněž navrhuje jako podzemní. Bude umístěna souběžně s hlavní kavernou. Tato komora bude vybavena transformátory a vzduchotechnikou pro zajištění odvodu ztrátového tepla transformátorů. S hlavní kavernou bude spojena kabelovými tunely. Propojení se zapouzdřenou rozvodnou na povrchu bude zajištěno kabelovou štolou.

Předpokládané rozměry trafokaverny:

Šířka: 13 m
Délka: 100 m
Výška: 15 m

Z daných hodnot vypočteme objem výlomu kaverny:

Objem výlomu trafokaverny W_{trafok}

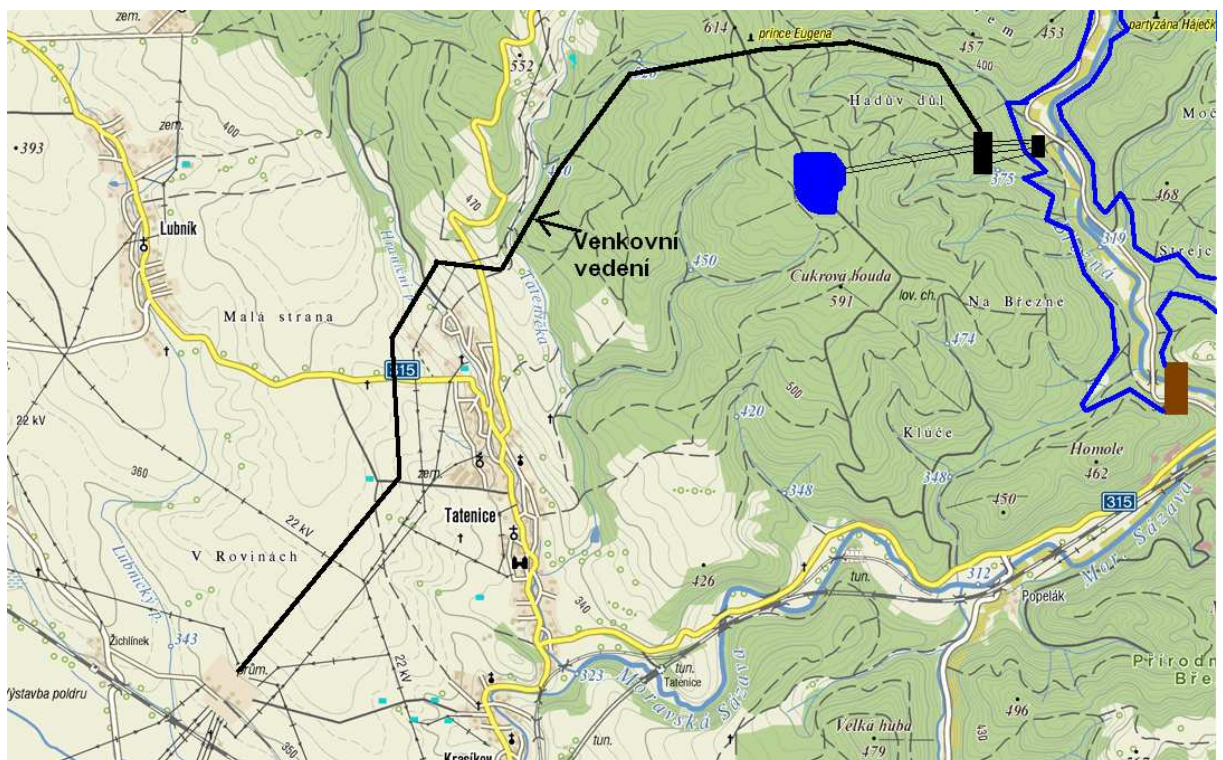
$$W_{\text{trafok}} = \check{S} \cdot D \cdot V = 13 \cdot 100 \cdot 15 = 19500 m^3 \quad (5.37)$$

5.2.10 Vyvedení výkonu do nejbližší rozvodny

Nejbližší rozvodna s napětíovou hladinou 400kV je rozvodna Krasíkov. Vyvedení výkonu do této rozvodny bude provedeno jednoduchým vedením zaústěným do uzlu Krasíkov.

Vedení bude chráněno souborem ochran, které budou mezi sebou komunikovat pomocí optické cesty. Optické vlákno bude umístěno v zemním laně vedení. Pro připojení bude nutné vybudovat další vývodové pole na hladině 400kV v rozvodně Krasíkov.

Délka navrhnutého vedení je 9,7 km. Navržené trasa vedení je zakreslena v mapovém podkladu na Obr. 5-9.



Obr. 5-9 Trasa venkovního vedení vývodu výkonu do rozvodny Krasíkov[12].

5.3 Varianta B: 2x 200MW

V této variantě je uvažováno s využitím lokality a to především dolní nádrže pro jiné funkce. Kromě energetického využití a využití retenčního prostoru při povodních by bylo využíváno toto dílo jako zásobárna pitné vody a popřípadě i pro rekreaci. Proto bude pro energetické využití navržena PVE s nižším instalovaným výkonem a s provozem 5 hodin denně, čímž bude také docíleno nižších investičních nákladů.

5.3.1 Dolní nádrž

Vzhledem k uvažovaným funkcím díla je vhodné zachovat stejný objem dolní nádrže jako ve variantě A a to necelých 34 mil. m³. Tento objem by byl využit jak pro energetické využití tak také pro zásobu pitné vody. Výhodou této nádrže z hlediska využití pro pitnou vodu je její umístění na horní části toku, kdy ještě není voda tak znečištěna. Také požadavky na technologie PVE by musely být přísné, aby se zabránilo úniku ropných látek do dolní nádrže.

5.3.2 Horní nádrž

Při návrhu objemu horní nádrže vyjdeme z požadovaného instalovaného výkonu 2 x 200MW a potřebné zásoby vody pro 5 hodin trvalého provozu.

Pro určení orientačního průtoku turbínami pro dosažení daného výkonu:

$$Q_{PVEor} = \frac{P_{ins}}{H_{STR} \cdot 9,81 \cdot \eta_t \cdot \eta_G \cdot 1000} = \frac{2 \cdot 200 \cdot 10^6}{235,4 \cdot 9,81 \cdot 0,91 \cdot 0,984 \cdot 1000} = 193,4 m^3 / s \approx 200 m^3 / s \quad (5.38)$$

Dále určíme objem horní nádrže:

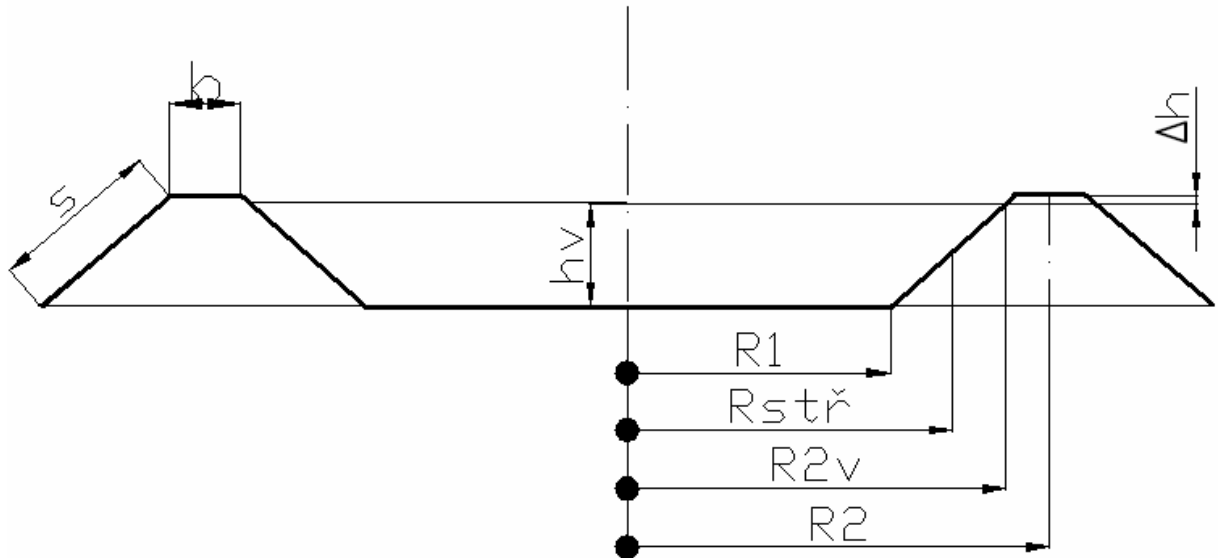
$$V_{EB} = Q_{PVEor} \cdot t = 200 \cdot 5 \cdot 3600 = 3,6 mil.m^3 \quad (5.39)$$

S uvážením rezervy stálého nadržení bude nádrž navržena na objem 4 mil.m³

5.3.2.1 Určení optimálních parametrů horní nádrže

. Při určení optimálních parametrů vycházíme z toho, že se zvyšující hloubkou se snižuje plocha dna, ale naopak se zvyšují plochy svahů a množství násypu horniny. Optimální hloubku určíme jako variantu hloubky s nejnižšími celkovými náklady. Návrh profilu horní nádrže použitý pro výpočet je uveden na Obr. 5-10.

Opět při výpočtu uvažujeme zjednodušení, kdy pro výpočet použijeme vztah pro objem válce. Při určité hloubce určíme střední průměr svahů a dále příslušné dílčí výpočty pro určení celkové ceny varianty. Toto zjednodušení vede k poměrně zanedbatelné chybě.



Obr. 5-10 Náčrt horní hráze

Pro určení optimálních parametrů horní nádrže vycházíme z následujících hodnot:

- Objem nádrže $4\,000\,000\text{ m}^3$
- Sklon svahu 1:2 (1:m)
- Šířku koruny $b = 4\text{ m}$
- Výška hráze nad maximální hladinou $\Delta h = 2\text{ m}$
- Cena kamenitého násypu $C_{jnás} = 900\text{ Kč} / \text{m}^3$
- Cena asfaltobetonového těsnění dna $C_{jABdna} = 4000\text{ Kč} / \text{m}^2$
- Cena asfaltobetonového těsnění svahů $C_{jABsvah} = 5000\text{ Kč} / \text{m}^2$

Určení středního průměru svahů $R_{STŘ}$

$$R_{STŘ} = \sqrt{\frac{V}{h \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4000000}{13 \cdot \pi}} = 313\text{m} \quad (5.40)$$

Z této hodnoty vypočteme průměr dna R_1 , průměr hladiny při plném napuštění R_{2V} a průměr středu násypu R_2

$$R_1 = R_{STŘ} - \left(\frac{h}{2} \cdot m\right) = 351,2 - \left(\frac{13}{2} \cdot 2\right) = 340,2\text{m} \quad (5.41)$$

$$R_{2V} = R_{STŘ} + \left(\frac{h}{2} \cdot m\right) = 351,2 + \left(\frac{13}{2} \cdot 2\right) = 362,2\text{m} \quad (5.42)$$

$$R_2 = R_{2V} + \Delta h \cdot m + \frac{b}{2} = 351,2 + 2 \cdot 2 + \frac{4}{2} = 357,2m \quad (5.43)$$

Celková výška hráze h_c

$$h_c = h + \Delta h = 13 + 2 = 15m \quad (5.44)$$

Šířka svahu s

$$s = \sqrt{h^2 + (h \cdot m)^2} = \sqrt{11^2 + (11 \cdot 2)^2} = 29,1m \quad (5.45)$$

Plocha dna S_{dna}

$$S_{dna} = R_1^2 \cdot \pi = 329,2^2 \cdot \pi = 340500m^2 \quad (5.46)$$

Plocha svahů S_{svahu}

$$\begin{aligned} S_{svahu} &= \pi \cdot (R_1 + R_2) \cdot \sqrt{(R_2 - R_1)^2 + h_c^2} = \\ &= \pi \cdot (329,2 + 357,2) \cdot \sqrt{(357,2 - 329,2)^2 + 13^2} = 66500m^2 \end{aligned} \quad (5.47)$$

Střední délka hráze L

$$L = \pi \cdot 2 \cdot R_2^2 = \pi \cdot 2 \cdot 357,2^2 = 2243,4m \quad (5.48)$$

Objem násypu nádrže W

$$W = \left(\frac{b + (b + 2 \cdot (h_c \cdot m))}{2} \cdot h_c \right) \cdot L = \left(\frac{4 + (4 + 2 \cdot (13 \cdot 2))}{2} \cdot 13 \right) \cdot 2243,4 = 933200m^3 \quad (5.49)$$

Cena kamenitého násypu $C_{nás}$

$$C_{nas} = W \cdot C_{jnas} = 933200 \cdot 900 = 839,9mil.Kč \quad (5.50)$$

Cena asfaltbetonového těsnění dna C_{ABdna}

$$C_{ABdna} = S_{ABdna} \cdot C_{jABdna} = 340500 \cdot 4000 = 1362mil.Kč \quad (5.51)$$

Cena asfaltobetonového těsnění svahu $C_{ABsvahu}$

Tab. 5-5 Návrh hloubky horní nádrže pro Variantu B.

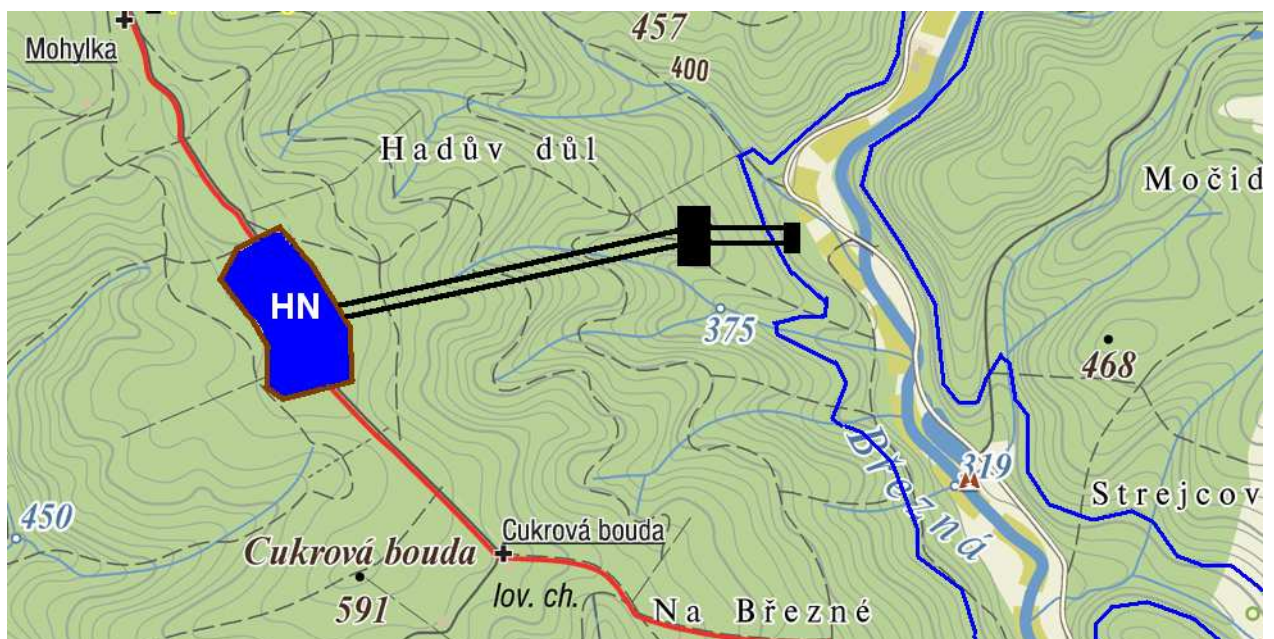
| h_v | R_1 | R_{2v} | R_2 | h_c | s | S_{dna} | S_{pl} | L | W | C_{nas} | $C_{AB\ dna}$ | $C_{ABsva\ h}$ | C_{celk} |
|-----------|-------|----------|-------|-----------|------|------------------------|------------------------|------|------------------------|-----------|---------------|----------------|---------------|
| [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [tis. m ²] | [tis. m ²] | [m] | [tis. m ³] | [mil. Kč] | [mil. Kč] | [mil. Kč] | [mil. Kč] |
| 11 | 329,2 | 351,2 | 357,2 | 13 | 29,1 | 340,5 | 66,5 | 2243 | 933,2 | 839,9 | 1362,0 | 332,7 | 2534,6 |
| 11,5 | 321,2 | 344,2 | 350,2 | 13,5 | 30,2 | 324,2 | 67,4 | 2199 | 979,9 | 881,9 | 1296,8 | 337,2 | 2515,9 |
| 12 | 313,7 | 337,7 | 343,7 | 14 | 31,3 | 309,2 | 68,3 | 2158 | 1027,5 | 924,8 | 1236,9 | 341,7 | 2503,4 |
| 12,5 | 306,7 | 331,7 | 337,7 | 14,5 | 32,4 | 295,4 | 69,2 | 2120 | 1076,2 | 968,5 | 1181,7 | 346,2 | 2496,4 |
| 13 | 300,0 | 326,0 | 332,0 | 15 | 33,5 | 282,7 | 70,1 | 2084 | 1125,7 | 1013,2 | 1130,6 | 350,6 | 2494,4 |
| 13,5 | 293,6 | 320,6 | 326,6 | 15,5 | 34,7 | 270,8 | 71,0 | 2051 | 1176,3 | 1058,7 | 1083,3 | 355,0 | 2497,0 |
| 14 | 287,6 | 315,6 | 321,6 | 16 | 35,8 | 259,8 | 71,9 | 2019 | 1227,9 | 1105,1 | 1039,2 | 359,4 | 2503,7 |
| 14,5 | 281,8 | 310,8 | 316,8 | 16,5 | 36,9 | 249,5 | 72,7 | 1989 | 1280,4 | 1152,3 | 998,1 | 363,7 | 2514,1 |

$$C_{ABsvahu} = S_{ABsvah} \cdot C_{jABsvahu} = 66500 \cdot 5000 = 332,7 \text{ mil. Kč} \quad (5.52)$$

