

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

studijní program: Stavební inženýrství

studijní obor: Management a ekonomika ve stavebnictví

akademický rok: 2014/2015

Jméno a příjmení studenta: Jan Hlavatý

Zadávací katedra: Ekonomiky a řízení ve stavebnictví

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Václav Tatýrek, Ph.D.

Název bakalářské práce: Studie proveditelnosti malé vodní elektrárny

Název bakalářské práce
v anglickém jazyce: Feasibility study for small hydro power plant

Rámcový obsah bakalářské práce: _____

Technická a stavební dokumentace malé vodní elektrárny

Stanovení investičních a provozních nákladů malé vodní elektrárny

Odhad výnosů z provozu malé vodní elektrárny


Ekonomické vyhodnocení návratnosti investice

Datum zadání bakalářské práce: 19.2.2015 Termín odevzdání: 15.5.2015
(vyplňte poslední den výuky příslušného semestru)

Pokud student neodevzdal bakalářskou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou práci podruhé. Studentovi, který při opakovaném zápisu bakalářskou práci neodevzdal v určeném termínu a tuto skutečnost řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, se ukončuje studium podle § 56 zákona o VŠ č. 111/1998. (SZŘ ČVUT čl. 21, odst. 4)

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


.....
vedoucí bakalářské práce


.....
vedoucí katedry

Zadání bakalářské práce převzal dne: 19.2.2015


.....
student

Formulář nutno vyhotovit ve 3 výtiscích – 1x katedra, 1x student, 1x studijní odd. (zašle katedra)

Nejpozději do konce 2. týdne výuky v semestru odešle katedra 1 kopii zadání BP na studijní oddělení a provede zápis údajů týkajících se BP do databáze KOS.
BP zadává katedra nejpozději 1. týden semestru, v němž má student BP zapsanou.
(Směrnice děkana pro realizaci studijních programů a SZZ na FSv ČVUT čl. 5, odst. 7)

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení vedoucího bakalářské práce Ing. Václava Tatýrka, Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

v Praze, dne 15.5.2015

.....

Jan Hlavatý

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Václavu Tatýrkovi, Ph.D. za jeho ochotu, odborné rady a vedení. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Josefu Kašparovi za odborné konzultace. Poděkování patří také rodině a přítelkyni za vytrvalou podporu.

Název bakalářské práce:

Studie proveditelnosti malé vodní elektrárny

Title of the Bachelor Thesis:

Feasibility study for small hydro power plant

Anotace

Předmětem bakalářské práce je popis současného stavu a variant plánované rekonstrukce malé vodní elektrárny v Dobřichovicích na řece Berounce, ř. km 16,117. Součástí práce je dále odhad investičních a provozních nákladů po rekonstrukci a výpočet výnosů. Výstupem je ekonomické vyhodnocení návratnosti investice pomocí dynamických metod.

Podklady pro zpracování práce byly zejména konzultace s odborníky v tomto odvětví, výkresy plánovaných úprav malé vodní elektrárny, podklady získané od Českého hydrometeorologického ústavu, nabídky dodavatele technologie a odborné publikace týkající se této tematiky.

Annotation

The objective of this thesis is to describe current status and variants of planned reconstruction of small hydro power plant in Dobřichovice on the river Berounka, river kilometer 16,117. Part of the thesis is also estimate of capital cost, operating cost after the reconstruction and calculation of revenues. Its output is an economic evaluation of return on investment using dynamic methods.

The sources for the preparation of the thesis were in particular consultations with experts in this sector, drawings of the planned reconstruction, data obtained from the Czech Hydrometeorological Institute, offers from technology supplier and professional publications on this topic.

Klíčová slova:

- malá vodní elektrárna
- studie proveditelnosti
- rekonstrukce
- Kaplanova turbína
- výroba elektřiny

Key Words:

- small hydro power plant
- feasibility study
- reconstruction
- Kaplan turbine
- electricity production

Obsah

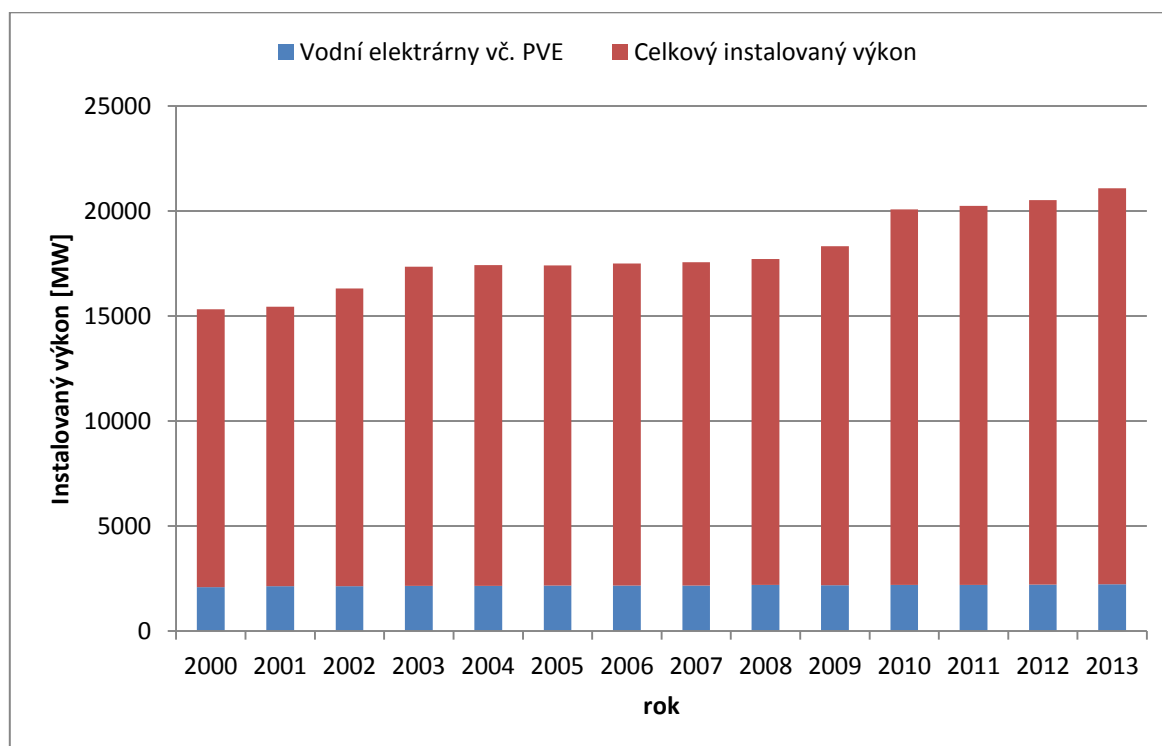
1. Úvod	9
2. Základní údaje o lokalitě	10
3. Popis rekonstrukce	12
3.1. Stavební část.....	12
3.2. Technologická část.....	14
4. Stanovení investičních a provozních nákladů	18
5. Základní údaje o energetických vstupech	19
6. Výpočet výnosů z provozu malé vodní elektrárny.....	22
6.1. Varianta I. (4x HH 1100 SSK).....	22
6.2. Varianta II. (4x HH 1100 SSK + 2x HH 1200 SSK)	23
7. Ekonomické vyhodnocení návratnosti investice	24
7.1. Vyhodnocení variant projektu a návrh optimální varianty.....	26
7.2. Výpočet a srovnání variant pro průměrně vodný rok.....	27
7.3. Výpočet a srovnání variant pro suchý rok.....	28
8. Závěr.....	29
9. Seznamy tabulek, obrázků a grafů	30
9.1. Seznam tabulek	30
9.2. Seznam obrázků	30
9.3. Seznam grafů.....	30
10. Seznam zdrojů.....	31
11. Průvodní zpráva dílčích úkolů bakalářské práce.....	32
11.1. TERI - Teorie řízení	32
11.2. KAN2 - Kalkulace a nabídky 2	32
11.3. PRRS - Příprava a řízení staveb	34
11.4. KNPR - Projekt KAN.....	34
11.5. PJPR - Projekt PŘS	35

1. Úvod

Tato práce se zabývá ekonomickým vyhodnocením investice do rekonstrukce malé vodní elektrárny v Dobřichovicích. Malé vodní elektrárny jsou vodní díla sloužící k přeměně mechanické energie vodních toků na elektrickou energii o instalovaném výkonu do 10 MW včetně.