Výsledná celková cena C_{celk}

$$C_{celk} = C_{nas} + C_{ABdna} + C_{ABsvahu} = 839,9 + 1362 + 332,7 = 2534,6 \text{ mil. Kč} \quad (5.53)$$

Z tabulky je patrné, že nejvhodnější variantou bude hráz s výškou hladiny $h_v = 15\text{m}$.



Obr. 5-11 Umístění horní nádrže v terénu pro Variantu B [12]

Samotná hráz bude umístěna ve stejném místě jako v předchozí variantě Obr. 5-11. Její tvar je nutné taktéž přizpůsobit terénním podmínkám tak, aby bylo dosaženo potřebné velikosti.

5.3.3 Návrh energetických parametrů PVE

Určení středního provozního spádu turbíny

Pro tuto variantu je kóta terénu budoucího dna horní nádrže stanovena z mapových podkladů s ohledem na vyrovnání výkopu horniny použité do násypu hráze. Kóta dna je tedy stanovena na 586 m.n.m.. Potom tedy kóta maximální hladiny v horní nádrži je stanovena jako kotu dna $k_{HN\text{dna}} = 586\text{m.n.m}$ povýšenou o výšku hladiny v nádrži 13 m. Tedy výsledná kóta maximální hladiny je $k_{HN\text{max}} = 599\text{m.n.m}$.

Výpočet kolísání hladiny v horní nádrži pro energetické využití Δh_{kol}

- vyjdeme opět ze zjednodušení v podobě použití výpočtu válce
- energetický objem $V_E = 3\,600\,000\text{m}^3$.

$$\Delta h_{\text{kol}} = \frac{V}{R_{\text{STR}}^2 \cdot \pi} = \frac{3600000}{313^2 \cdot \pi} = 11,7\text{m} \quad (5.54)$$

Nyní lze určit kótu minimální hladiny v horní nádrži $k_{HN\text{min}}$

$$k_{HN\text{min}} = k_{HN\text{max}} - \Delta h_{\text{kol}} = 599 - 11,7 = 587,3\text{m.n.m.} \quad (5.55)$$

Následně pro výpočet potřebujeme již určené kóty v dolní nádrži. Vycházíme z hodnot pro maximální nadrženi.

- maximální hladina v dolní nádrži $k_{DN\text{max}} = 360\text{m.n.m}$
- minimální hladina v dolní nádrži $k_{DN\text{min}} = 357,5\text{m.n.m}$

Maximální spád PVE H_{max}

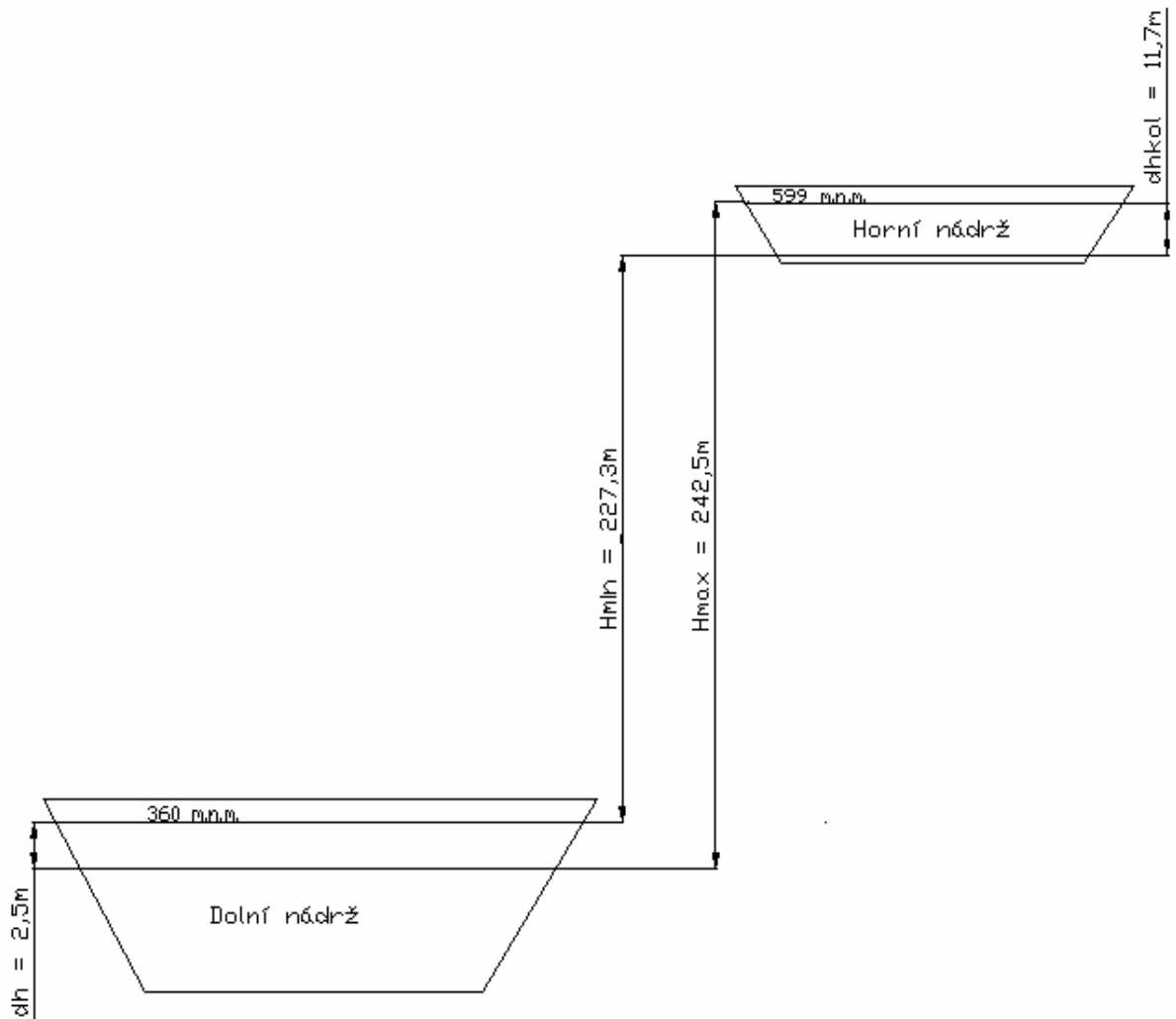
$$H_{\text{max}} = k_{HN\text{max}} - k_{DN\text{min}} = 599 - 357,5 = 242,5\text{m} \quad (5.56)$$

Minimální spád PVE H_{min}

$$H_{\text{min}} = k_{HN\text{min}} - k_{DN\text{max}} = 587,3 - 360 = 227,3\text{m} \quad (5.57)$$

Střední provozní spád PVE H_{STR}

$$H_{\text{STR}} = \frac{H_{\text{max}} + H_{\text{min}}}{2} = \frac{242,5 + 227,3}{2} = 234,9\text{m} \quad (5.58)$$



Obr. 5-12 Výškové rozložení nádrží pro Variantu B

5.3.3.1 Nyní přistoupíme k určení energetických parametrů PVE

Při návrhu PVE budu uvažován denní provoz v turbínovém provozu $t_t = 5$ hodin.

Maximální turbínový průtok je stanoven na $200 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dále pro výpočet budeme potřebovat účinnosti jednotlivých stavů.

- účinnost v turbínovém chodu $\eta_t = 0,91$
- účinnost v čerpadlovém chodu $\eta_c = 0,83$
- účinnost cyklu $\eta_c = 0,75$

Maximální turbínový výkon $P_{t_{\max}}$

$$P_{t_{\max}} = H_{ST\check{R}} \cdot Q_T \cdot 9,81 \cdot \eta_t \cdot 1000 = 234,9 \cdot 200 \cdot 9,81 \cdot 0,91 \cdot 1000 = 419,4 \text{ MW} \quad (5.59)$$

..

Využitelná energie vody jednoho cyklu E_T

$$E_T = H_{STR} \cdot \frac{V_E}{3600} \cdot 9,81 \cdot \eta_t \cdot 1000 = 235,4 \cdot \frac{3600000}{3600} \cdot 9,81 \cdot 0,91 \cdot 1000 = 2,1GW \quad (5.60)$$

PVE by byla osazena 2 soustrojími, tudíž jednotkový instalovaný výkon bude P_i

$$P_i = \frac{P_{t_{max}}}{2} = \frac{419,4}{2} = 209,7MW \quad (5.61)$$

Hltnost jednotky Q_{Tj}

$$Q_{Tj} = \frac{Q_T}{x} = \frac{200}{2} = 100m^3 / s \quad (5.62)$$

Pro tuto variantu řešení jsou navrženy dvě soustrojí, každé o jmenovitém instalovaném výkonu 209,7MW s hltností 100m³/s.

5.3.4 Tlakové potrubí

5.3.4.1 Přivaděče

Obdobě jako ve variantě A budou přívod vody k turbínám zajišťovat dva přivaděče. Přivaděče budou umístěny ve dvou ražených štolách. Prostor mezi pancířem a horninou bude taktéž obetonován.

Délky jednotlivých částí přivaděče budou stejné jako ve variantě A a to:

- Horní ležatá část
 - Délka úseku je $L_{hlč} = 250$ m
- Horní lomové koleno
- Úklonná část
 - její délka je $L_{úč} = 305$ m
- Dolní lomové koleno
- Dolní ležatá část
 - délka $L_{dlč} = 700$ m
- Napojení na strojovnu
 - Každé potrubí bude napojeno přímo na jedno soustrojí

Výpočet parametrů potrubí

Délku lomového horního a dolního kolena určíme $L_{lhk} = L_{ldk} = 50$ m.

Celková délka potrubí $L_{přiv} = 1355\text{m}$.

Pro určení průměru potrubí vyjdeme z maximální rychlosti v potrubí pro turbínový provoz $v_t = 6\text{ m/s}$.

Průměr potrubí $D_{přiv}$

$$D_{přiv} = 2 \cdot \sqrt{\frac{Q_T}{2 \cdot \pi \cdot v_t}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{200}{2 \cdot \pi \cdot 6}} = 3,26\text{m} \quad (5.63)$$

Objem výlomu jednoho přivaděče $W_{raž1}$

$$W_{raž1} = \left(\frac{D_{přiv}}{2} + t_{ob} \right)^2 \cdot \pi \cdot L_{přiv} = \left(\frac{3,26}{2} + 0,8 \right)^2 \cdot \pi \cdot 1355 = 25140\text{m}^3 \quad (5.64)$$

Kritérium odlehlosti K_{od}

$$K_{od} = \frac{L_{přiv}}{H_{stř}} = \frac{1355}{234,9} = 5,77 > 5 \quad (5.65)$$

Jelikož výsledek zhodnocení kritéria odlehlosti nevyhovuje, je nutné každý přivaděč osadit vyrovnávací komorou.

5.3.4.2 Odpadní tunely

Odpadní tunely pro odvod vody ze savek turbín se navrhují na rychlost proudění 2m/s .

Další vstupní údaje:

- Počet tunelů: 2
- Délka tunelu $L_t = 135\text{ m}$
- Průtok jedním tunelem $Q_{tj} = 100\text{ m}^3/\text{s}$

Nyní určíme průměr jednoho tunelu D_{Tj}

$$D_{Tj} = 2 \cdot \sqrt{\frac{Q_{Tj}}{2 \cdot \pi \cdot v_{od}}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{100}{2 \cdot \pi \cdot 2}} = 5,65\text{m} \quad (5.66)$$

Objem výlomu jednoho přivaděče W_{tun1}

$$W_{tun1} = \left(\frac{D_{Tj}}{2} + t_{ob} \right)^2 \cdot \pi \cdot L_{přiv} = \left(\frac{5,65}{2} + 0,8 \right)^2 \cdot \pi \cdot 135 = 5575\text{m}^3 \quad (5.67)$$

5.3.5 Turbíny

V této variantě se taktéž uvažuje použití Reverzních Francisových turbín.

Základní parametry turbíny (při maximálním spádu)

| | |
|------------------------|-----------------------|
| Spád minimální: | 227,3 m |
| Spád maximální: | 242,5 m |
| Hltnost: | 100 m ³ /s |
| Výkon: | 209,7 MW |
| Průměr OK (orientační) | 7100 mm |
| Počet kusů | 2 |

5.3.6 Motorgenerátory

Orientační základní parametry motorgenerátorů v generátorovém chodu

| | |
|-------------------|----------|
| Zdánlivý výkon | 233 MVA |
| Činný výkon | 210 MW |
| Jmenovitý účinník | 0,9 |
| Jmenovité napětí | 15,75 kV |
| Jmenovitý proud | 8541 A |
| Kmitočet | 50 Hz |

Orientační základní parametry motorgenerátorů v motorickém chodu

| | |
|-------------------|----------|
| Zdánlivý výkon | 228 MVA |
| Činný výkon | 216,6 MW |
| Jmenovitý účinník | 0,95 |
| Jmenovité napětí | 13,8 kV |
| Jmenovitý proud | 8358 A |
| Kmitočet | 50 Hz |

5.3.7 Blokové transformátory

Blokové transformátory budou sloužit pro transformaci generovaného napětí na úroveň výstupní linky 400kV

Orientační základní parametry blokových transformátorů

| | |
|------------------------|-------------------|
| Zdánlivý výkon | 275 MVA |
| Jmenovité vyšší napětí | 400 kV $1\pm 5\%$ |
| Jmenovité nižší napětí | 15,75 kV |
| Kmitočet | 50 Hz |
| Chlazení | OFWF |

5.3.8 Strojovna

V kaverně budou umístěny dvě reverzní jednotky. Dále zde bude také umístěno zázemí kaverny v podobě provozních kulových uzávěrů, čerpadel pro načerpání prázdného potrubí, regulace, atd.. Strojovna musí být vybavena mostovým jeřábem s únosností přesahující nejtěžší součást soustrojí.