Hydroenergetický potenciál v České republice je v dnešní době poměrně omezen, protože lokality s velkým spádem jsou již využity. Pozornost se tak věnuje lokalitám s nízkými spády (2 až 5 metrů) nebo rekonstrukcím malých vodních elektráren se zastaralou technologií. V roce 2007 bylo odhadnuto, že více než 60 % malých vodních elektráren má technologii z let 1920 až 1950 a rekonstrukcí by došlo ke zvýšení jejich účinností. [5]

Využívání vodní energie v České republice má dlouhou tradici a velký význam. V roce 2013 se na celkovém množství vyrobené elektrické energie v České republice 87 064,9 GWh podílely vodní elektrárny (včetně přečerpávacích vodních elektráren) hodnotou 3 761,7 GWh, což odpovídá přibližně 4,3 % vyrobené elektřiny. Celkový instalovaný výkon vodních elektráren byl v témže roce 2 229,2 MW, což z celkového instalovaného výkonu v ČR 20 736,61 MW činí 10,75 %. Vývoj podílu instalovaného výkonu vodních elektráren (včetně přečerpávacích vodních elektráren) na celkovém instalovaném výkonu ukazuje následující graf. [3]



Graf 1-1: Podíl instalovaného výkonu vodních elektráren na celkovém instal. výkonu [3]

Na celkovém množství vyrobené elektrické energie vodními elektrárnami 3 761,7 GWh se v roce 2013 podílely vodní elektrárny o instalovaném výkonu nad 10 MW hodnotou 1 497,8 GWh, malé vodní elektrárny hodnotou 1 237 GWh a přečerpávací vodní elektrárny hodnotou 1 026,9 GWh. [3]

Podíl vyrobené elektrické energie ve vodních elektrárnách sice není příliš vysoký, ale tyto zdroje energie jsou důležité zejména kvůli jejich schopnosti rychlého naježdění na velký výkon v čase energetických špiček. Navíc se jedná o obnovitelný zdroj energie s minimálním negativním vlivem na životní prostředí.

2. Základní údaje o lokalitě

Malá vodní elektrárna se nachází v obci Dobřichovice ve Středočeském kraji. Obec je vzdálená přibližně 25 km jihozápadně od hlavního města Prahy. Objekt malé vodní elektrárny je umístěn na levém břehu řeky Berounky, ř. km 16,117.

Na řece je stávající pevný jez, který byl v roce 1911 vybudován na místě starého šikmého jezu za účelem zajištění vzduší vody pro využití vodní energie a nyní je v majetku České republiky s právem hospodaření Povodí Vltavy, s.p. Jedná se o přímý jez, kolmý na osu toku o délce přibližně 120 m. Součástí jezu je šterková propust umístěná na jeho pravé straně. Propust je dlouhá 15,9 m a široká 6,15 m. [4]



Obr. 2-1: Vyznačení lokality malé vodní elektrárny Dobřichovice [7]

Přeměnu mechanické energie proudící vody na elektrickou energii zajišťují v současnosti dvě soustrojí, každé složené z Francisovy turbíny a generátoru. Celkový instalovaný výkon elektrárny je 84 kW. [11] Tyto turbíny jsou ovšem z 20. a 30. let minulého století a jejich životnost se chýlí ke konci, což je hlavní důvod uvažované rekonstrukce.

Využívání vodní energie v Dobříčovicích má dlouhou historii. První zmínky o tamějším mlýnu pocházejí již z 16. století, kdy mlýn, ke kterému patřila i pila a vrata pro průjezd lodí, vlastnil pražský řád Křížovníků s červenou hvězdou a pronajímal jej různým mlynářům. Během roku 1732 došlo ke zbourání starého mlýna a na stejném místě byl vybudován mlýn nový. V roce 1856 mlýn změnil majitele, řád jej prodal panu Františku Havlíkovi z Blatné. Během následujících let mlýn doznal několika změn, kdy byla zrušena pila, rekonstruován jez nebo vyměněny mlýnské stroje. Významnou událostí bylo v roce 1920 založení elektrárny panem Karlem Havlíkem. V elektrárně byla o tři roky později osazena nová Francisova turbína dodaná firmou pana Josefa Kohouta ze Smíchova a zařízení elektrárny dodala firma Kress Praha. V roce 1931 byla do elektrárny instalovaná druhá Francisova turbína. [8]



Obr. 2-2: Původní technologie z roku 1931 [16]

3. Popis rekonstrukce

3.1. Stavební část

Rekonstrukce malé vodní elektrárny Dobřichovice bude obsahovat následující stavební objekty:

- SO 01 - Úprava vtokového objektu;
- SO 02 - Rekonstrukce kašen stávající strojovny;
- SO 03 - Výstavba nové strojovny (pouze u varianty II.);
- SO 04 - Úprava odpadního kanálu;
- SO 05 - Rybí přechod.

Vtokový objekt bude upraven pro vhodný nátok na instalované turbíny do stávajících kašen a případně rozšířen, pokud se investor rozhodne pro druhou variantu, která obsahuje výstavbu nové strojovny. Další nutnou stavební úpravou je odstranění stávajících stavidel obou kašen, aby mohlo být provedeno zahloubení vtoku do nových turbín. Vtok bude řešen jako železobetonový polorám. Stávající jemné česle stírané strojně pomocí hydraulicky ovládaných čistících zařízení budou zachovány a využity. [16]



Obr. 3.1-1: Stávající jemné česle a jejich čistící zařízení [16]

Ve stávající strojovně jsou v současnosti dvě kašny o šířce 4,5 m a 5,0 m, ve kterých jsou osazeny dvě původní Francisovy turbíny. Tyto kašny by musely být upraveny tak, aby do každé z nich mohly být osazeny dvě kompletní soustrojí, každé se dvěma přímoproudými Kaplanovými turbínami o průměru oběžného kola 1 100 mm. [16]

Výstavba nové strojovny je součástí pouze varianty II. a byla by řešena jako jednoduchý železobetonový objekt obdélníkového půdorysu. Nová strojovna by byla umístěna po pravé straně objektu stávající malé vodní elektrárny. Do nové strojovny budou instalovány dvě kompletní soustrojí, každé s přímoproudou Kaplanovou turbínou o průměru oběžného kola 1 200 mm. Vstup do strojovny musí být umístěn nad hladinou stoleté vody. Všechny nově instalované turbíny budou mít na vtoku předsazené provizorní gravitační uzávěry deskového typu. [16]

Stávající odpadní kanál je veden mimo hlavní koryto toku, do kterého se vrací po přibližně 100 metrech. Odpadní kanál a hlavní koryto jsou odděleny ostrovem, který je ve vlastnictví investora.