Pro každý blok budeme uvažovat potřebný prostor ve strojovně (vycházející poměrem z PVE Dlouhé Stráně) o následujících rozměrech: šířka 33m , délka 29m a výška 52m. V kaverně budeme umísťovat dva stroje, a pro zázemí kaverny bude kaverna rozšířena na velikost tří jednotek. [1]

Z těchto předpokladů vycházejí následné rozměry kaverny:

Šířka: 28 m

Délka: 87 m

Výška: 52 m

Z daných hodnot vypočteme objem výlomu kaverny:

Objem výlomu kaverny W_{kaver}

$$W_{kaver} = \check{S} \cdot D \cdot V = 28 \cdot 87 \cdot 52 = 126672m^3 \quad (5.68)$$

5.3.9 Trafokaverna

Trafokaverna se rovněž navrhuje jako podzemní. Bude umístěna souběžně s hlavní kavernou.

Předpokládané rozměry trafokaverny:

Šířka: 15 m

Délka: 70 m

Výška: 15 m

Z daných hodnot vypočteme objem výlomu kaverny:

Objem výlomu trafokaverny W_{trafok}

$$W_{trafok} = \check{S} \cdot D \cdot V = 15 \cdot 70 \cdot 15 = 15700m^3 \quad (5.69)$$

6 VLIV VÝSTAVBY A PROVOZU DÍLA NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ V LOKALITĚ

6.1 Životní prostředí v lokalitě

Povodí řeky Březné spadá do úmoří Černého moře. Březná je levým a zároveň největším přítokem Moravské Sázavy, která se dále vlévá do Moravy. Severní hranice povodí tvoří zároveň hranici rozvodí. Hraniční horou je Jeřáb, na jehož jižní straně pramení Březná a na severní straně Tichá Orlice. Březná pramení na jihovýchodních svazích Jeřábu ve výšce asi 900m. n. m. a ještě zde se do ní vlévá několik menších potoků.

Plocha povodí Březné se uvádí 130km² a její délka od pramene po ústí je 31km. Tok je vodohospodářsky významný a po celé délce má pstruhovou vodu. Hydrologické poměry jsou hodnoceny jako nadprůměrně příznivé.

Uvažovaná lokalita je zařazena do přírodního parku Březná. Výměra tohoto parku dosahuje 11600 ha. Park se nachází v západní části šumperského regionu. Samotný park je tvořen hluboce zařezaným údolím řeky Březné na západě, Moravské Sázavy na jihu a Nemilky na východě. Na území ohraničeným těmito toky se rozkládá Drozdovská vrchovina, jejichž nejvyšším bodem je vrchol Pustina.

Přirozenou vegetaci zde tvoří na převážné většině území bučiny, a to jak květnaté, tak i horské acidofilní. Na prudkých svazích se nachází suťové lesy. Povodí Březné je ze 70% zalesněno převážně smrkovými monokulturami, ale v hojném počtu se zde také vyskytují i bučiny, zejména na strmých svazích nad řekou na spodním toku.

Podél vodního toku se vyskytuje nivní vegetace. Přirozené bezlesí je zde velmi řídké. Náhradní přirozenou vegetací vlhkých luk jsou mezofilní prostory, které přechází až do vegetace rašeliník luk.

Nejcennějším botanickým prvkem je komplex mezofilních až hydrofilních luk a olšin v údolí říčky Březné. Na vlhkých loukách se na jaře vyskytuje početná populace chráněných bledulí jarních. Tyto louky jsou druhově velmi bohaté. Po bledulích se zde také vyskytují nachové květy knotovky lesní, smolničky obecné, kohoutka lučního, kakostu hnědočerveného, kosatce žlutého, orobince širokolistého, skřípiny lesní, ostřice žluté, vachty trojlisté a také lýkovec jedovatého.

Co se týče fauny je zde zastoupeno mnoho druhů. Hnízdí zde čáp černý, výr velký, krahujec obecný, krkavec velký, datel černý, ledňáček obecný, sluka lesní, křepelka a koroptev polní. Ve slepých ramenech, mokřadech a tůních se vyskytují zástupci našich obojživelníků a drobných koryšů, dokonce je i domovem dnes stále vzácnějšího raka říčního a raka bahenního. Dále se zde také vyskytuje škeble rybníčná, čolek horský, mlok skvrnitý, užovka obojková také ledňáček říční.

Z hlediska hodnocení kvality životního prostředí povodí Březné se jedná o velmi kvalitní místo po stránce čistoty ovzduší, čistoty vod a půdy i po stránce druhové rozmanitosti fauny a flory. Nenachází se zde žádné významné staré ekologické zátěže a není zde překročeno neúnosné zatížení životního prostředí. Ochrana významných lokalit a biotopů s výskytem zvláště chráněných rostlin a živočišných druhů mají nenahraditelný význam pro zachování druhů živých organizmů.

6.2 Geologické poměry

Celé zasažené území patří do Zábřežské vrchoviny. Zábřežská vrchovina zaujímá poměrně velkou část severozápadu Moravy. Odděluje Hornomoravský úval a Mohelnickou brázdou od Podorlické pahorkatiny. Zábřežská vrchovina je součástí České křídové pánve a geomorfologicky patří do Jesenické oblasti Krkonoško-jesenické subprovincie. Na jihu je ohraničena Dražanskou vrchovinou, na severu pak podhůřím Hrubého Jeseníku a Orlických hor. Na západě je okraj této vrchoviny lemován příkrými okrajovými svahy, které spadají do sníženin Podorlické tabule. Na východě tyto sníženiny spadají do Mohelnické brázdy a Hornomoravského úvalu. Rozloha této vrchoviny je 734km². Nejvyšším vrcholem je Lázek (714m.n.m.). Zábřežská vrchovina se dělí na tři samostatné podcelky, kterými jsou Bouzovská vrchovina, Mírovská vrchovina a Drozdovská vrchovina, které jsou navzájem odděleny průlomovými údolími Březné, Moravské Sázavy a Třebůvky. Svým charakterem připomíná tato vrchovina Nízký Jeseník.

Zasažené území výstavbou díla se rozkládá na území Drozdovské vrchoviny. Je to nejsevernější a nejvyšší podcelek Zábřežské vrchoviny a je dán budínskou poruchou na severu navazuje na Bukohorskou hornatinu. Rozloha této vrchoviny je 174km². Vyskytují se zde také pruhy křemenných dioritů až granodioritů.

Zábřežská vrchovina je převážně budována rulami, břidlicemi a droby.

Rula je hornina vzniklá za vysokého stupně regionální metamorfózy z kterékoliv dříve vzniklé horniny, a to ať sedimentů nebo vyvřelých hornin. Ortoruly jsou ruly vzniklé z vyvřelin, pararuly jsou ruly vzniklé metamorfózou sedimentů. Ruly se vyznačují rovnoběžnou stavbou. Podstatnou součástí ruly je křemen, slída a živec. U pararuly se vyskytuje také grafit, cordierit, granát a silimanit. U ruly dochází snadno k zvětrávání.

Břidlice je částečně usazená metamorfovaná hornina s jemnou zrnitostí vzniklou z jílovců a prachovců. Obsahuje minerály muskovit, biotit a andalusit. Břidlice mívají šedou až černou barvu. Vyznačují se poměrně dobrou rovinnou štěpností.

Droba je sedimentární hornina. Velikost zrn je různá, od jemné po hrubou a jejich barva je nejčastěji šedá. Jedná se o druh pískovce, jehož zvláštností je, že je tvořen zrny křemene, živce a několika jinými minerály a úlomky hornin v jílovité původní hmotě.

6.3 Vztah díla k ochraně životního prostředí

Přečerpávací vodní elektrárna vyrábí elektrickou energii šetrným způsobem tak, že nedochází k znečištění životního prostředí a samotnou výrobu elektrické energie nedoprovázejí doprovodné emise. Z estetického hlediska je dopad na životní prostředí omezen pouze na viditelné části a to dolní a horní nádrž a správní budovy.

V rámci projektové přípravy a realizace díla je nutné přijmout další významná opatření vedoucí k ochraně přírody a vhodnému začlenění díla do krajiny a to především:

- hráze obou nádrží jsou navrženy jako sypané, což při celkovém zatravnění vnějších ploch vede ke splnutí s okolním terénem
- jelikož jsou technologické celky poměrně rozměrné a z estetického hlediska nevzhledné je nutné technologickou část PVE koncipovat do podzemního prostoru, což výrazně minimalizuje dopad na okolí. Výhodou této koncepce je také bezhlučnost provozu vzhledem k okolí.

- na povrchu je nutné umístit provozní budovy nutné pro zázemí a provoz PVE. Tyto objekty je možné koncipovat tak, aby svým estetickým vzhledem zapadly do okolní krajiny.
- vyvedení výkonu lze provést tak, že transformátory budou umístěny taktéž v podzemí. Na povrchu bude umístěn pouze zapouzdřený vývod. Trasa vedení 400kV je navržena tak, aby co nejméně zasahovala do krajinného rázu.
- využití důmyslných technologií odolejování chladících okruhů, využití bezmazných technologií, především v místech styku zařízení s vodou.

Jelikož se jedná o poměrně velkou stavbu, nelze vyloučit zátěž životního prostředí vlivem stavebního ruchu. V rámci výstavby PVE je namísto klást důraz na šetrnost provádění všech činností tak, aby docházelo k co nejmenší, nejlépe žádné devastaci životního prostředí.

Omezený zásah do krajiny se uskuteční pouze při stavbě díla. Jednou z významných činností při ochraně díla ze strany investora je také sledování koncentrace ropných a extrahovatelných látek v toku, což je možné zajistit pravidelnou kontrolou znečištění vody v toku, a to jak během výstavby, tak i za provozu elektrárny. Tyto nepříznivé vlivy lze také omezit používáním ekologicky odbouratelných olejů a mazacích látek u pracovních strojů stavby. Stavby spojené s realizací díla je nutné po dokončení díla odstranit, jen stavby například v podobě ubytovacích zařízení je možné po dokončení díla zachovat a využívat je třeba k různým účelům např. turistického ruchu.

Provoz PVE je z hlediska automatizace na vysoké úrovni. Životnost technologických celků využívaných PVE je velmi dlouhá. Vlastní provoz PVE generuje jen nejnútnejší dopravní ruch spojený s dopravou obsluhy a případně spojený s dopravou náhradních dílů při poruchách.

Existence a provoz tohoto díla má také řadu pozitivních přínosů pro životní prostředí. Zejména snížení tepelné rezervy výkonu v elektrizační soustavě a tím odlehčení životního prostředí od spálení nemalého množství hnědého uhlí a snížení nemalého množství škodlivých látek a popela.

Dále také navrhované dílo může svým akumulacním prostorem omezit negativní vlivy povodní pod dílem a tak zabránit zaplavování obydlí, ničení přírody a majetků obyvatelstva záplavami.

7 EKONOMICKÁ ANALÝZA PROJEKTU

7.1 Náklady

V případě stavební části bylo při výpočtu použito převážně parametrů vypočtených v předešlých částech práce. Ostatní parametry jako jsou například délky komunikací nebo tunelů byly určeny odhadem z mapových podkladů nebo s přihlédnutím k známému řešení PVE Dlouhé Stráně. Jednotkové ceny byly určeny z několika zdrojů, nejvýznamnější byly Ceníky stavebních prací Ústavu racionalizace ve stavebnictví [15] nebo konzultací s odborníky popřípadě z hodnot známých projektů. Přehled jednotlivých položek je uveden v přílohové části práce a to v tabulkách Tab. A-1 a Tab. B-1.

Pro nacenění technologické části bylo osloveno několik firem. Jedinou firmou která projevila aktivitu byla firma ALSTOM [16] a to formou konzultace. Proto byly jednotlivé technologické celky naceněny dle této konzultace a s ohledem na známé ceny těchto technologií u jiných parametricky odlišných projektů. Přehledné nacenění je taktéž uvedeno v tabulkách Tab. A-1 a Tab. B-1.

Ostatní náklady spojené se stavbou jsou také uvedeny v tabulkách Tab. A-1 a Tab. B-1. V těchto nákladech jsou zahrnuty především náklady spojené s přípravou stavby a zejména výkup pozemků a nemovitostí, vynětí pozemků z jejich dosavadních funkcí, náklady spojené s ochranou životního prostředí a v neposlední řadě také inženýrská činnost spojená s přípravou a realizací díla.

Náklady jednotlivých částí jsou přehledně uvedeny v následující tabulce Tab. 7-1.

Tab. 7-1 Přehledová tabulka celkových nákladů.

| | Varianta A | Varianta B |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Stavební část | 9 051 mil. Kč | 7 663 mil. Kč |
| Technologická část | 6 852 mil. Kč | 5 180 mil. Kč |
| Ostatní náklady spojené se stavbou | 2 115 mil. Kč | 1 757 mil. Kč |
| CELKEM | 18 018 mil. Kč | 14 601 mil. Kč |

7.2 Ekonomická analýza

Po stanovení investičních nákladů je možné přistoupit k provedení ekonomické analýzy jednotlivých variant řešení. Pro zhodnocení obou variant budeme vycházet z výstupních veličin analýzy, jimiž budou :

- hrubý zisk v prvním roce provozu,
- saldo toku hotovosti (CF – Case Flow) v 1.roce provozu,
- saldo CF v 10. roce provozu
- saldo CF v 20. roce provozu
- kumulované saldo CF po 20 letech provozu
- NPV (Net Present Value) po 20 letech prozovu,
- IRR (Internal Rate of Return),
- zaplacení vlastních zdrojů z CF.

7.2.1 Struktura tržeb

Samotná PVE jak již bylo uvedeno dříve může nabízet mnoho služeb v oblasti Poskytování podpůrných služeb jako jsou např. Rychle startující 10-ti minutové zálohy (QS10), Minutová záloha (MZt±) (t=5, 15, 30 minut), Schopnost startu ze tmy (BS) a Změna zatížení (ZZ₃₀). Tržby mohou být také generovány z využití dolní nádrže pro vodárenskou činnost a při řešení povodňových situací. Pro ekonomické hodnocení je ale nejvhodnější použití pouze výnosů z poskytování služby Rychle startující 10-ti minutové zálohy a energie prodané při poskytování této služby. Tržby z ostatních služeb jsou nepravidelné, a proto je při hodnocení zanedbáme.

Pro potřeby této práce budeme vycházet z ceny prodeje služby QS₁₀, která je uvažována 450Kč/MW.h. Dále pak cena prodané elektrické energie pro využití této podpůrné služby je stanovena na hodnotu 3300Kč/MWh.

Dále je toto hodnocení založeno na předpokladu poskytování této služby a to 24hodin denně a 330dní v roce. Je nutné ale uvažovat i s odečtením doby čerpání, kdy tato služba nemůže být poskytována. Pro účely této práce se předpokládá denní doba čerpání 2 hodiny. Zbývající čas v roce a to 35 dní je věnováno provozní odstávce a provádění běžných oprav.

Množství elektrické energie, kterou PVE vyrobí při poskytování podpůrné služby QS₁₀, je získáváno z předpokladu z provozní doby 330 dnů za rok s tím, že každý den je tato služba využita na 1,5 hodiny.

7.2.2 Provozní náklady PVE

Mezi provozní náklady PVE je zahrnuto:

- náklady na nákup elektřiny pro vlastní spotřebu a elektrickou energii potřebnou pro čerpání. Předpokládáme cenu dokupované energie 1200 Kč/MWh. Množství potřebné energie je dáno předpokladem průměrného denního odběru 24 MWh/den pro potřeby vlastní spotřeby a dále čerpáním vody a to po dobu 2 hodin denně a 330dnů v roce,
- mzdové náklady jsou předpokládány nutností obsluhy a údržby PVE. Pro zajištění chodu a naplnění směn je předpokládáno zaměstnání 30 osob. Předpokládaný průměrný roční náklad na jednoho zaměstnance je 700 tis. Kč,
- odpisy hmotného majetku (4,5% z INV/rok),
- náklady na údržbu (0,25% z INV/rok),
- správní režie (0,04% z INV/rok),
- spotřeba materiálu (0,05% z INV/rok),
- náklady na měření a revize (0,0025% z INV/rok),
- pojištění majetku (0,04% z INV/rok),
- ostatní provozní náklady (0,04% z INV/rok).

7.2.3 Ostatní potřebné veličiny a podmínky pro ekonomickou analýzu

Ekonomická analýza je provedena za těchto zjednodušujících předpokladů:

- financování díla z vlastních zdrojů, úroky z úvěru se neuvažují,
- diskontní sazba je 6%,
- daň z příjmu právnických osob 19%,

- doba pro výpočet MPV a IRR se předpokládá 20 let od zprovoznění díla,
- všechny investiční náklady jsou akumulovány do tzv. „nultého“ roku,
- koeficienty nárůstu hodnoty
 - elektrická energie – 1%,
 - u mzdových nákladů – 3,5%,
 - ostatní položky – 2%.

7.2.4 Přehled vstupních hodnot hodnocení

Tab. 7-2 Přehledová tabulka vstupů hodnocení.

| Investiční náklady | Varianta A | Varianta B | |
|---|-------------------|-------------------|----------------|
| Investiční náklady celkem | 18 018 400 | 14 601 100 | tis.Kč |
| Parametry zdroje a výroby | | | |
| instalovaný výkon elektrický | 504 | 400 | MW |
| elektrický výkon dosažitelný pro PpS | 504 | 400 | MWe |
| spotřeba elektřiny pro vlastní spotřebu | 172 892 | 139 023 | MWh/rok |
| roční výroba elektřiny na svorkách generátoru | 124 740 | 99 000 | MWh/rok |
| roční výroba elektřiny k prodeji | 124 740 | 99 000 | MWh/rok |
| Výpočtové údaje | | | |
| Výnosové | | | |
| množství prodané elektřiny | 124 740 | 99 000 | MWh/rok |
| množství sekundární regulace | 0 | 0 | MW.h/rok |
| množství QS ₁₀ | 3 825 360 | 3 036 000 | MW.h/rok |
| Nákladové | | | |
| množství dokupované EN pro VS | 172 892 | 139 023 | MWh/rok |
| počet zaměstnanců | 30 | 30 | osob |
| náklady na opravy a údržbu (0,25%INV) | 45 046 | 36 503 | tis.Kč/rok |
| správní režie (0,04%INV) | 7 207 | 5 840 | tis.Kč/rok |
| spotřeba materiálu (0,05%INV) | 9 009 | 7 301 | tis.Kč/rok |
| revize a měření (0,0025%INV) | 450 | 365 | tis.Kč/rok |
| pojištění (0,04%INV) | 7 207 | 5 840 | tis.Kč/rok |
| ostatní náklady (0,04%INV) | 7 207 | 5 840 | tis.Kč/rok |
| odpisy | 810 828 | 657 050 | tis.Kč/rok |
| Cenové údaje | | | |
| Výnosové: | | | |
| cena prodané EN z nového zdroje | 3,300 | 3,300 | tis. Kč/MWh |
| cena QS | 0,450 | 0,450 | tis. Kč/MW.h |
| cena ostatních služeb | 0,000 | 0,000 | tis. Kč/MW.h |
| Nákladové: | | | |
| cena dokupované EN pro VS nového zdroje | 1,200 | 1,200 | tis. Kč/MWh |
| MON na jednu osobu a rok | 700,0 | 700,0 | tis. Kč/os.rok |
| Financování | | | |
| vlastní zdroje | 100 | 100 | % |
| vlastní zdroje | 18 018 400 | 14 601 100 | Kč |
| Ostatní vstupy | | | |
| diskontní sazba | 0,06 | 0,06 | |
| odpisy | 0,045 | 0,045 | |
| daň z příjmu | 19 | 19 | % |
| Meziroční růst nákladů a cen | | | |
| elektřina | 1,010 | 1,010 | |
| mzdové a osobní náklady | 1,035 | 1,035 | |
| u ostatních aktivních vstupních veličin | 1,020 | 1,020 | |

7.2.5 Hodnotící ukazatelé ekonomické analýzy

NPV – čistá současná hodnota

Jedná se teoreticky o poměrně nejpřesnější metodu investičního rozhodování. Tato metoda je založena na respektování faktoru času pomocí diskontního počtu. Čistá současná hodnota vyjadřuje rozdíl mezi aktualizovanou hodnotou peněžních příjmů z investice a aktualizovanou hodnotou kapitálových výdajů na investice. Jako přípustné investice jsou ty, které vykazují vyšší hodnotu než 0. Při porovnání variant investic je nejvýhodnější investice s nejvyšší současnou hodnotou. [6]

$$NPV = \sum_{n=1}^N \frac{CF}{(1+i)^n} - INV \quad (7.1)$$

kde:

NPV = čistá současná hodnota investiční varianty

CF = generovaný peněžní tok v daném roce

i = úrok (požadovaná výnosnost)

INV = výše investice.

IRR – vnitřní výnosové procento

Vnitřní výnosové procento lze definovat jako takovou diskontní míru, při které současná hodnota peněžních příjmů z investice se rovná velikosti vstupní investice.

$$\sum_{n=1}^N \frac{CF}{(1+i)^n} = INV \quad (7.2)$$

Pro dané IRR hledáme takovou diskontní míru i , aby bylo dosaženo platnosti rovnice 7.2. Pokud by se investice uskutečňovaly po delší dobu, je nutné diskontovat i výdaje v jednotlivých letech.

Doba návratnosti – doba splacení

Jedná se o tradiční metodu hodnocení investic, v praxi s oblibou používanou, ale z teoretického hlediska již méně vhodnou. Doba návratnosti lze definovat, jako dobu, za kterou se investice splatí z peněžních příjmů díla. Jako nejvýhodnější se jeví varianta s nejkratší dobou úhrady.

Měrné investiční náklady

Stanovují se jako poměr celkových investičních nákladů ku celkovému instalovanému výkonu zdroje.

7.2.6 Výstupy ekonomické analýzy

Pro porovnání ekonomické výhodnosti mají největší vypovídací parametry následující parametry:

- IRR – vnitřní výnosové procento,
- Doba splacení vložených investičních prostředků z CF ,
- měrné investiční náklady.

Podrobný přehled vypočtených hodnot jednotlivých položek je součástí tabulek Tab. A-2 a Tab. B-2 .

Pro přehlednost uvedeme přehledovou tabulku

Tab. 7-3 Přehledová tabulka výstupů ekonomické analýzy.

| Ukazatel | Množství | | Jednotka |
|---|---------------|---------------|-------------------|
| | Varianta A | Varianta B | |
| Vložené vlastní zdroje | 18 018 400 | 14 601 100 | tis. Kč |
| Hrubý zisk-ztráta v 1.roce | 1 016 758 | 785 463 | tis. Kč |
| Saldo CF v 1. roce | 1 634 402 | 1 293 275 | tis. Kč |
| Saldo CF v 10. roce | 1 848 203 | 1 461 169 | tis. Kč |
| Saldo CF ve 20. roce | 2 214 586 | 1 749 192 | tis. Kč |
| Kumulované saldo CF za 20 let | 19 093 212 | 14 619 671 | tis. Kč |
| NPV za 20 let | 2 547 202 | 1 638 553 | tis. Kč |
| IRR | 7,70 | 7,36 | % |
| Doba návratnosti vl. zdrojů z CF | 10,4 | 10,6 | let |
| Měrné investiční náklady | 35 800 | 36 500 | tis. Kč/MW |

7.3 Zjednodušená SWOT analýza

SWOT analýza je typ strategické analýzy daného projektu a to z hlediska silné a slabé stránky, příležitostí a hrozby spojené s daným projektem. Tato analýza se využívá při zkoumání komplexních strategických kroků samotné realizace díla. [7]

Samotná metoda spočívá ve vyhodnocení jednotlivých faktorů, které jsou rozděleny do čtyř základních skupin. Vzájemným rozborem silných a slabých stránek na jedné straně a příležitostí a rizik na straně druhé se získávají nové informace, které dále hodnotí úroveň jejich vzájemných střetů.

Komplexní zjednodušená analýza jednotlivých stránek, které může přinést příprava a následní realizace PVE je uvedena v tabulce Tab. 7-4. Následuje také rozbor možností předcházení jednotlivým specifikovaným rizikům, což je přehledně uvedeno v následující tabulce Tab. 7-5.

Tab. 7-4 Tabulka SWOT analýzy.

| PVE Cukrová bouda | |
|---|--|
| Silné stránky | Slabé stránky |
| <ul style="list-style-type: none"> • Poskytování jak kladné, tak i záporné regulační odchylky v elektrizační soustavě. • Poměrně malá konkurence poskytování podpůrných služeb toho charakteru v podobě QS₁₀ a MZ. • Vhodné začlenění PVE do krajiny v podobě umístění převážné části PVE v podzemí. • Minimální negativní vliv na životní prostředí a to především v oblasti hluku, emisí a vlivu na zdraví fauny. • Nízké personální potřeby a taktéž poměrně nízké provozní náklady. • Vysoká provozní spolehlivost zařízení. | <ul style="list-style-type: none"> • Velké zábory pozemků spojené s realizací díla. • Negativní zásahy do životního prostředí spojené se samotnou realizací díla. • Poměrně velké nároky na zřízení infrastruktury potřebné pro realizaci stavby. • Nutnost vysoké kvalifikace personálu, a to jak po provozní tak i obchodní stránce. • Poměrně dlouhá doba přípravy a následné realizace díla. • Odpor ekologických organizací bojujících za zachování přírody. |
| Příležitosti | Hrozby |
| <ul style="list-style-type: none"> • Zvýšení potřeby podpůrných služeb spojenou s realizací velkého množství nestabilních obnovitelných zdrojů a to především větrných a fotovoltaických elektráren. • Zvýšení potřeby regulační energie spojené s dostavbou bloků jaderné elektrárny. • Možnost poskytování protipovodňové ochrany v podobě rezervace objemu v dolní nádrži. • Možnost poskytování dalších podpůrných služeb přenosové soustavě (start ze tmy, změnu zatížení a ostrovní provoz). • Využití dolní nádrže pro vodárenské účely. | <ul style="list-style-type: none"> • Riziko neúspěšného výsledku soutěže o poskytování podpůrných služeb. • Riziko spekulativních jednání ze strany vlastníků pozemků nutných pro realizaci díla. • Riziko obstrukcí při povolovacích řízeních a procesech Vyhodnocení vlivů na životní prostředí (EIA) ze strany ekologických organizací a orgánů ochrany životního prostředí. • Riziko kolize díla s územním plánováním. • Riziko technických změn v oblasti realizace díla a to především vlivy změny geologických podmínek, zjištěných při samotné realizaci díla. • Riziko nízké podpory výstavby díla, a to jak se strany politiky státu, tak i ze strany regionu a regionální politiky. |

Jednotlivým hrozbám je možné předcházet a minimalizovat je zavedením některých opatření.

Tab. 7-5 Tabulka možného opatření před hrozbami.

| Riziko | Možné opatření |
|---|---|
| Riziko neúspěšného výsledku soutěže o poskytování podpůrných služeb. | Se zvyšující poptávkou po podpůrných službách klesá toto riziko. Další možností minimalizace tohoto rizika je dlouhodobá kvalitní příprava obchodního personálu a tvorba strategie vstupu do soutěže s podpůrnými službami. |
| Riziko spekulativních jednání ze strany vlastníků pozemků nutných pro realizaci díla. | Vyvinout vhodnou aktivitu při jednání s vlastníky pozemků se snahou vyjednat poměrně přijatelnou cenu. Krajní možností je zapracování PVE jako veřejně prospěšnou stavbu, a tím si otevřít možnost úspěšného vyvlastňovacího řízení v případě neúspěšné dohody s vlastníky pozemků. |
| Riziko obstrukcí při povolovacích řízeních a procesech Vyhodnocení vlivů na životní prostředí (EIA) ze strany ekologických organizací a orgánů ochrany životního prostředí. | Vůči organizacím spojenými s ochranou životního prostředí vstřícně řešit zdůvodnitelné připomínky. Během přípravy vést informační kampaň k vlivem existence díla zasaženému obyvatelstvu. |
| Riziko kolize díla s územním plánováním. | Včasná doložení podkladů pro aktualizaci Politiky územního rozvoje, Zásad územního rozvoje a Územního plánu. Zapracování PVE jako veřejně prospěšnou stavbu pro plnění protipovodňové funkce, vodárenské funkce a taktéž poskytování podpůrných služeb v zájmu obyvatelstva. |
| Riziko technických změn v oblasti realizace díla a to především vlivy změny geologických podmínek, zjištěných při samotné realizaci díla. | Riziko je řešitelné technickým opatřením zvoleným dle aktuálních zjištění během stavby. |
| Riziko nízké podpory výstavby díla, a to jak se strany politiky státu, tak i ze strany regionu a regionální politiky. | Vhodným řešením je od samého započatí přípravy realizace díla vést dobrou komunikaci s dotčenými orgány. Předcházení možným rizikům projevujících se odvoláním orgánu proti příslušným rozhodnutím. |

8 PŘEDPOKLÁDANÝ HARMONOGRAM PŘÍPRAVY A REALIZACE DÍLA

Pro stanovení harmonogramu přípravy je nutné brát v potaz některé minimální lhůty dané nabytím právní moci jednotlivých rozhodnutí vycházejících ze zákona.

Pro stanovení jednotlivých lhůt, případně alespoň pro orientační určení lhůt bylo nutné vycházet z platné legislativy a to:

- Stavební zákon 183/2006Sb. [17]
- Vyhláška o dokumentaci staveb 499/2006Sb. [17]
- Vyhláška o územní plánovací dokumentaci 500/2006Sb. [18]
- Vyhláška, kterou se provádějí některá další ustanovení stavebního zákona ve věcech stavebního úřadu 526/2006Sb.[19]
- Zákon o ochraně životního prostředí 100/2001Sb. [19]

Většina těchto zákonů a vyhlášek podrobně pojednává o krocích spojených s realizací stavby i takového charakteru. V rámci jednotlivých žádostí jsou definovány lhůty nutné pro vyřízení a poté následné lhůty pro nabytí právní moci rozhodnutí a vznesení případných připomínek jinými subjekty.

Ze studie těchto dokumentu vyplývá několik lhůt a to:

- Aktualizace Politiky územního rozvoje 5let.
- Aktualizace Zásad územního rozvoje cca 3roky.
- Změna Územního plánu obcí 2 roky.
- Proces Vyhodnocení vlivů na životní prostředí (EIA) 2 roky.

Projekční činnost:

- Podrobný geologický průzkum 12 měsíců.
- Tvorba Dokumentace k úřednímu řízení 12 měsíců.
- Pozemková agenda (vyjmutí ze Zemědělského půdního fondu a Půdního fondu plnění funkce lesa) 8 měsíců.
- Územní řízení + nabytí právní moci 6 měsíců.

Příprava a realizace stavby:

- Výběr projektanta technických řešení 4 měsíce.
- Doplnující geologický průzkum 5 měsíců.
- Stavební řízení 6 měsíců.
- Realizace díla 70 měsíců.
- Kolaudace 4 měsíce.

Předpokladem k dosažení co nejrychlejšího zrealizování díla je nutné provádět co nejvíce možných na sebe nenavazujících činností zároveň. Je patrné, že na celkovou dobu přípravy má rozhodující vliv politika územního rozvoje, na ní navazující aktualizace zásad územního rozvoje a také aktualizace územního plánu dotčených obcí.

Návrh předpokládaného Harmonogramu přípravy a realizace díla je přehledně uveden v diagramu umístěném v příloze C.