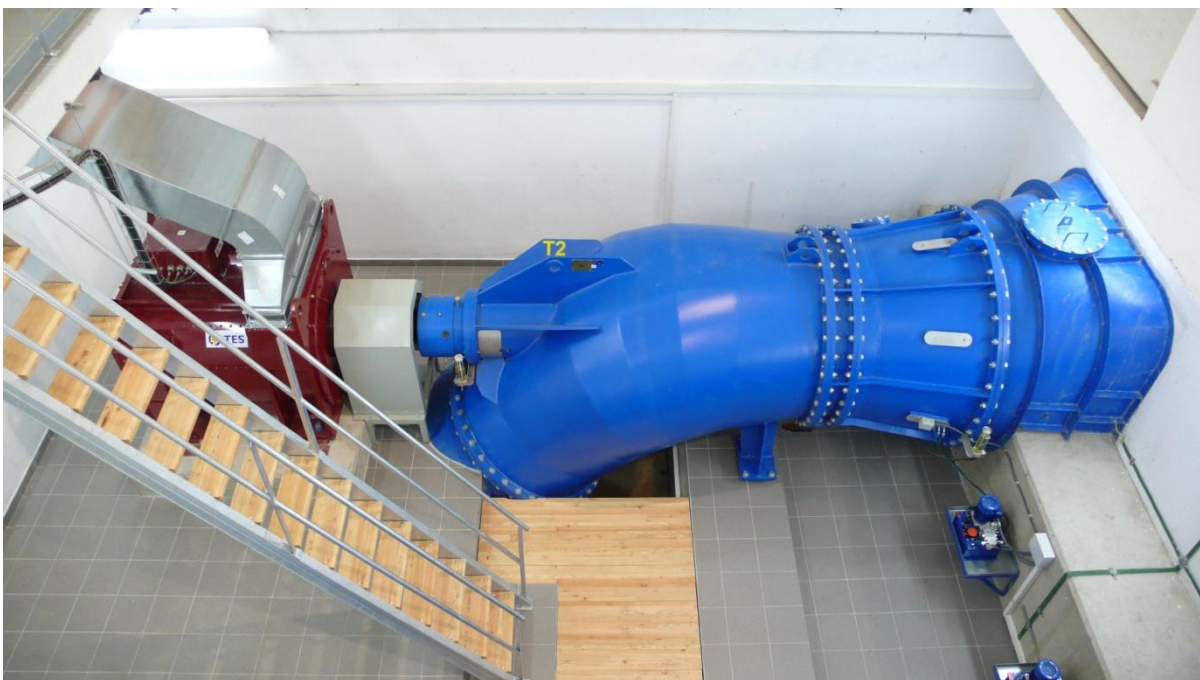
Obr. 3.1-2: Pohled na stávající odpadní kanál [16]

Úprava odpadního kanálu by závisela na zvolené variantě. U varianty I. by musel být značně rozšířen a upraven tak, aby byl zajištěn návrhový spád 1,9 m při souběhu všech turbín. U varianty II. by se kromě kanálu ze stávající strojovny musel navrhnout i odpadní kanál nové strojovny. Nový odpadní kanál bude zaústěn do hlavního koryta blízko pod jezovou konstrukcí a v úvahu připadá varianta, že by byl vybudován společný odpadní kanál pro obě strojovny zaústěný pod jezovou konstrukcí. Břehy koryta odpadních kanálů budou navrženy jako svislé železobetonové zdi. V rámci rekonstrukce bude proveden rybí přechod pro zajištění migrační prostupnosti. [16]

Vyvedení výkonu z malé vodní elektrárny je provedeno pomocí zemního kabelu pro nízké napětí do stožárové trafostanice a poté je kabelem pro vysoké napětí veden do distribuční sítě. Během rekonstrukce bude provedena kontrola těchto zařízení kabelů a bude rozhodnuto, zda budou ponechány nebo nahrazeny novými.

3.2. Technologická část

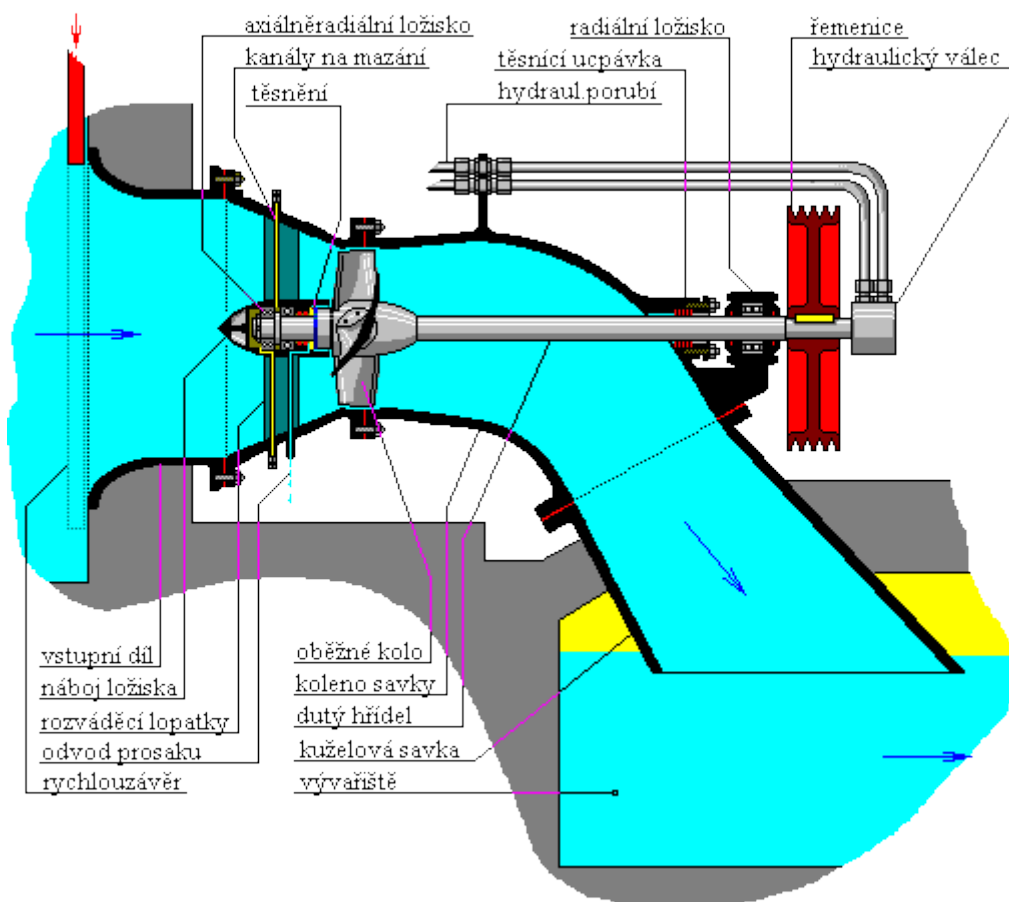
V obou variantách jsou navrženy horizontální turbíny typu SEMI-KAPLAN od českého výrobce turbín HYDROHROM (viz obr. 3.2-1). Používají se u malých vodních elektráren s malým spádem nebo při rekonstrukci malých vodních elektráren s osazenými vertikálními Francisovými turbínami. Nově osazené horizontální turbíny typu Semi - Kaplan pak ve většině případů dosahují lepšího využití vtoku. [9]



Obr. 3.2-1: Horizontální turbína SEMI-KAPLAN od výrobce HYDROHROM [9]

Kaplanovy turbíny jsou využívány u spádů od 1,5 m do 5,5 m při průtocích od $m^3 s^{-1}$ do $6\,000\, m^3 s^{-1}$. Turbína typu Semi-Kaplan nemá oproti Kaplanově S-turbíně regulovatelné rozváděcí kolo, což má při provozu za následek menší regulační rozsah. Řízení turbíny je tedy prováděno automaticky pomocí regulovatelného oběžného kola. Před turbínou je osazen provozní rychlouzávěr, protože průtok turbínou nelze úplně zastavit pouze regulovatelným oběžným kolem. [10]

Přívod vody k turbíně zajišťuje přechodový kus zabetonovaný do spodní stavby strojovny. K přechodovému kusu je pomocí příruby připevněn vstupní kuželovitý díl s uvnitř navařenými rozváděcími lopatkami, které spojí a nasměrují proud na lopatky oběžného kola. Oběžné kolo se nachází v takovém průřezu soustrojí, které má nejmenší průtočnou plochu. Tím má proudící voda v místě dopadu na lopatky oběžného kola nejvyšší rychlost. Dále je voda odváděna savkou do vývařiště nebo rovnou navazuje na odpadní kanál. Následující schéma zobrazuje podélný řez turbínou Semi-Kaplan. [10]



Obr. 3.2-2: Schéma uspořádání turbíny Semi-Kaplan [10]

Varianta I.