Z tohoto diagramu je patrné, že doba přípravy může činit až 96 měsíců (8 let) a vlastní realizace díla pak 72 měsíců (6 let). Výsledná doba realizace díla je tedy 168 měsíců (14 let).

Těchto termínů je možné dosáhnout pouze při předpokladu bezproblémového průběhu realizace. Každý možný problém týkající se odvolání proti územnímu či stavebnímu řízení popřípadě s výkupem pozemků vede k prodloužení doby realizace díla.

9 ZÁVĚR

Jak již bylo řečeno, přečerpávací vodní elektrárna se realizuje hlavně za účelem vyrovnávání špiček a provalů zatížení vzniklých změnami zatížení v elektrizační soustavě. Tuto službu zajišťuje ve formě podpůrných služeb pro přenosovou soustavu a to tzv. Rychle startující 10-ti minutovou zálohou (QS₁₀), resp. Minutovou zálohou MZ která je zavedena od ledna 2012. Samotná PVE je schopna zajistit i další služby, o kterých se v této práci pojednává, ale to spíše jako okrajovou službu.

Zadáním byl návrh základních uzlů PVE Cukrová Bouda a stanovení jmenovitých parametrů. Tato lokalita patří mezi několik možných a uvažovaných lokalit vhodných pro výstavbu PVE v České republice. Ve zvolené lokalitě se již v minulosti prováděly průzkumy možnosti umístění hráze údolní přehrady Hoštejn.

Pro samotné hodnocení byly vypracovány dvě varianty řešení, a to jak z pohledu instalovaného výkonu tak z pohledu počtu technologických jednotek.

Varianta A je zaměřena na využití čtyř bloků o jmenovitém výkonu 126MW, při hltnosti jednoho bloku 60m³/s. Celkový instalovaný výkon této varianty je 504MW.

Varianta B je řešena s dvěma většími bloky, každý s instalovaným výkonem 200MW, což odpovídá celkovému instalovanému výkonu 400MW. V této varianta byla směřovaná na snížení počtu jednotek a tím předpokládané snížení investičních nákladů.

Obě varianty vycházejí z předpokládaného spádu pohybujícího se okolo 235m a doby provozu v turbínovém režimu 5 hodin.

Sypaná dolní hráz uvažované přehrady je situována v údolí říčky Březné v oblasti Drozdovské Pily. Její objem je při uvažovaném výšce hráze 52 metrů necelých 34 mil. m³. Parametry dolní hráze byly uvažovány pro obě varianty stejné.

Umístění horní nádrže se předpokládáno v oblasti vrcholu Cukrová Bouda. Hráz je řešená taktéž jako sypaná s tím, že bude tvořena z horniny odtěžené při tvorbě dna nádrže, kdy tato hornina bude navážena na samotnou hráz. Objem této hráze je pro obě varianty rozdílný jelikož jsou odlišné i uvažované různé průtoky soustrojími PVE. Pro variantu A je navržen objem s rezervou 5 mil. m³ a pro variantu B jsou to 4 mil. m³.

V obou variantách zajišťují propojení mezi horní nádrží a strojovnou dvě paralelní tlaková potrubí o délce 1355 metrů. Na tlakové potrubí navazují Reverzní Francisovy turbíny, jejichž nepochybnou výhodou je možnost turbínového i čerpadlového provozu, čímž se poměrně zjednoduší celkové řešení bloku. Od turbín je odváděna voda odpadními tunely do dolní nádrže PVE.

Na společné hřídeli jsou umístěny motorgenerátory, které se využívají jak při turbínovém provozu ve funkci generátoru nebo v čerpadlovém provozu ve funkci motorů. Přeměnu výstupního napětí motorgenerátoru na napětí přenosového vedení zajišťují blokové transformátory.

Nespornou výhodou této lokality je její umístění v blízkosti rozvodny Krasíkov, která je součástí přenosové soustavy. Délka vedení mezi touto rozvodnou a PVE Cukrová Bouda je necelých 10 km.

Je samozřejmostí, že realizace díla takovéhoho rozměru přinese i negativní vlivy na životní prostředí. Při stavbě a následném provozu je nutné přijmout taková opatření, aby došlo k minimalizaci těchto negativ, a to například při stavbě zamezit unikům ropných látek z pracovních strojů, nebo v samotné technologii využitím bezmazných technologií v částech soustrojí, kde dochází ke styku s pracovními médii a to vodou.

Pro ekonomické zhodnocení obou variant byly vytvořeno přehledné tabulka nákladů, jež lze spatřit v přílohách Tab. A-1 Náklady Varianty A. a Tab. B-1 Náklady Varianty B. Výsledkem nákladu je výše nutných investic pro realizaci díla. Pro variantu A je předpokládaná výše investice zhruba 18 mld. Kč a pro variantu B je stanovena částka 14,6 mld. Kč.

Předpokládaná struktura tržeb je uvedena v podkapitole 7.2.1. Pro zjednodušení je zde předpokládáno generování tržeb pouze nabídkou služby QS_{10} a prodeje elektrické energie při požadavku jejího nasazení, kdy je tato energie oceňována poměrně vysokou cenou. Ostatní možné služby které může poskytovat PVE nelze považovat za pravidelné a proto se s nimi nedá kalkulovat. Předpokládané roční výnosy jednotlivých variant jsou přehledně uvedeny v tabulkách Tab. A-2 a Tab. B-2 umístěných v příloze.

Ekonomické hodnocení je vytvořeno pro časový horizont 20 let. Pro samotné hodnocení je vycházeno nejprve z doby splacení daných investic. Pro variantu A vychází tato doba 10,4 roku a pro variantu B 10,6 roku. Obě varianty dosahují poměrně přijatelné dobu splacení investice při uvažování projektu takovéhoho charakteru.

Dalším kritériem je čistá současná hodnota (NPV). Výhodnou investicí se v tomto kritériu uvažuje investice s vyšší nezápornou generovanou hodnotou. V našem případě je to hodnota varianty A, jelikož dosahuje hodnoty 2,55 mld. Kč oproti variantě B s hodnotu 1,64 mld. Kč.

Kritérium určení vnitřního výnosového procenta (IRR) ukazuje hodnotu diskontní míry, která vede k nulové hodnotě NPV za dané uvažované období. V našem případě vychází hodnota IRR varianty A 7,7% a hodnota IRR varianty B 7,36%. Z těchto výsledků je taktéž patrné, že výhodnější je varianta A.

Posledním hodnotícím kritériem jsou měrné investiční náklady. Varianta A dosahuje hodnoty 35,8mil. Kč/MW a varianta B hodnoty 36,5mil. Kč/MW. Z tohoto pohledu je taktéž výhodná varianta A s nižší hodnotou měrných investičních nákladů.

Z výsledků všech hodnotících kritérií je patrné, že výhodnější je varianta A, jelikož dosahuje celkově lepších výsledků.

Znevýhodnění varianty B s nižším instalovaným výkonem je způsobeno existencí fixních nákladů, které jsou stejné pro obě varianty řešení. Mezi uvažované fixní náklady lze například zahrnout výstavbu komunikací a infrastruktury stavby, výstavbu dolní nádrže, která se uvažuje stejná pro obě varianty, výkup pozemku spojených se stavbou, kdy dochází u varianty B pouze k nepatrnému snížení potřeby pozemků v oblasti horní nádrže, atd.

Při uvažování snížení investičních nákladů lze přemýšlet o snížení objemu dolní nádrže. Při snížení objemu zhruba na 10mil. m^3 potřebných pro provoz PVE, by bylo možné snížit výšku hráze na cca 33m jak ukazuje Tab. 5-3. Jelikož by ale při tomto snížení hladiny nedošlo k vynětí

staveb ze zátopové oblasti v osadě Drozdovské Pily a bylo by nutné umístit sdružený objekt PVE blíže k dolní hrázi z důvodu dostatečného zanoření, nemá toto snížení objemu velký význam. Je nutné také podotknout, že tímto snížením objemu by byla vyřazena možnost využití dolní nádrže jak pro vodárenskou činnost tak také pro ochranu obyvatelstva před povodněmi.

Obsahem Swot analýzy je rozvaha z hlediska silných a slabých stránek, příležitostí a hrozeb spojené s daným projektem. Přehled této analýzy je uveden v tabulce Tab. 7-4 a není nutné jej tady podrobně rozebírat. Nejvýznamnějším výsledkem je část hrozeb, pro které jsou uvedeny možná opatření v tabulce Tab. 7-5.

V poslední části práce je zpracován orientační předpokládaný harmonogram přípravy a realizace díla. Při uvažování uvedených zákonů a vyhlášek je nejkratší doba vyřízení přípravných činností stanovena na 96 měsíců a následná realizace díla na 72 měsíců. Z těchto hodnot vyplývá doba potřebná pro přípravu a realizaci díla 14 let od rozhodnutí dílo realizovat.

Při rozhodnutí realizace tohoto díla je nutné detailně zpracovat jednotlivé části projektu, což nemohl být zpracováno vzhledem k rozsáhlosti v této práci. V případě rozhodnutí investora realizace tohoto díla je nutné zpracovat kompletní dokumentaci v předpřípravné fázi realizace.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] KOPŘIVA, Miroslav, A KOL. *Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně*. 2. vyd. Šumperk : Agentura Trifox, s.r.o., 1997. 100 s.
- [2] DUŠIČKA, Peter, A KOL. *Malé vodní elektrárny*. 1. vyd. Bratislava : Jaga group, v. o. s., 2003. 175 s. ISBN 80-88905-45-1.
- [3] BEDNÁŘ, Josef. *Malé vodní elektrárny 2 : Turbíny*. 1. vyd. Praha : Polygrafia, n. p., 1989. 240 s. ISBN 621.311.21-181.4.
- [4] DOČEKAL, Antonín, BOUČEK, Stanislav. *Elektrárny II*. 1. vyd. Praha : ČVUT, 1998. 263 s.
- [5] KOPŘIVA, Miroslav. *Generace Dlouhé Stráně*. 1. vyd. Šumperk : Trifoxy s.r.o., 2009. 248 s. ISBN 978-80-86930-17-6.
- [6] VALACH, Josef. *Finanční řízení podniku*. 1. vyd. Praha : Nakladatelství EKOPRESS, 1999. 324 s. ISBN 80-86119-21-1.
- [7] FOTR, Jiří, SOUČEK, Jan. *Podnikatelský záměr a investiční rozhodování*. 1. vyd. GRADA., 2005. 356 s. ISBN 80-247-0939-2.
- [8] SYNEK, Miloslav. *Manažerská ekonomika* 5. vyd. GRADA, 2011. 480 s. ISBN 978-80-347-3494-1.
- [9] ČEPS [online]. c2011, [cit. 2011-10-20].
Dostupný z WWW: <<http://www.ceps.cz/>>.
- [10] ČEZ Distribuce [online]. c2010, [cit. 2010-4-9].
Dostupný z WWW: <<http://www.cezdistribuce.cz/>>.
- [11] ČHMU [online]. c2011, [cit. 2011-11-25].
Dostupný z WWW: <<http://www.chmu.cz/>>.
- [12] MAPY [online]. c2011, [cit. 2011-11-5].
Dostupný z WWW: <<http://www.mapy.cz/>>.
- [13] Karlova Studánka [online]. c2011, [cit. 2011-12-10].
Dostupný z WWW: <<http://www.k.studanka.cz/>>.
- [14] Přírodní park Březná [online]. c2009, [cit. 2011-11-12].
Dostupný z WWW: <<http://www.tixik.com/>>.
- [15] Ceník prací ÚRS [online]. c2009, [cit. 2012-4-12].
Dostupný z WWW: <<http://www.cenik-praci.cz/cenik-stavebnich-praci-urs/>>.
- [16] ALSTOM [online]. c2012, [cit. 2012-3-22].
Dostupný z WWW: <www.alstom.com/czech-republic/cs/>.
- [17] Tzbinfo (stavebnictví, úspora energie, technika zařízení budov) [online]. c2012, [cit. 2012-5-6].
Dostupný z WWW: <www.tzb-info.cz>.
- [18] Český statistický úřad [online]. c2012, [cit. 2012-5-6].
Dostupný z WWW: <www.czso.cz/>.

- [19] *Portál veřejné správy* [online]. c2012 , [cit. 2012-5-6].
Dostupný z WWW: <portal.gov.cz/>.
- [20] GOOGLE EARTH [počítačový program], Ver. 6.1.0.5001, 2012.
- [21] MS Office [počítačový program], 2003.

Příloha A: EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VARIANTY A.

Tab. A-1 Náklady Varianty A.

| Náklady PVE Cukrová bouda | | | Varianta A: 4 x 126MW | |
|---|-------------|--------------------|-----------------------|--------------------------|
| | Množství | Jednotka | Cena m.j. [Kč] | Cena celkem [mil. Kč] |
| Stavební část | | | | |
| Hráz horní nádrže | | | | |
| Násep | 1236,2 | tis.m ³ | 900 | 1112,6 |
| AB svahu | 79,3 | tis.m ² | 5000 | 396,5 |
| AB dna | 341,8 | tis.m ² | 4000 | 1367,2 |
| Ostatní objekty HN (ter. úpravy, komunikace) | 4% | | | 115,1 |
| Celkem | | | | 2991,3 |
| Vtokový objekt a objekt uzávěrů HN | | | | |
| obestavěný prostor | 40 | tis.m ³ | 6000 | 240,0 |
| Přístupová štola | | | | |
| kubatura výlomu | 2000 | m ³ | 8500 | 17,0 |
| kubatura betonu | 380 | m ³ | 3600 | 1,4 |
| Odvodňovací štola | | | | |
| kubatura výlomu | 3300 | m ³ | 2200 | 7,3 |
| kubatura betonu | 1500 | m ³ | 3600 | 5,4 |
| celkem | | | | 271,0 |
| Trafokaverna | | | | |
| výlom | 19500 | m ³ | 6000 | 117,0 |
| betonáž | 3000 | m ³ | 3600 | 10,8 |
| související práce | 1% | | | 1,3 |
| celkem | | | | 129,1 |
| Spojka kaverny a trafokaverny | | | | |
| výlom | 720 | m ³ | 5500 | 4,0 |
| betonáž | 80 | m ³ | 3600 | 0,3 |
| celkem | | | | 4,2 |
| Strojovna elektrárny | | | | |
| výlom | 157500 | m ³ | 6000 | 945,0 |
| betonáž | 37000 | m ³ | 3600 | 133,2 |
| související práce | 3% | | | 32,3 |
| celkem | | | | 1110,5 |
| Komunikační, přístupový tunel do strojovny a přístupový tunel k odpadním tunelům | | | | |
| | 300+280+130 | m | | |
| výlom | 35500 | m ³ | 6000 | 213,0 |
| betonáž | 5500 | m ³ | 3600 | 19,8 |
| celkem | | | | 232,8 |
| Přivaděč | | | | |
| výlom | 94000 | m ³ | 7500 | 705,0 |
| betonáž | 34400 | m ³ | 3100 | 106,6 |
| pancíř | 13600 | t | 18000 | 244,8 |
| související práce | 3% | | | 31,7 |
| celkem | | | | 1088,1 |
| Odpadní tunely | | | | |
| výlom | 16040 | m ³ | 5500 | 88,2 |
| betonáž | 9400 | m ³ | 3900 | 36,7 |
| celkem | | | | 124,9 |
| Větrací a kabelové štoly | | | | |
| | 330 | m | | |
| výlom | 5850 | m ³ | 5500 | 31,4 |
| betonáž | 920 | m ³ | 3600 | 3,4 |
| celkem | | | | 35,5 |
| Hráz dolní nádrže | | | | |
| násyp | 904000 | m ³ | 1000 | 904,0 |
| AB svahu | 21600 | m ² | 5000 | 108,0 |
| Ostatní objekty DN (ter. úpravy, komunikace) | 3% | | | 30,4 |
| Celkem | | | | 1042,4 |
| Sdružený objekt | | | | |
| obestavěný prostor (betonáž) | 35000 | m ³ | 4600 | 161,0 |