První varianta rekonstrukce navrhuje osadit do každé stávající kašny dvě kompletní soustrojí, každé s přímoproudou S turbínou HYDROROM 1100 SSK. Dodávka vedle turbín obsahuje i vtokové kusy s provozním uzávěrem a savky. Převod mechanické energie turbín na asynchronní generátory bude proveden pomocí plochého řemenu. Do každé kašny jsou navrženy dva generátory o výkonu 75 kW, instalovaný výkon malé vodní elektrárny bude tedy 300 kW. [14]

Provoz soustrojí bude automatický s občasným dohledem. Provoz bude řízen programovatelným řídicím systémem PLC, který bude plně zabezpečovat a optimalizovat řízení malé vodní elektrárny. Automatická bude i regulace hladiny v nadjezí.

Přenos vyrobené elektrické energie z generátorů nízkého napětí bude zajištěn silovými obvody se spínacími prvky, které budou rovněž sloužit k napájení pohonů. Řízení, optimalizaci a měření budou zajišťovat pomocné obvody. Součástí technologie bude dále hlavní elektrorozvaděč ovládání a silové části pro zabezpečení nepřetržitého bezobslužného provozu soustrojí.

Základní údaje o provozu turbogenerátoru [14]:

Parametry jedné turbíny HH 1100 SSK samostatně v provozu při $H_u = 2,0$ m

- maximální průtok: $Q_{\max} = 4,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- maximální výkon turbíny: $P_{\text{tmax}} = 65,0 \text{ kW}$
- maximální výkon na svorkách generátoru: $P_{\text{gmax}} = 58,2 \text{ kW}$

Parametry jedné turbíny HH 1100 SSK v souběhu dvou turbín v kašně při $H_u = 1,9$ m

- maximální průtok: $Q_{\max} = 3,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- maximální výkon turbíny: $P_{\text{tmax}} = 63,5 \text{ kW}$
- maximální výkon na svorkách generátoru: $P_{\text{gmax}} = 56,8 \text{ kW}$

Tab. 3.2-1: Parametry navrhovaných soustrojí varianty I.

Turbína	přímoproudá HH 1100 SSK
Počet turbogenerátorů	4
Průměr oběžného kola (mm)	1100
Počet lopatek rozváděcího kola	7
Čistý spád na turbínách (m)	1,55 - 2,00
Maximální průtok jednou turbínou ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	4,0
Maximální průtok MVE ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	13,8
Minimální průtok jednou turbínou ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	0,7

Regulace oběžného kola	automatická
Převod	plochý řemen
Typ generátoru	horizontální asynchronní
Instalovaný el. výkon generátoru (kW)	75
Instalovaný el. výkon MVE (kW)	300

Varianta II.

Druhá varianta rekonstrukce uvažuje kromě osazení čtyř přímoproudých S turbín HYDROHROM 1100 SSK do stávající strojovny ještě vybudování nové strojovny, kam by se osadila dvě kompletní soustrojí, každé s přímoproudou S turbínou HYDROHROM 1200 SSK. Dodávka turbín do nové strojovny také obsahuje vtokové kusy s provozním uzávěrem a savky. Převod mechanické energie turbín na asynchronní generátory bude proveden pomocí plochého řemenu. Do každé kašny jsou navrženy dva generátory o výkonu 75 kW a do nové strojovny jsou navrženy dva generátory o výkonu 90 kW. Instalovaný výkon malé vodní elektrárny je tedy 480 kW. Provoz soustrojí bude rovněž automatický s občasným dohledem. Elektrická zařízení sestávají ze stejných prvků jako ve variantě I. [14]

Základní údaje o provozu turbogenerátoru (v nové strojovně) [14]:

Parametry jedné turbíny HH 1200 SSK samostatně v provozu při $H_u = 2,0$ m

- maximální průtok: $Q_{\max} = 4,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- maximální výkon turbíny: $P_{\text{tmax}} = 78,0 \text{ kW}$
- maximální výkon na svorkách generátoru: $P_{\text{gmax}} = 70,0 \text{ kW}$

Tab. 3.2-2: Parametry navrhovaných soustrojí varianty II.

Turbína	přímopr. HH 1100 SSK	přímopr. HH 1200 SSK
Počet turbogenerátorů	4	2
Průměr oběžného kola (mm)	1100	1200
Počet lopatek rozváděcího kola	7	7
Čistý spád na turbínách (m)	1,55 - 2,00	
Max. průtok jednou turbínou ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	4,0	4,8
Maximální průtok MVE ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	22,7	
Min. průtok jednou turbínou ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	0,7	0,8
Regulace oběžného kola	automatická	automatická
Převod	plochý řemen	plochý řemen
Typ generátoru	horizontální asynchronní	horizontální asynchronní
Instalovaný el. výkon generátoru (kW)	75	90
Instalovaný el. výkon MVE (kW)	480	

4. Stanovení investičních a provozních nákladů

Investiční náklady technologického zařízení byly stanoveny dle cenových nabídek dodavatele technologie HYDROHROM [14]. Provozní náklady a investiční náklady na stavební část byly stanoveny odborným odhadem projektanta malých vodních elektráren [16]. Provozní náklady obsahují náklady na občasný dohled provozu elektrárny, na provozní hmoty, provozní údržbu a ostatní. Ceny jsou uvedeny bez DPH.

Tab. 4-1: Stanovení nákladů varianty I.

- stavební úpravy kašny pro instalaci nových soustrojí	2x 1 500 000,- Kč
- 4x aut. reg. turbína HH 1100 SSK komplet, vtok a savka	10 820 000,- Kč
- 4x generátor 75 kW/760 ot.min ⁻¹ vč. konstrukce uložení	1 040 000,- Kč
- 2x elektro zařízení ovládání a jištění	1 480 000,- Kč
- 2x doprava, montáže, zkoušky	1 160 000,- Kč
- 2x realizační dokumentace technologické části	180 000,- Kč
Investiční náklady celkem bez DPH:	17 680 000,- Kč
Roční provozní náklady celkem:	120 000,- Kč

Tab. 4-2: Stanovení nákladů varianty II.