| | | | | |
|--|--------------|----------------|-------------|------------------------|
| technologie | 10% | | | 16,1 |
| Celkem | | | | 177,1 |
| Injekční štola | 250 | m | | |
| výkop | 17700 | m ³ | 1600 | 28,3 |
| betonáž | 13300 | m ³ | 3500 | 46,6 |
| injekční clona | 19000 | m ³ | 3500 | 66,5 |
| celkem | | | | 141,4 |
| Obtoková štola a stavební obroky | 200+250 | m | | |
| výlom | 8000 | m ³ | 5500 | 44,0 |
| betonáž | 1400 | m ³ | 3500 | 4,9 |
| Celkem | | | | 48,9 |
| Odpadní štola | 190 | m | | |
| výkop | 1800 | m ³ | 1700 | 3,1 |
| betonáž | 1400 | m ³ | 3900 | 5,5 |
| Celkem | | | | 8,5 |
| Vývodové pole | | | | 10,0 |
| Správní a provozní objekty | | | | 100,0 |
| Nové komunikace | | | | |
| délka | 17000 | m | | |
| plocha | 144000 | m ² | 4000 | 576,0 |
| celkem | | | | 576,0 |
| Rekonstrukce stávajících komunikací | | | | |
| délka | 4300 | m | | |
| plocha | 34400 | m ² | 3000 | |
| celkem | | | | 103,2 |
| Vyrovnávací komora | odhad | | | 90,0 |
| Ostatní související objekty | odhad cca 8% | | | 662,8 |
| Stavební náklady celkem | | | | 9051,0 |
| Technologická část | | | | |
| Strojní součásti | | | | |
| Turbíny, regulace a související zařízení | 4 | ks | 460 000 000 | 1840 |
| Zařízení vtokového objektu | 2 | ks | 21 000 000 | 42 |
| Provozní uzávěry | 2 | ks | 55 000 000 | 110 |
| Provozní uzávěry kulové | 4 | ks | 68 000 000 | 272 |
| Zařízení sdruženého objektu | 1 | ks | 220 000 000 | 220 |
| Ostatní provozní zařízení | 8% | | | 198,72 |
| Mezisosčet | | | | 2682,72 |
| Montážní práce | 15% | | | 402,408 |
| Strojní část celkem | | | | 3085,128 |
| Elektro část | | | | |
| Motorgenerátory včetně příslušenství | 4 | ks | 465 000 000 | 1860 |
| Blokové transformátory | 4 | ks | 53 000 000 | 212 |
| Zapouzdřená rozvodna | 1 | ks | 510 000 000 | 510 |
| Ostatní zařízení a vlastní spotřeba | 1 | ks | 175 000 000 | 175 |
| Vyvedení výkonu do rozvodny 400kV | 9,7 | km | 14 000 000 | 135,8 |
| Upravy v rozvodně 400 kV | 504 | MW | 450 000 | 226,8 |
| Ostatní zařízení a vlastní spotřeba | 5% | | | 156,0 |
| Mezisosčet | | | | 3275,6 |
| Montážní práce | 15% | | | 491,3 |
| Elektro celkem | | | | 3766,9 |
| Technologická část celkem | | | | 6852,0 |
| Ostatní náklady spojené se stavbou | | | | |
| Projekty, průzkumy, zaměření | 2% | | | 318,1 |
| Souvislé investice | 1% | | | 159,0 |
| Vynětí pozemků ze zemědělského půdního fondu | 300 000 | m ² | 40 | 12,0 |
| Vynětí pozemků z plnění funkce lesa | 1 200 000 | m ² | 60 | 72,0 |
| Výkup pozemků | 700 000 | m ² | 250 | 175,0 |
| Výkup nemovitostí | 20 | objektů | 2 000 000 | 40,0 |
| Dočasný zábor ZPF a PUPFL na 8 let | 100 000 | m ² | 10 | 8,0 |
| Věčné břemeno vedení | 102 000 | m ² | 25 | 20,4 |
| Zařízení staveniště | odhad | | | 150,0 |
| Náklady na ochranu ŽP | 0,30% | | | 47,7 |
| Inženýrská činnost a technická pomoc | 2% | | | 318,1 |
| Rezerva | 5% | | | 795,2 |
| celkem | | | | 2115,4 |
| PVE CELKEM (Varianta A) | | | | 18018,4 mil. Kč |

Tab. A-2 Přehledová tabulka výpočtu ekonomického hodnocení Varianty A.

| PVE Cukrová Bouda | pořadí let | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--|--------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Variant A. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Celková cena investice | tis Kč | 18 018 400 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VÝNOSY | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Množství prodané elektřiny | MWh | 124 740 | 124 740 | 124 740 | 124 740 | 124 740 | 124 740 | 124 740 | 124 740 | 124 740 | 124 740 | 124 740 | 124 740 | 124 740 | 124 740 | 124 740 | 124 740 | 124 740 | 124 740 | 124 740 | 124 740 | 124 740 |
| cena elektřiny | tis. Kč/MWh | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 |
| index růstu ceny | - | 1,01 | 1,00 | 1,01 | 1,01 | 1,01 | 1,01 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 |
| růst ceny | - | 1,00 | 1,00 | 1,01 | 1,02 | 1,03 | 1,04 | 1,06 | 1,08 | 1,10 | 1,13 | 1,15 | 1,17 | 1,20 | 1,22 | 1,24 | 1,27 | 1,29 | 1,32 | 1,35 | 1,37 | 1,40 |
| cena indexovaná | Kč/MWh | 3 300 | 3 300 | 3 333 | 3 366 | 3 400 | 3 434 | 3 503 | 3 573 | 3 644 | 3 717 | 3 791 | 3 867 | 3 945 | 4 023 | 4 104 | 4 186 | 4 270 | 4 355 | 4 442 | 4 531 | 4 622 |
| tržby z prodané elektřiny | tis. Kč/rok | | 411 642 | 415 758 | 419 916 | 424 115 | 428 356 | 436 923 | 445 662 | 454 575 | 463 667 | 472 940 | 482 399 | 492 047 | 501 888 | 511 925 | 522 164 | 532 607 | 543 259 | 554 125 | 565 207 | 576 511 |
| Množství QS10 | MW.h/rok | 3 825 360 | 3 825 360 | 3 825 360 | 3 825 360 | 3 825 360 | 3 825 360 | 3 825 360 | 3 825 360 | 3 825 360 | 3 825 360 | 3 825 360 | 3 825 360 | 3 825 360 | 3 825 360 | 3 825 360 | 3 825 360 | 3 825 360 | 3 825 360 | 3 825 360 | 3 825 360 | 3 825 360 |
| cena za jednotku | tis. Kč/MW.h | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 |
| index růstu ceny | - | 1,01 | 1,00 | 1,01 | 1,01 | 1,01 | 1,01 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 |
| růst ceny | - | 1,00 | 1,00 | 1,01 | 1,02 | 1,03 | 1,04 | 1,06 | 1,08 | 1,10 | 1,13 | 1,15 | 1,17 | 1,20 | 1,22 | 1,24 | 1,27 | 1,29 | 1,32 | 1,35 | 1,37 | 1,40 |
| cena indexovaná | Kč/MW.h | 450,0 | 450,0 | 454,5 | 459,0 | 463,6 | 468,3 | 477,6 | 487,2 | 496,9 | 506,9 | 517,0 | 527,4 | 537,9 | 548,7 | 559,6 | 570,8 | 582,2 | 593,9 | 605,8 | 617,9 | 630,2 |
| tržby z QS10 | tis. Kč/rok | | 1 721 412 | 1 738 626 | 1 756 012 | 1 773 573 | 1 791 308 | 1 827 134 | 1 863 677 | 1 900 951 | 1 938 970 | 1 977 749 | 2 017 304 | 2 057 650 | 2 098 803 | 2 140 779 | 2 183 595 | 2 227 267 | 2 271 812 | 2 317 248 | 2 363 593 | 2 410 865 |
| Výnosy celkem | tis. Kč/rok | | 2 133 054 | 2 154 385 | 2 175 928 | 2 197 688 | 2 219 665 | 2 264 058 | 2 309 339 | 2 355 526 | 2 402 636 | 2 450 689 | 2 499 703 | 2 549 697 | 2 600 691 | 2 652 705 | 2 705 759 | 2 759 874 | 2 815 071 | 2 871 373 | 2 928 800 | 2 987 376 |
| NÁKLADY | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vlastní spotřeba elektřiny | MWh | 172 892 | 172 892 | 172 892 | 172 892 | 172 892 | 172 892 | 172 892 | 172 892 | 172 892 | 172 892 | 172 892 | 172 892 | 172 892 | 172 892 | 172 892 | 172 892 | 172 892 | 172 892 | 172 892 | 172 892 | 172 892 |
| cena elektřiny | tis. Kč/MWh | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 |
| index růstu ceny | - | 1,010 | 1,000 | 1,010 | 1,010 | 1,010 | 1,010 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 |
| růst ceny | - | 1,000 | 1,000 | 1,010 | 1,020 | 1,030 | 1,041 | 1,061 | 1,083 | 1,104 | 1,126 | 1,149 | 1,172 | 1,195 | 1,219 | 1,244 | 1,268 | 1,294 | 1,320 | 1,346 | 1,373 | 1,401 |
| cena indexovaná | Kč/MWh | 1200,000 | 1212,000 | 1224,120 | 1236,361 | 1248,725 | 1273,699 | 1299,173 | 1325,157 | 1351,660 | 1378,693 | 1406,267 | 1434,392 | 1463,080 | 1492,342 | 1522,189 | 1552,632 | 1583,685 | 1615,359 | 1647,666 | 1680,619 | |
| Náklady na vlastní spotřeba elektřiny | tis. Kč/MWh | | 207 470 | 209 545 | 211 640 | 213 756 | 215 894 | 220 212 | 224 616 | 229 108 | 233 691 | 238 364 | 243 132 | 247 994 | 252 954 | 258 013 | 263 174 | 268 437 | 273 806 | 279 282 | 284 868 | 290 565 |
| Počet zaměstnanců nového zdroje | osob | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 |
| prům. cena 1 prac.+soc.náklady | tis. Kč/osobu | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 |
| index růstu ceny prac. | - | 1,035 | 1,000 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 |
| růst ceny pracovníků | - | 1,000 | 1,000 | 1,035 | 1,071 | 1,109 | 1,148 | 1,188 | 1,229 | 1,272 | 1,317 | 1,363 | 1,411 | 1,460 | 1,511 | 1,564 | 1,619 | 1,675 | 1,734 | 1,795 | 1,857 | 1,923 |
| Mzdové a osobní náklady | tis. Kč/rok | 0,0 | 21870,0 | 22635,5 | 23427,7 | 24247,7 | 25096,3 | 25974,7 | 26883,8 | 27824,7 | 28798,6 | 29806,6 | 30849,8 | 31929,5 | 33047,1 | 34203,7 | 35400,8 | 36639,9 | 37922,3 | 39249,6 | 40623,3 | 42045,1 |
| Náklady na opravy a údržbu (GO) | tis. Kč/rok | 45 046 | 45 046 | 45 046 | 45 046 | 45 046 | 45 046 | 45 046 | 45 046 | 45 046 | 45 046 | 45 046 | 45 046 | 45 046 | 45 046 | 45 046 | 45 046 | 45 046 | 45 046 | 45 046 | 45 046 | 45 046 |
| index růstu ceny na opravy a údržbu | - | 1,020 | 1,000 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 |
| růst ceny za opravy | - | 1,000 | 1,000 | 1,020 | 1,040 | 1,061 | 1,082 | 1,104 | 1,126 | 1,149 | 1,172 | 1,195 | 1,219 | 1,243 | 1,268 | 1,294 | 1,319 | 1,346 | 1,373 | 1,400 | 1,428 | 1,457 |
| Náklady na opravu a údržbu (GO) | tis. Kč/rok | | 45046,0 | 45946,9 | 46865,9 | 47803,2 | 48759,2 | 49734,4 | 50729,1 | 51743,7 | 52778,6 | 53834,1 | 54910,8 | 56009,0 | 57129,2 | 58271,8 | 59437,2 | 60626,0 | 61831,4 | 63075,3 | 64336,8 | 65623,5 |
| správní režie | tis. Kč/rok | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 |
| spotřeba materiálu | tis. Kč/rok | 9 009 | 9 009 | 9 009 | 9 009 | 9 009 | 9 009 | 9 009 | 9 009 | 9 009 | 9 009 | 9 009 | 9 009 | 9 009 | 9 009 | 9 009 | 9 009 | 9 009 | 9 009 | 9 009 | 9 009 | 9 009 |
| revize a měření | tis. Kč/rok | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 |
| pojištění | tis. Kč/rok | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 |
| ostatní náklady | tis. Kč/rok | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 | 7 207 |
| index růstu ceny ostat.nákladů | - | 1,020 | 1,000 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 |
| růst ceny za ostatní náklady | - | 1,000 | 1,000 | 1,020 | 1,040 | 1,061 | 1,082 | 1,104 | 1,126 | 1,149 | 1,172 | 1,195 | 1,219 | 1,243 | 1,268 | 1,294 | 1,319 | 1,346 | 1,373 | 1,400 | 1,428 | 1,457 |
| ostatní provozní náklady | tis. Kč/rok | | 31 082 | 31 703 | 32 337 | 32 984 | 33 644 | 34 317 | 35 003 | 35 703 | 36 417 | 37 146 | 37 888 | 38 646 | 39 419 | 40 208 | 41 012 | 41 832 | 42 669 | 43 522 | 44 392 | 45 280 |
| náklady bez odpisů a úroků | tis. Kč/rok | | 305 468 | 309 830 | 314 271 | 318 791 | 323 393 | 330 238 | 337 232 | 344 380 | 351 685 | 359 151 | 366 781 | 374 579 | 382 550 | 390 696 | 399 023 | 407 535 | 1 102 628 | 425 129 | 434 220 | 443 514 |
| procento odpisů z nového zdroje | % | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% |
| odpisy z nového zdroje | tis. Kč/rok | 810 828 | 810 828 | 810 828 | 810 828 | 810 828 | 810 828 | 810 828 | 810 828 | 810 828 | 810 828 | 810 828 | 810 828 | 810 828 | 810 828 | 810 828 | 810 828 | 810 828 | 810 828 | 810 828 | 810 828 | 810 828 |
| Náklady celkem | tis. Kč/rok | | 1 116 296 | 1 120 658 | 1 125 099 | 1 129 619 | 1 134 221 | 1 141 066 | 1 148 060 | 1 155 208 | 1 162 513 | 1 169 979 | 1 177 609 | 1 185 407 | 1 193 378 | 1 2 | | | | | | |

Tab. A-3 Tabulka citlivostní analýzy ceny QS a elektrické energie pro Variantu A.

| CITLIVOSTNÍ ANALÝZA | | Cena | tis. Kč/MW.h | | | | | | |
|---------------------------------------|-----|----------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| parametr | QS | 0,450 | 0,400 | 0,420 | 0,440 | 0,450 | 0,460 | 0,480 | 0,500 |
| hr. zisk z projektu - ztráta v 1.roce | | 1016758 | 825 490 | 901 998 | 978 505 | 1 016 758 | 1 055 012 | 1 131 519 | 1 208 026 |
| saldo CF | | 1634402 | 1 479 475 | 1 541 446 | 1 603 417 | 1 634 402 | 1 665 388 | 1 727 359 | 1 789 329 |
| NPV za 20 let | | 2547202 | 649 236 | 1 408 422 | 2 167 608 | 2 547 202 | 2 926 795 | 3 685 981 | 4 445 168 |
| IRR | | 7,7% | 6,44% | 6,95% | 7,45% | 7,70% | 7,94% | 8,42% | 8,89% |
| CITLIVOSTNÍ ANALÝZA | | Cena | tis.Kč/MWh | | | | | | |
| parametr | EEN | 3,300 | 2,600 | 3,000 | 3,400 | 3,600 | 3,800 | 4,200 | 4,600 |
| hr. zisk z projektu - ztráta v 1.roce | | 1016758 | 929 440 | 979 336 | 1 029 232 | 1 054 180 | 1 079 128 | 1 129 024 | 1 178 920 |
| saldo CF | | 1634402 | 1 563 675 | 1 604 090 | 1 644 506 | 1 664 714 | 1 684 922 | 1 725 338 | 1 765 753 |
| NPV za 20 let | | 2547202 | 1 680 739 | 2 175 860 | 2 670 982 | 2 918 543 | 3 166 104 | 3 661 225 | 4 156 347 |
| IRR | | 7,7% | 7,13% | 7,46% | 7,78% | 7,93% | 8,09% | 8,40% | 8,71% |

Příloha B: EKONOMICKÉ ZHDNOCENÍ VARIANTY B.

Tab. B-1 Náklady Varianty B.

| Náklady PVE Cukrová bouda | | | Varianta B 2 x 200MW | |
|---|-------------|--------------------|----------------------|---------------|
| | Množství | Jednotka | Cena m.j. | Cena celkem |
| Stavební část | | | | |
| Hráz horní nádrže | | | | |
| Násyp | 1125,7 | tis.m ³ | 900 | 1013,1 |
| AB svahu | 70,1 | tis.m ² | 5000 | 350,5 |
| AB dna | 282,7 | tis.m ² | 4000 | 1130,8 |
| Ostatní objekty HN (ter. úpravy, komunikace) | 3% | | | 99,8 |
| Celkem | | | | 2594,2 |
| Vtokový objekt a objekt uzávěrů HN | | | | |
| obestavěný prostor | 30 | tis.m ³ | 6000 | 180,0 |
| Přístupová štola | | | | |
| kubatura výlomu | 1700 | m ³ | 8500 | 14,5 |
| kubatura betonu | 320 | m ³ | 3600 | 1,2 |
| Odvodňovací štola | | | | |
| kubatura výlomu | 3100 | m ³ | 2200 | 6,8 |
| kubatura betonu | 1400 | m ³ | 3600 | 5,0 |
| celkem | | | | 207,5 |
| Trafokaverna | | | | |
| výlom | 15700 | m ³ | 6000 | 94,2 |
| betonáž | 2400 | m ³ | 3600 | 8,6 |
| související práce | 1% | | | 1,0 |
| celkem | | | | 103,9 |
| Spojka kaverny a trafokaverny | | | | |
| výlom | 720 | m ³ | 5500 | 4,0 |
| betonáž | 80 | m ³ | 3600 | 0,3 |
| celkem | | | | 4,2 |
| Strojovna elektrárny | | | | |
| výlom | 126670 | m ³ | 6000 | 760,0 |
| betonáž | 33000 | m ³ | 3600 | 118,8 |
| související práce | 3% | | | 26,4 |
| celkem | | | | 905,2 |
| Komunikační, přístupový tunel do strojovny a přístupový tunel k odpadním tunelům | | | | |
| | 300+280+130 | m | | |
| výlom | 35500 | m ³ | 6000 | 213,0 |
| betonáž | 5500 | m ³ | 3600 | 19,8 |
| celkem | | | | 232,8 |
| Přivaděč | | | | |
| výlom | 50280 | m ³ | 7500 | 377,1 |
| betonáž | 16500 | m ³ | 3100 | 51,2 |
| pancíř | 9600 | t | 18000 | 172,8 |
| související práce | 3% | | | 18,0 |
| celkem | | | | 619,1 |
| Odpadní tunely | | | | |
| výlom | 11150 | m ³ | 5500 | 61,3 |
| betonáž | 7400 | m ³ | 3900 | 28,9 |
| celkem | | | | 90,2 |
| Větrací a kabelové štoly | | | | |
| | 330 | m | | |
| výlom | 5850 | m ³ | 5500 | 32,2 |
| betonáž | 920 | m ³ | 3600 | 3,4 |
| celkem | | | | 35,6 |
| Hráz dolní nádrže | | | | |
| násyp | 904000 | m ³ | 1000 | 904,0 |
| AB svahu | 21600 | m ² | 5000 | 108,0 |
| Ostatní objekty DN (ter. úpravy, komunikace) | 3% | | | 30,4 |
| celkem | | | | 1042,4 |
| Sdružený objekt | | | | |
| obestavěný prostor (betonáž) | 35000 | m ³ | 4600 | 161,0 |
| technologie | 10% | | | 16,1 |
| Celkem | | | | 177,1 |
| Injekční štola | 250 | m | | |

| | | | | |
|--|--------------|----------------|----------------|-----------------|
| výkop | 17700 | m ³ | 1600 | 28,3 |
| betonáž | 13300 | m ³ | 3500 | 46,6 |
| injekční clona | 19000 | m ³ | 3500 | 66,5 |
| celkem | | | | 141,4 |
| Obtoková štola a stavební obroky | 200+250 | m | | |
| výlom | 8000 | m ³ | 5500 | 44,0 |
| betonáž | 1400 | m ³ | 3500 | 4,9 |
| celkem | | | | 48,9 |
| Odpadní štola | 190 | m | | |
| výkop | 1800 | m ³ | 1700 | 3,1 |
| betonáž | 1400 | m ³ | 3900 | 5,5 |
| celkem | | | | 8,5 |
| Vývodové pole | | | | 7,0 |
| Správní a provozní objekty | | | | 80,0 |
| Nové komunikace | | | | |
| délka | 15500 | m | | |
| plocha | 131000 | m ² | 4000 | 524,0 |
| celkem | | | | 524,0 |
| Rekonstrukce stávajících komunikací | | | | |
| délka | 4300 | m | | |
| plocha | 34400 | m ² | 3000 | |
| celkem | | | | 103,2 |
| Vyrovnávací komora | odhad | | | 75,0 |
| Ostatní související objekty | odhad cca 8% | | | 560,0 |
| Stavební náklady celkem | | | | 7663,2 |
| Technologická část | | | | |
| Strojní součásti | | | | |
| Turbíny, regulace a související zařízení | 2 | ks | 690 000 000 | 1380 |
| Zařízení vtokového objektu | 2 | ks | 17 500 000 | 35 |
| Provozní uzávěry | 2 | ks | 45 000 000 | 90 |
| Provozní uzávěry kulové | 2 | ks | 81 000 000 | 162 |
| Zařízení sdruženého objektu | 1 | ks | 180 000 000 | 180 |
| Ostatní provozní zařízení | 8% | | | 147,76 |
| Mezisosčet | | | | 1994,76 |
| Montážní práce | 15% | | | 299,214 |
| Strojní část celkem | | | | 2293,974 |
| Elektro část | | | | |
| Motorgenerátory včetně příslušenství | 2 | ks | 695 000 000 | 1390 |
| Blokové transformátory | 2 | ks | 79 500 000 | 159 |
| Zapouzdřená rozvodna | 1 | ks | 410 000 000 | 410 |
| Ostatní zařízení a vlastní spotřeba | 1 | ks | 125 000 000 | 125 |
| Vyvedení výkonu do rozvodny 400kV | 9,7 | km | 13 000 000 | 126,1 |
| Upravy v rozvodně 400 kV | 400 | MW | 450 000 | 180,0 |
| Ostatní zařízení a vlastní spotřeba | 5% | | | 119,5 |
| Mezisosčet | | | | 2509,6 |
| Montážní práce | 15% | | | 376,4 |
| Elektro celkem | | | | 2886,0 |
| Technologická část celkem | | | | 5180,0 |
| Ostatní náklady spojené se stavbou | | | | |
| Projekty, průzkumy, zaměření | 2% | | | 256,9 |
| Souvislé investice | 1% | | | 128,4 |
| Vynětí pozemků ze zemědělského půdního fondu | 300 000 | m ² | 40 | 12,0 |
| Vynětí pozemků z plnění funkce lesa | 1 050 000 | m ² | 60 | 63,0 |
| Výkup pozemků | 650 000 | m ² | 250 | 162,5 |
| Výkup nemovitostí | 20 | objektů | 2 000 000 | 40,0 |
| Dočasný zábor ZPF a PUPFL na 8 let | 90 000 | m ² | 10 | 7,2 |
| Věcné břemeno vedení | 102 000 | m ² | 25 | 20,4 |
| Zařízení staveniště | odhad | | | 130,0 |
| Náklady na ochranu ŽP | 0,30% | | | 38,5 |
| Inženýrská činnost a technická pomoc | 2% | | | 256,9 |
| Rezerva | 5% | | | 642,2 |
| celkem | | | | 1757,9 |
| PVE CELKEM (Varianta B) | | | 14601,1 | mil.Kč |

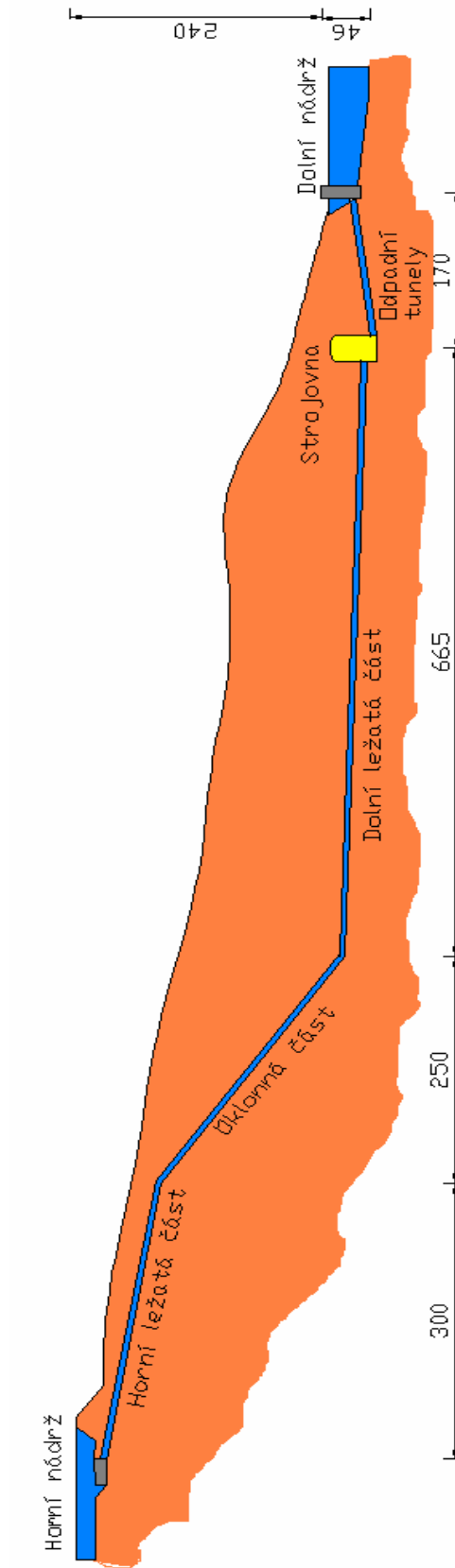
Tab. B-2 Přehledová tabulka výpočtu ekonomického hodnocení Varianty B.