Nová strojovna:

- vybudování nové strojovny	5 000 000,- Kč
- 2x aut. reg. turbína HH 1200 SSK komplet, vtok a savka	6 400 000,- Kč
- 2x generátor 90 kW/760 ot.min ⁻¹ vč. konstrukce uložení	560 000,- Kč
- 1x elektro zařízení ovládání a jištění	810 000,- Kč
- doprava, montáže, zkoušky	630 000,- Kč
- realizační dokumentace technologické části	90 000,- Kč

Stávající strojovna:

- stavební úpravy kašny pro instalaci nových soustrojí	2x 1 500 000,- Kč
- 4x aut. reg. turbína HH 1100 SSK komplet, vtok a savka	10 820 000,- Kč
- 4x generátor 75 kW/760 ot.min ⁻¹ vč. konstrukce uložení	1 040 000,- Kč
- 2x elektro zařízení ovládání a jištění	1 480 000,- Kč
- 2x doprava, montáže, zkoušky	1 160 000,- Kč
- 2x realizační dokumentace technologické části	180 000,- Kč
Investiční náklady celkem bez DPH:	31 170 000,- Kč
Roční provozní náklady celkem:	180 000,- Kč

5. Základní údaje o energetických vstupech

Základním podkladem pro určení ročních výnosů z výroby elektrické energie je tabulka výroby malé vodní elektrárny. Tabulku výroby lze sestavit na základě znalostí hydrologických poměrů v daném profilu, které jsou reprezentované tabulkou m-denních průtoků (Tab. 5-2) a hodnotou minimálního zůstatkového průtoku v profilu. Taková data poskytuje za poplatek Český hydrometeorologický ústav, který je stanovuje na základě dlouholetých měření. Tabulka m-denních průtoků udává, po kolik dní v roce je průtok dosažen nebo překročen (např. průtok $82,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ bude dosažen nebo překročen 30 dní v roce).

V rámci této práce budou vypočteny i výnosy z prodeje elektrické energie za předpokladu suchého roku. M-denní průtoky suchého roku budou uvažovány jako 90 % m-denních průtoků průměrně vodného roku.

Minimální zůstatkový průtok byl pro potřeby této práce spočítán jako průtok při přepadu vody přes jezovou konstrukci při výšce přepadového paprsku 5 cm a vychází přibližně $3,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Přesnou hodnotu minimálního zůstatkového průtoku určí příslušný vodoprávní úřad.

Tab. 5-1: Hydrologické podklady ČHMÚ ze dne 19. 5. 2014 [15]

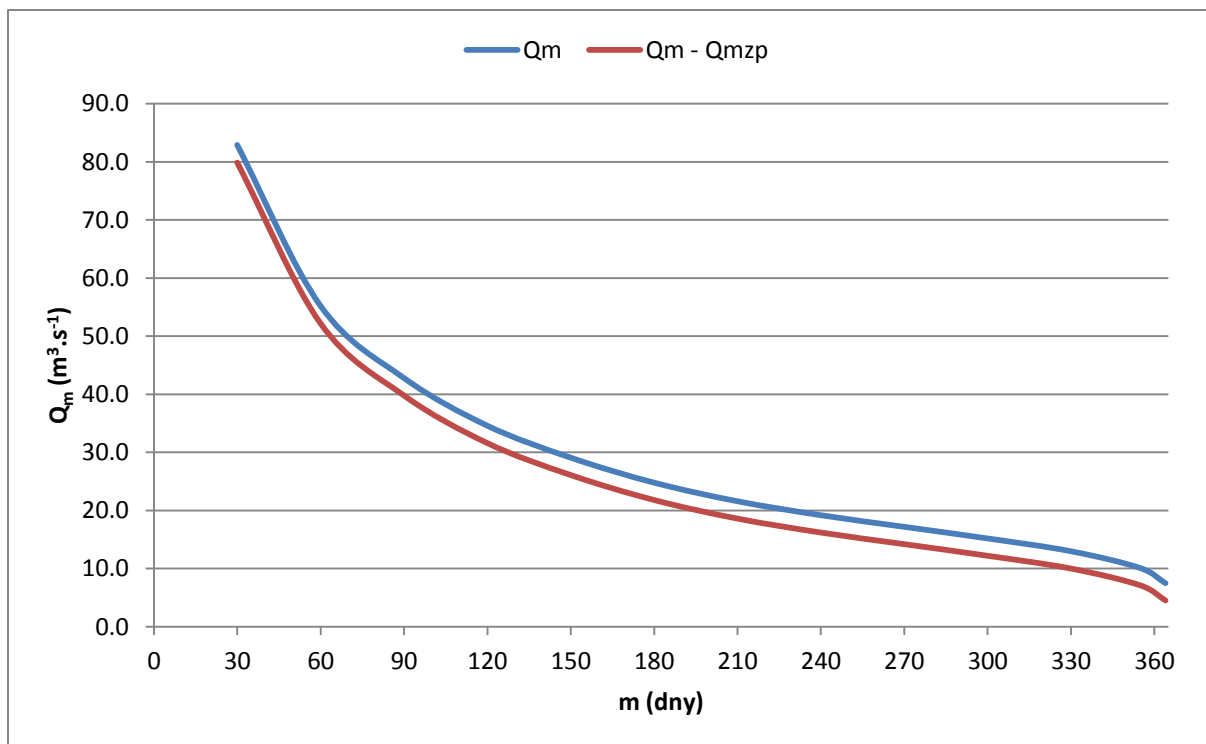
Vodní tok:	Berounka
Číslo hydrologického pořadí:	1-11-05-0420
Profil:	Dobřichovice, jez
Plocha povodí (A):	$8722,34 \text{ km}^2$
Dlouhodobá průměrná roční výška srážek na povodí:	$P_a = 620 \text{ mm}$
Dlouhodobý průměrný roční průtok:	$Q_a = 38,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Tab. 5-2: Tabulka m-denních průtoků průměrně vodného roku [15]

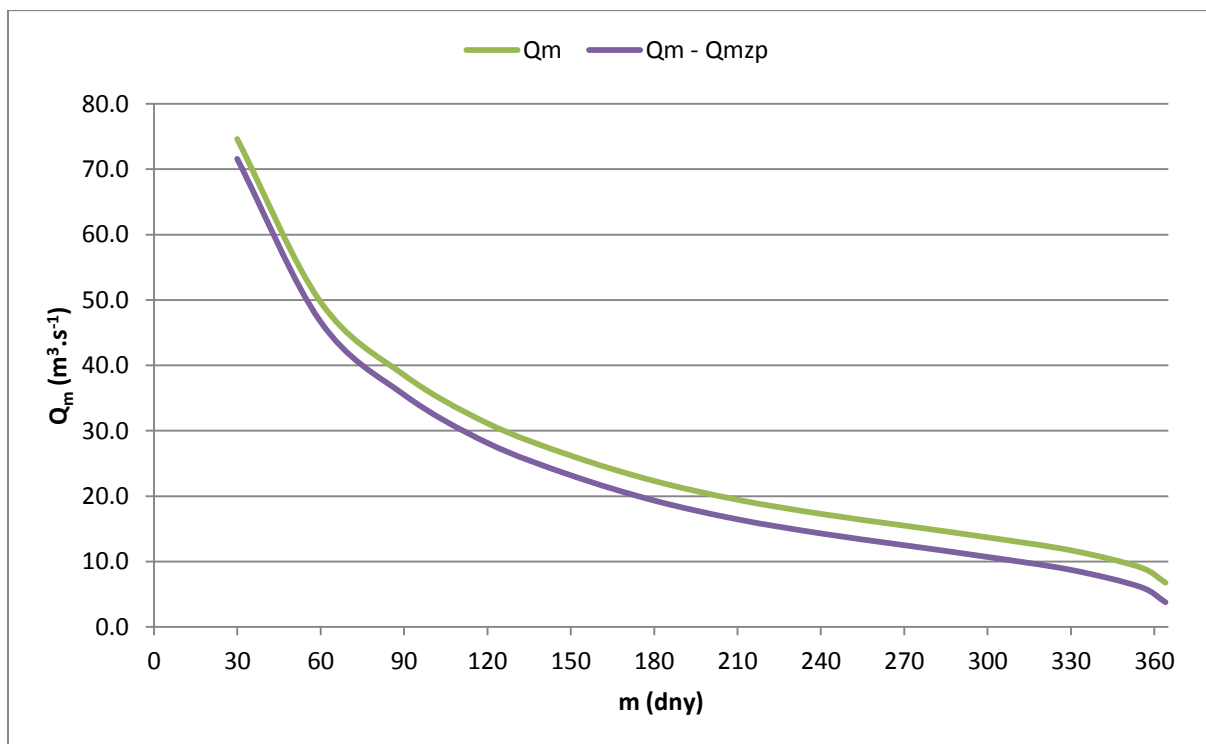
m (dní)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
$Q_m (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	82.9	55.2	42.8	34.6	29.1	24.8	21.6	19.2	17.2	15.2	13.0	10.1	7.5
$Q_m - Q_{MZP} (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	79.9	52.2	39.8	31.6	26.1	21.8	18.6	16.2	14.2	12.2	10.0	7.1	4.5

Tab. 5-3: Tabulka m-denních průtoků suchého roku

m (dní)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
$Q_m (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	74.6	49.7	38.5	31.1	26.2	22.3	19.4	17.3	15.5	13.7	11.7	9.1	6.8
$Q_m - Q_{MZP} (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	71.6	46.7	35.5	28.1	23.2	19.3	16.4	14.3	12.5	10.7	8.7	6.1	3.8



Graf 5-1: Křivka m-denních průtoků průměrně vodného roku



Graf 5-2: Křivka m-denních průtoků suchého roku

Dalším podkladem pro stanovení tabulky výroby jsou údaje technologických zařízení soustrojí. Je nutné znát hltlost turbín, jejich účinnost, účinnost převodu na generátor a účinnost samotného generátoru.

Údaje technologických zařízení soustrojí [14]:

maximální hltlost turbín HH 1100 SSK: $Q_{t \max} = 4,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

maximální hltlost turbín HH 1200 SSK: $Q_{t \max} = 4,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

účinnost turbín v optimu: $\eta_t = 89 \%$ (účinnost turbín je závislá na průtoku)

účinnost řemenového převodu: $\eta_{\text{př}} = 96 \%$

účinnost generátorů: $\eta_g = 93 \%$

Z těchto údajů pak lze vypočítat výkon turbín a následně výkon generátorů a množství vyrobené elektrické energie.

Výkon turbíny P_t [kW]:

$$P_t = Q_t \cdot H_u \cdot \rho \cdot g \cdot \eta_{\text{turb}}$$

Q_t = průtok turbínou [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

H_u = čistý spád [m]

ρ = hustota kapaliny; $\rho = 1\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

g = gravitační zrychlení; $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

η_{turb} = účinnost turbíny [-]

Výkon generátoru P_g [kW]:

$$P_g = P_t \cdot \eta_{\text{přev}} \cdot \eta_{\text{gen}}$$

P_t = výkon turbíny [kW]

$\eta_{\text{přev}}$ = účinnost převodu [-]

η_{gen} = účinnost generátoru [-]

Vyrobená elektrická energie E_g [kWh]:

$$E_g = P_g \cdot t$$

P_g = výkon generátoru [kW]

t = doba provozu [hod]

6. Výpočet výnosů z provozu malé vodní elektrárny

6.1. Varianta I. (4x HH 1100 SSK)

Tab. 6.1-1: Tabulka výroby v průměrně vodném roce (varianta I.)

Dny	Počet dní	Q_m	Q_{MZP}	Q_T	H_u	$\eta_{turb.}$	P_T	$\eta_{přev.}$	$\eta_{gen.}$	P_G	E_G
		$m^3 \cdot s^{-1}$	$m^3 \cdot s^{-1}$	$m^3 \cdot s^{-1}$	m	-	kW	-	-	kW	kWh
15 - 45	30	82.9	3.0	12.5	1.55	0.84	159.7	0.96	0.93	142.5	102 631
45 - 75	30	55.2	3.0	12.8	1.60	0.84	168.8	0.96	0.93	150.7	108 484
75 - 105	30	42.8	3.0	13.2	1.60	0.84	174.0	0.96	0.93	155.4	111 874
105 - 135	30	34.6	3.0	13.8	1.65	0.84	187.6	0.96	0.93	167.5	120 614
135 - 165	30	29.1	3.0	13.8	1.65	0.84	187.6	0.96	0.93	167.5	120 614
165 - 195	30	24.8	3.0	13.8	1.70	0.84	193.3	0.96	0.93	172.6	124 269
195 - 225	30	21.6	3.0	13.8	1.70	0.84	193.3	0.96	0.93	172.6	124 269
225 - 255	30	19.2	3.0	13.8	1.70	0.84	193.3	0.96	0.93	172.6	124 269
255 - 285	30	17.2	3.0	13.8	1.70	0.84	193.3	0.96	0.93	172.6	124 269
285 - 315	30	15.2	3.0	12.2	1.80	0.87	187.4	0.96	0.93	167.3	120 478
315 - 345	30	13.0	3.0	10.0	1.90	0.89	165.9	0.96	0.91	144.9	104 342
345 - 360	15	10.1	3.0	7.1	2.00	0.86	119.8	0.96	0.90	103.5	37 263
360 - 365	5	7.5	3.0	4.5	2.00	0.84	74.2	0.96	0.87	61.9	7 433

Množství vyrobené elektrické energie za rok:

1 330 808 kWh

Tab. 6.1-2: Tabulka výroby v suchém roce (varianta I.)

Dny	Počet dní	Q_m	Q_{MZP}	Q_T	H_u	$\eta_{turb.}$	P_T	$\eta_{přev.}$	$\eta_{gen.}$	P_G	E_G
		$m^3 \cdot s^{-1}$	$m^3 \cdot s^{-1}$	$m^3 \cdot s^{-1}$	m	-	kW	-	-	kW	kWh
15 - 45	30	74.6	3.0	12.5	1.55	0.84	159.7	0.96	0.93	142.5	102 631
45 - 75	30	49.7	3.0	12.8	1.60	0.84	168.8	0.96	0.93	150.7	108 484
75 - 105	30	38.5	3.0	13.2	1.60	0.84	174.0	0.96	0.93	155.4	111 874
105 - 135	30	31.1	3.0	13.8	1.65	0.84	187.6	0.96	0.93	167.5	120 614
135 - 165	30	26.2	3.0	13.8	1.65	0.84	187.6	0.96	0.93	167.5	120 614
165 - 195	30	22.3	3.0	13.8	1.70	0.84	193.3	0.96	0.93	172.6	124 269
195 - 225	30	19.4	3.0	13.8	1.70	0.84	193.3	0.96	0.93	172.6	124 269
225 - 255	30	17.3	3.0	13.8	1.70	0.84	193.3	0.96	0.93	172.6	124 269
255 - 285	30	15.5	3.0	12.5	1.70	0.84	175.1	0.96	0.93	156.3	112 563
285 - 315	30	13.7	3.0	10.7	1.80	0.87	164.4	0.96	0.93	146.8	105 665
315 - 345	30	11.7	3.0	8.7	1.90	0.89	144.3	0.96	0.91	126.1	90 777
345 - 360	15	9.1	3.0	6.1	2.00	0.86	102.8	0.96	0.90	88.8	31 962
360 - 365	5	6.8	3.0	3.8	2.00	0.84	61.8	0.96	0.87	51.6	6 194

Množství vyrobené elektrické energie za rok:

1 284 184 kWh

6.2. Varianta II. (4x HH 1100 SSK + 2x HH 1200 SSK)

Tab. 6.2-1: Tabulka výroby v průměrně vodném roce (varianta II.)