| PVE Cukrová Bouda | pořadí let | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | |
|--|--------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|---------|
| Varianty B. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Celková cena investice | tis Kč | 14 601 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VÝNOSY | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Množství prodané elektřiny | MWh | 99 000 | 99 000 | 99 000 | 99 000 | 99 000 | 99 000 | 99 000 | 99 000 | 99 000 | 99 000 | 99 000 | 99 000 | 99 000 | 99 000 | 99 000 | 99 000 | 99 000 | 99 000 | 99 000 | 99 000 | 99 000 | |
| cena elektřiny | tis. Kč/MWh | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | |
| index růstu ceny | - | 1,01 | 1,00 | 1,01 | 1,01 | 1,01 | 1,01 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | |
| růst ceny | - | 1,00 | 1,00 | 1,01 | 1,02 | 1,03 | 1,04 | 1,06 | 1,08 | 1,10 | 1,13 | 1,15 | 1,17 | 1,20 | 1,22 | 1,24 | 1,27 | 1,29 | 1,32 | 1,35 | 1,37 | 1,40 | |
| cena indexovaná | Kč/MWh | 3 300 | 3 300 | 3 333 | 3 366 | 3 400 | 3 434 | 3 503 | 3 573 | 3 644 | 3 717 | 3 791 | 3 867 | 3 945 | 4 023 | 4 104 | 4 186 | 4 270 | 4 355 | 4 442 | 4 531 | 4 622 | |
| tržby z prodané elektřiny | tis. Kč/rok | 326 700 | 329 967 | 333 267 | 336 599 | 339 965 | 346 765 | 353 700 | 360 774 | 367 989 | 375 349 | 382 856 | 390 513 | 398 324 | 406 290 | 414 416 | 422 704 | 431 158 | 439 781 | 448 577 | 457 549 | | |
| Množství QS10 | MW.h/rok | 3 036 000 | 3 036 000 | 3 036 000 | 3 036 000 | 3 036 000 | 3 036 000 | 3 036 000 | 3 036 000 | 3 036 000 | 3 036 000 | 3 036 000 | 3 036 000 | 3 036 000 | 3 036 000 | 3 036 000 | 3 036 000 | 3 036 000 | 3 036 000 | 3 036 000 | 3 036 000 | 3 036 000 | |
| cena za jednotku | tis. Kč/MW.h | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | 0,450 | |
| index růstu ceny | - | 1,01 | 1,00 | 1,01 | 1,01 | 1,01 | 1,01 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | |
| růst ceny | - | 1,00 | 1,00 | 1,01 | 1,02 | 1,03 | 1,04 | 1,06 | 1,08 | 1,10 | 1,13 | 1,15 | 1,17 | 1,20 | 1,22 | 1,24 | 1,27 | 1,29 | 1,32 | 1,35 | 1,37 | 1,40 | |
| cena indexovaná | Kč/MW.h | 450,0 | 450,0 | 454,5 | 459,0 | 463,6 | 468,3 | 477,6 | 487,2 | 496,9 | 506,9 | 517,0 | 527,4 | 537,9 | 548,7 | 559,6 | 570,8 | 582,2 | 593,9 | 605,8 | 617,9 | 630,2 | |
| tržby z QS10 | tis. Kč/rok | 1 366 200 | 1 379 862 | 1 393 661 | 1 407 597 | 1 421 673 | 1 450 107 | 1 479 109 | 1 508 691 | 1 538 865 | 1 569 642 | 1 601 035 | 1 633 056 | 1 665 717 | 1 699 031 | 1 733 012 | 1 767 672 | 1 803 025 | 1 839 086 | 1 875 868 | 1 913 385 | | |
| Výnosy celkem | tis. Kč/rok | 1 692 900 | 1 709 829 | 1 726 927 | 1 744 197 | 1 761 639 | 1 796 871 | 1 832 809 | 1 869 465 | 1 906 854 | 1 944 991 | 1 983 891 | 2 023 569 | 2 064 040 | 2 105 321 | 2 147 428 | 2 190 376 | 2 234 184 | 2 278 867 | 2 324 445 | 2 370 934 | | |
| NAKLADY | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vlastní spotřeba elektřiny | MWh | 139 023 | 139 023 | 139 023 | 139 023 | 139 023 | 139 023 | 139 023 | 139 023 | 139 023 | 139 023 | 139 023 | 139 023 | 139 023 | 139 023 | 139 023 | 139 023 | 139 023 | 139 023 | 139 023 | 139 023 | 139 023 | |
| cena elektřiny | tis. Kč/MWh | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 1,200 | |
| index růstu ceny | - | 1,010 | 1,000 | 1,010 | 1,010 | 1,010 | 1,010 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | |
| růst ceny | - | 1,000 | 1,000 | 1,010 | 1,020 | 1,030 | 1,041 | 1,061 | 1,083 | 1,104 | 1,126 | 1,149 | 1,172 | 1,195 | 1,219 | 1,244 | 1,268 | 1,294 | 1,320 | 1,346 | 1,373 | 1,401 | |
| cena indexovaná | Kč/MWh | 1200,000 | 1212,000 | 1224,120 | 1236,361 | 1248,725 | 1273,699 | 1299,173 | 1325,157 | 1351,660 | 1378,693 | 1406,267 | 1434,392 | 1463,080 | 1492,342 | 1522,189 | 1552,632 | 1583,685 | 1615,359 | 1647,666 | 1680,619 | | |
| Náklady na vlastní spotřebu elektřiny | tis. Kč/MWh | 166 828 | 168 496 | 170 181 | 171 883 | 173 602 | 177 074 | 180 615 | 184 257 | 187 912 | 191 670 | 195 504 | 199 414 | 203 402 | 207 470 | 211 619 | 215 852 | 220 169 | 224 572 | 229 064 | 233 645 | | |
| Počet zaměstnanců nového zdroje | osob | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | |
| prům. cena 1 prac.+soc.náklady | tis. Kč/osobu | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 | 729,000 |
| index růstu ceny prac. | - | 1,035 | 1,000 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | 1,035 | |
| růst ceny pracovníků | - | 1,000 | 1,000 | 1,035 | 1,071 | 1,109 | 1,148 | 1,188 | 1,229 | 1,272 | 1,317 | 1,363 | 1,411 | 1,460 | 1,511 | 1,564 | 1,619 | 1,675 | 1,734 | 1,795 | 1,857 | 1,923 | |
| Mzdové a osobní náklady | tis. Kč/rok | 0,0 | 21870,0 | 22635,5 | 23427,7 | 24247,7 | 25096,3 | 25974,7 | 26883,8 | 27824,7 | 28798,6 | 29806,6 | 30849,8 | 31929,5 | 33047,1 | 34203,7 | 35400,8 | 36639,9 | 37922,3 | 39249,6 | 40623,3 | 42045,1 | |
| Náklady na opravy a údržbu (GO) | tis. Kč/rok | 36 503 | 36 503 | 36 503 | 36 503 | 36 503 | 36 503 | 36 503 | 36 503 | 36 503 | 36 503 | 36 503 | 36 503 | 36 503 | 36 503 | 36 503 | 36 503 | 36 503 | 36 503 | 36 503 | 36 503 | 36 503 | |
| index růstu ceny na opravy a údržbu | - | 1,020 | 1,000 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | |
| růst ceny za opravy | - | 1,000 | 1,000 | 1,020 | 1,040 | 1,061 | 1,082 | 1,104 | 1,126 | 1,149 | 1,172 | 1,195 | 1,219 | 1,243 | 1,268 | 1,294 | 1,319 | 1,346 | 1,373 | 1,400 | 1,428 | 1,457 | |
| Náklady na opravu a údržbu (GO) | tis. Kč/rok | 36502,8 | 37232,8 | 37977,5 | 38737,0 | 39511,8 | 40302,0 | 41108,0 | 41930,2 | 42768,8 | 43624,2 | 44496,6 | 45386,6 | 46294,3 | 47220,2 | 48164,6 | 49127,9 | 50112,7 | 51127,7 | 52134,9 | 53177,6 | | |
| správní režie | tis. Kč/rok | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | |
| spotřeba materiálu | tis. Kč/rok | 7 301 | 7 301 | 7 301 | 7 301 | 7 301 | 7 301 | 7 301 | 7 301 | 7 301 | 7 301 | 7 301 | 7 301 | 7 301 | 7 301 | 7 301 | 7 301 | 7 301 | 7 301 | 7 301 | 7 301 | 7 301 | |
| revize a měření | tis. Kč/rok | 365 | 365 | 365 | 365 | 365 | 365 | 365 | 365 | 365 | 365 | 365 | 365 | 365 | 365 | 365 | 365 | 365 | 365 | 365 | 365 | 365 | |
| pojištění | tis. Kč/rok | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | |
| ostatní náklady | tis. Kč/rok | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | 5 840 | |
| index růstu ceny ost.nákladů | - | 1,020 | 1,000 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | |
| růst ceny za ostatní náklady | - | 1,000 | 1,000 | 1,020 | 1,040 | 1,061 | 1,082 | 1,104 | 1,126 | 1,149 | 1,172 | 1,195 | 1,219 | 1,243 | 1,268 | 1,294 | 1,319 | 1,346 | 1,373 | 1,400 | 1,428 | 1,457 | |
| ostatní provozní náklady | tis. Kč/rok | 25 187 | 25 691 | 26 204 | 26 729 | 27 263 | 27 808 | 28 365 | 28 932 | 29 510 | 30 101 | 30 703 | 31 317 | 31 943 | 32 582 | 33 234 | 33 898 | 34 576 | 35 268 | 35 973 | 36 693 | | |
| náklady bez odpisů a úroků | tis. Kč/rok | 250 387 | 254 055 | 257 791 | 261 596 | 265 473 | 271 159 | 276 972 | 282 914 | 288 990 | 295 202 | 301 553 | 308 047 | 314 686 | 321 476 | 328 418 | 335 518 | 342 771 | 350 202 | 357 795 | 365 560 | | |
| procento odpisů z nového zdroje | % | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | 4,50% | |
| odpisy z nového zdroje | tis. Kč/rok | 657 050 | 657 050 | 657 050 | 657 050 | 657 050 | 657 050 | 657 050 | 657 050 | 657 050 | 657 050 | 657 050 | 657 050 | 657 050 | 657 050 | 657 050 | 657 050 | 657 050 | 657 050 | 657 050 | 657 050 | 657 050 | |
| Náklady celkem | tis. Kč/rok | 907 437 | 911 104 | 914 840 | 918 646 | 922 522 | 928 208 | 934 021 | 939 964 | 946 039 | 952 251 | 958 602 | 965 096 | | | | | | | | | | |

Tab. B-3 Tabulka citlivostní analýzy ceny QS a elektrické energie pro Variantu B.

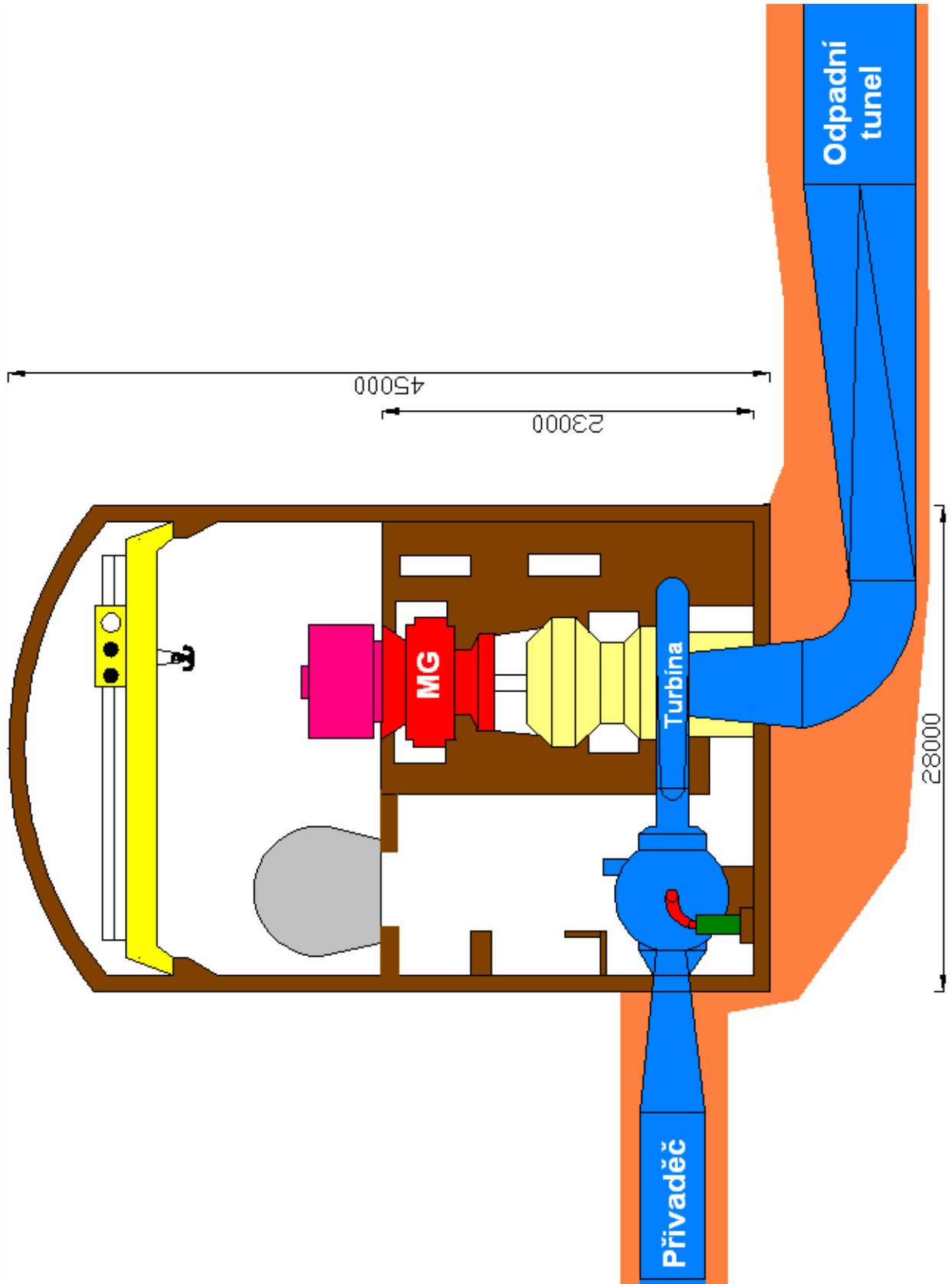
| CITLIVOSTNÍ ANALÝZA parametr | Cena QS | tis. Kč/MW.h | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 0,450 | 0,400 | 0,420 | 0,440 | 0,450 | 0,460 | 0,480 | 0,500 |
| hr. zisk z projektu - ztráta v 1.roce | | 785463 | 633 663 | 694 383 | 755 103 | 785 463 | 815 823 | 876 543 | 937 263 |
| saldo CF | | 1293275 | 1 170 317 | 1 219 500 | 1 268 683 | 1 293 275 | 1 317 866 | 1 367 049 | 1 416 233 |
| NPV za 20 let | | 1638553 | 132 231 | 734 760 | 1 337 289 | 1 638 553 | 1 939 818 | 2 542 347 | 3 144 876 |
| IRR | | 7,4% | 6,11% | 6,62% | 7,11% | 7,36% | 7,60% | 8,08% | 8,55% |
| CITLIVOSTNÍ ANALÝZA parametr | Cena EEN | tis.Kč/MWh | | | | | | | |
| | | 3,300 | 2,600 | 3,000 | 3,400 | 3,600 | 3,800 | 4,200 | 4,600 |
| hr. zisk z projektu - ztráta v 1.roce | | 785463 | 716 163 | 755 763 | 795 363 | 815 163 | 834 963 | 874 563 | 914 163 |
| saldo CF | | 1293275 | 1 237 142 | 1 269 218 | 1 301 294 | 1 317 332 | 1 333 370 | 1 365 446 | 1 397 522 |
| NPV za 20 let | | 1638553 | 950 885 | 1 343 838 | 1 736 792 | 1 933 269 | 2 129 745 | 2 522 699 | 2 915 653 |
| IRR | | 7,4% | 6,80% | 7,12% | 7,44% | 7,60% | 7,75% | 8,06% | 8,37% |

Příloha D: HYDRAULICKÝ OBVOD PVE



Obr. D-1 Hydraulický obvod PVE

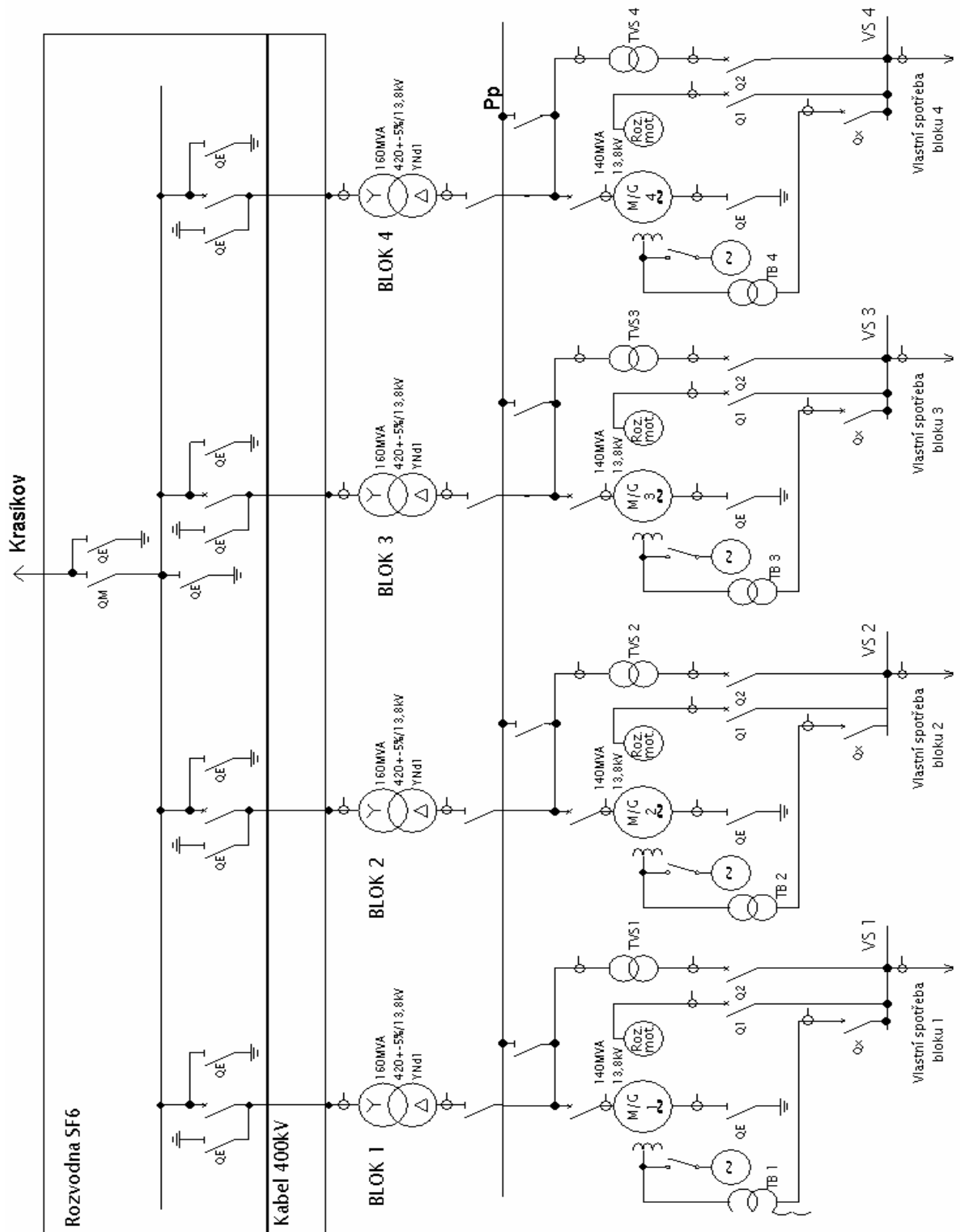
Příloha E: PŘÍČNÝ ŘEZ STROJOVNOU



Obr. E-1 Příčný řez strojovnou

Příloha F: ORIENTAČNÍ ELEKTRICKÉ SCHÉMA PVE

(Pro čtyřstrojové uspořádání)



Obr. F-1 Orientační elektrické schéma

Příloha G: ZAČLENĚNÍ PVE V TERÉNU

(několik pohledů na PVE Cukrová Bouda) [20]



Obr. G-1 Pohled na PVE z Mírovské hory



Obr. G-2 Letecký pohled na PVE



Obr. G-3 Letecký pohled na PVE