Dny	Počet dní	Q_m	Q_{MZP}	Q_T	H_u	$\eta_{turb.}$	P_T	$\eta_{přev.}$	$\eta_{gen.}$	P_G	E_G
		$m^3 \cdot s^{-1}$	$m^3 \cdot s^{-1}$	$m^3 \cdot s^{-1}$	m	-	kW	-	-	kW	kWh
15 - 45	30	82.9	3.0	21.8	1.55	0.84	278.4	0.96	0.93	248.6	178 988
45 - 75	30	55.2	3.0	22.2	1.60	0.84	292.7	0.96	0.93	261.3	188 152
75 - 105	30	42.8	3.0	22.7	1.60	0.84	299.3	0.96	0.93	267.2	192 389
105 - 135	30	34.6	3.0	22.7	1.65	0.84	308.6	0.96	0.93	275.6	198 401
135 - 165	30	29.1	3.0	22.7	1.65	0.84	308.6	0.96	0.93	275.6	198 401
165 - 195	30	24.8	3.0	22.7	1.70	0.84	318.0	0.96	0.93	283.9	204 414
195 - 225	30	21.6	3.0	18.6	1.70	0.86	266.8	0.96	0.93	238.2	171 481
225 - 255	30	19.2	3.0	16.2	1.70	0.88	237.7	0.96	0.93	212.3	152 828
255 - 285	30	17.2	3.0	14.2	1.70	0.88	208.4	0.96	0.93	186.1	133 960
285 - 315	30	15.2	3.0	12.2	1.80	0.88	189.6	0.96	0.93	169.3	121 863
315 - 345	30	13.0	3.0	10.0	1.90	0.89	165.9	0.96	0.91	144.9	104 342
345 - 360	15	10.1	3.0	7.1	2.00	0.88	122.6	0.96	0.90	105.9	38 129
360 - 365	5	7.5	3.0	4.5	2.00	0.84	74.2	0.96	0.87	61.9	7 433

Množství vyrobené elektrické energie za rok:

1 890 780 kWh

Tab. 6.2-2: Tabulka výroby v suchém roce (varianta II.)

Dny	Počet dní	Q_m	Q_{MZP}	Q_T	H_u	$\eta_{turb.}$	P_T	$\eta_{přev.}$	$\eta_{gen.}$	P_G	E_G
		$m^3 \cdot s^{-1}$	$m^3 \cdot s^{-1}$	$m^3 \cdot s^{-1}$	m	-	kW	-	-	kW	kWh
15 - 45	30	74.6	3.0	21.8	1.55	0.84	278.4	0.96	0.93	248.6	178 988
45 - 75	30	49.7	3.0	22.2	1.60	0.84	292.7	0.96	0.93	261.3	188 152
75 - 105	30	38.5	3.0	22.7	1.60	0.84	299.3	0.96	0.93	267.2	192 389
105 - 135	30	31.1	3.0	22.7	1.65	0.84	308.6	0.96	0.93	275.6	198 401
135 - 165	30	26.2	3.0	22.7	1.65	0.84	308.6	0.96	0.93	275.6	198 401
165 - 195	30	22.3	3.0	19.3	1.70	0.84	270.4	0.96	0.93	241.4	173 797
195 - 225	30	19.4	3.0	16.4	1.70	0.86	235.2	0.96	0.93	210.0	151 198
225 - 255	30	17.3	3.0	14.3	1.70	0.88	209.9	0.96	0.93	187.4	134 904
255 - 285	30	15.5	3.0	12.5	1.70	0.88	183.4	0.96	0.93	163.8	117 923
285 - 315	30	13.7	3.0	10.7	1.80	0.88	166.3	0.96	0.93	148.4	106 880
315 - 345	30	11.7	3.0	8.7	1.90	0.89	144.3	0.96	0.91	126.1	90 777
345 - 360	15	9.1	3.0	6.1	2.00	0.88	105.1	0.96	0.90	90.8	32 705
360 - 365	5	6.8	3.0	3.8	2.00	0.84	61.8	0.96	0.87	51.6	6 194

Množství vyrobené elektrické energie za rok:

1 770 708 kWh

7. Ekonomické vyhodnocení návratnosti investice

Pro vyhodnocení ekonomické efektivnosti projektu byly použity dynamické metody, které zohledňují faktor času. Konkrétně byly pro vyhodnocení zvoleny ukazatele NPV (čistá současná hodnota) a IRR (vnitřní výnosové procento) po dobu ekonomické životnosti projektu. Dále byly vypočteny hodnoty kumulovaného diskontovaného Cash Flow a DPP (diskontovaná doba návratnosti investice).

Čistá současná hodnota - NPV (Net Present Value)

NPV se vypočítá jako rozdíl diskontovaných příjmů a investičních nákladů. Pokud je NPV větší než nula, pak je projekt přijatelný. [2]

$$NPV = -I + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}$$

I = investiční náklady

C_t = Cash Flow v roce t

n = doba ekonomické životnosti projektu

i = diskontní sazba

Vnitřní výnosové procento - IRR (Internal Rate Return)

Vnitřní výnosové procento vyjadřuje hodnotu diskontní míry, při které je čistá současná hodnota rovna nule. [2]

$$0 = -I + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+IRR)^t}$$

Diskontovaná doba návratnosti - DPP (Discounted Payback Period)

Výsledkem této metody je určení času, kdy budou kladné diskontované peněžní toky větší než počáteční investiční náklady. [2]

$$0 = -I + \sum_{t=1}^{DPP} \frac{C_t}{(1+i)^t}$$

Diskontní sazba

Výše diskontní sazby je určena s ohledem na míru inflace, typ a dobu trvání projektu, úzce související s jeho rizikovostí. Vývoj průměrné roční míry inflace za posledních 10 let zobrazuje tabulka 7-1. Pro stanovení diskontní sazby bude použita průměrná hodnota míry inflace za posledních 10 let, tedy 2,3 %. Doba ekonomické životnosti projektu byla stanovena

na 15 let z důvodu možných rozsáhlejších oprav po uplynutí této doby. Při této době a typu projektu budou do výše diskontní sazby promítnuta i rizika projektu jako např. riziko poklesu výkupních cen elektřiny, riziko dlouhotrvajícího suchého období, povodňové riziko, riziko výraznějších oprav technologie a další. Výsledná diskontní sazba je stanovena s přihlédnutím k výše uvedeným parametrům na 10,0 %.

Tab. 7-1: Vývoj míry inflace [13]

Rok	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Míra inflace (%)	1,9	2,5	2,8	6,3	1,0	1,5	1,9	3,3	1,4	0,4

Roční tržby za prodej elektřiny byly vypočteny z celkového množství vyrobené elektrické energie a z výkupních cen elektřiny pro malé vodní elektrárny pro rok 2015. Netto výroba elektřiny byla snížena oproti brutto výrobě elektřiny o 3 %, což je odborným odhadem stanovená hodnota vlastní spotřeby elektřiny. [16]

Výkupní ceny elektřiny byly převzaty z bodu 1.6. dokumentu Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 1/2014 ze dne 12. listopadu 2014, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie. Výkupní ceny pro rekonstruované malé vodní elektrárny uvedené do provozu v období od 1. 1. 2015 do 31. 12. 2015 jsou rovny 2 499 Kč/MWh. Vyšší hodnota výkupních cen 3 230 Kč/MWh se vztahuje pouze na malé vodní elektrárny v nových lokalitách, kde nebyla od 1. 1. 1995 připojena výroba elektřiny k přenosové nebo distribuční soustavě. V tomto projektu bude tedy uvažována výkupní cena 2 499 Kč/MWh po celou dobu ekonomické životnosti. [6]

Tab. 7-2: Roční provozní Cash Flow

Ukazatel	Jednotka	Varianta I.		Varianta II.	
		prům. vodný rok	suchý rok	prům. vodný rok	suchý rok
Výroba elektřiny brutto	MWh/rok	1 330.81	1 284.18	1 890.78	1 770.71
Výroba elektřiny netto - prodej	MWh/rok	1 290.88	1 245.66	1 834.06	1 717.59
Výkupní cena elektřiny	Kč/MWh	2499	2499	2499	2499
Tržby za prodej elektřiny	tis. Kč/rok	3226	3113	4583	4292
Provozní náklady	tis. Kč/rok	120	120	180	180
Roční Cash Flow	tis. Kč/rok	3106	2993	4403	4112

Tab. 7-3: Vstupní parametry

		Varianta I.		Varianta II.	
		prům. vodný rok	suchý rok	prům. vodný rok	suchý rok
Diskontní sazba - i	%	10	10	10	10
Ekonomická doba životnosti - n	roky	15	15	15	15
Roční CF - C_t	Kč	3 105 919	2 992 901	4 403 307	4 112 249
Investiční náklady - I	Kč	17 680 000	17 680 000	31 170 000	31 170 000

7.1. Vyhodnocení variant projektu a návrh optimální varianty

Tab. 7.1-1: Ukazatele efektivity projektu, průměrně vodný rok

		Varianta I.	Varianta II.	Rozdíl
NPV	tis. Kč	5 944	2 322	3 622
IRR	%	15.6	11.3	4.3
Diskontovaná doba návratnosti	roky	8.8	12.9	4.1

Tab. 7.1-2: Ukazatele efektivity projektu, suchý rok

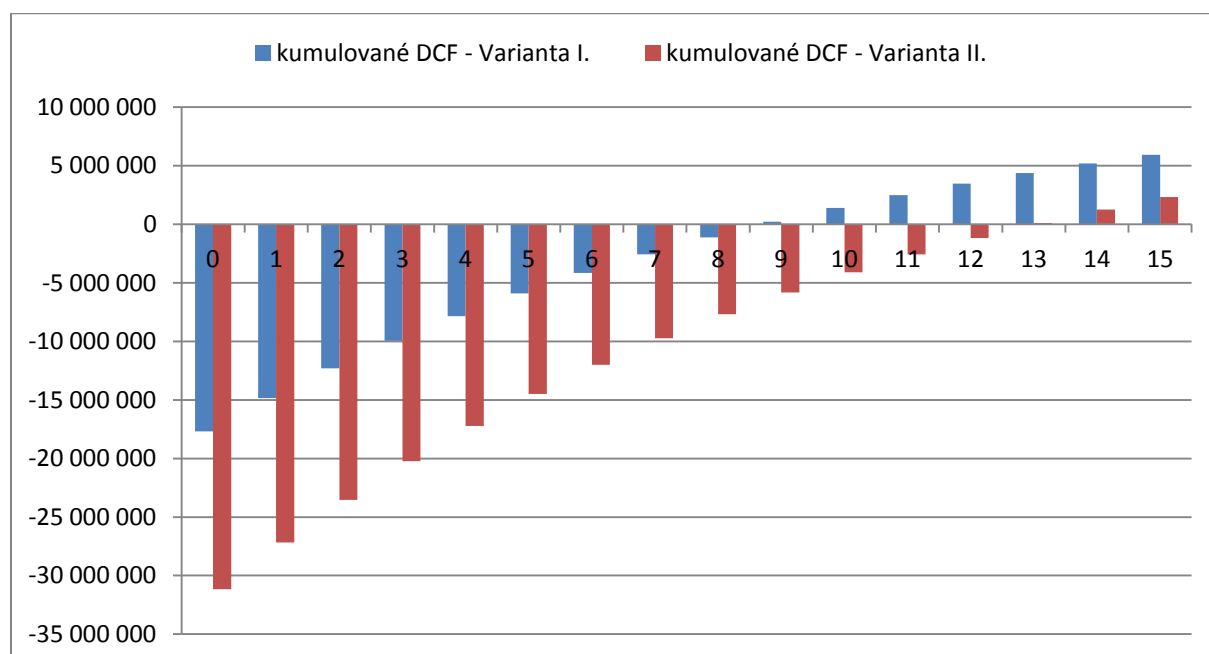
		Varianta I.	Varianta II.	Rozdíl
NPV	tis. Kč	5 084	108	4 976
IRR	%	14.8	10.1	4.7
Diskontovaná doba návratnosti	roky	9.4	14.9	5.5

Čistá současná hodnota obou variant rekonstrukce vychází větší než nula, proto jsou obě varianty přijatelné. Jako optimální však **navrhují variantu I.**, ve které se navrhuje osadit do každé stávající kašny dvě kompletní soustrojí, každé s přímoproudou S turbínou HYDROHROM 1100 SSK. Diskontovaná doba návratnosti varianty I. je při průměrně vodném roce 8,8 let, vnitřní výnosové procento 15,6 % a čistá současná hodnota je ve výši 5 944 tis. Kč. Varianta II., která vedle osazení čtyř turbín do stávající strojovny, uvažuje i s výstavbou nové strojovny a osazením dalších dvou turbín, vychází v porovnání ekonomických ukazatelů s variantou I. výrazně hůře. Při průměrně vodném roce je čistá současná hodnota 2 322 tis. Kč, vnitřní výnosové procento 11,3 % a diskontovaná doba návratnosti 12,9 let. Varianta II. je navíc více citlivá na hydrologické parametry a při suchém roce dojde k ještě výraznějšímu rozdílu porovnávaných variant ve prospěch varianty I.

7.2. Výpočet a srovnání variant pro průměrně vodný rok

Tab. 7.2-1: Výpočet a srovnání kumulovaného DCF pro průměrně vodný rok

rok	Varianta I., prům. vodný rok			Varianta II., prům. vodný rok		
	CF [Kč]	DCF [Kč]	kumulované DCF [Kč]	CF [Kč]	DCF [Kč]	kumulované DCF [Kč]
0	-17 680 000	-17 680 000	-17 680 000	-31 170 000	-31 170 000	-31 170 000
1	3 105 919	2 823 562	-14 856 438	4 403 307	4 003 007	-27 166 993
2	3 105 919	2 566 875	-12 289 563	4 403 307	3 639 097	-23 527 896
3	3 105 919	2 333 523	-9 956 040	4 403 307	3 308 270	-20 219 626
4	3 105 919	2 121 384	-7 834 656	4 403 307	3 007 518	-17 212 108
5	3 105 919	1 928 531	-5 906 125	4 403 307	2 734 107	-14 478 000
6	3 105 919	1 753 210	-4 152 915	4 403 307	2 485 552	-11 992 448
7	3 105 919	1 593 827	-2 559 088	4 403 307	2 259 593	-9 732 855
8	3 105 919	1 448 934	-1 110 154	4 403 307	2 054 175	-7 678 680
9	3 105 919	1 317 213	207 059	4 403 307	1 867 432	-5 811 248
10	3 105 919	1 197 466	1 404 525	4 403 307	1 697 666	-4 113 582
11	3 105 919	1 088 605	2 493 130	4 403 307	1 543 332	-2 570 250
12	3 105 919	989 641	3 482 772	4 403 307	1 403 029	-1 167 220
13	3 105 919	899 674	4 382 446	4 403 307	1 275 481	108 261
14	3 105 919	817 885	5 200 331	4 403 307	1 159 528	1 267 790
15	3 105 919	743 532	5 943 863	4 403 307	1 054 117	2 321 907

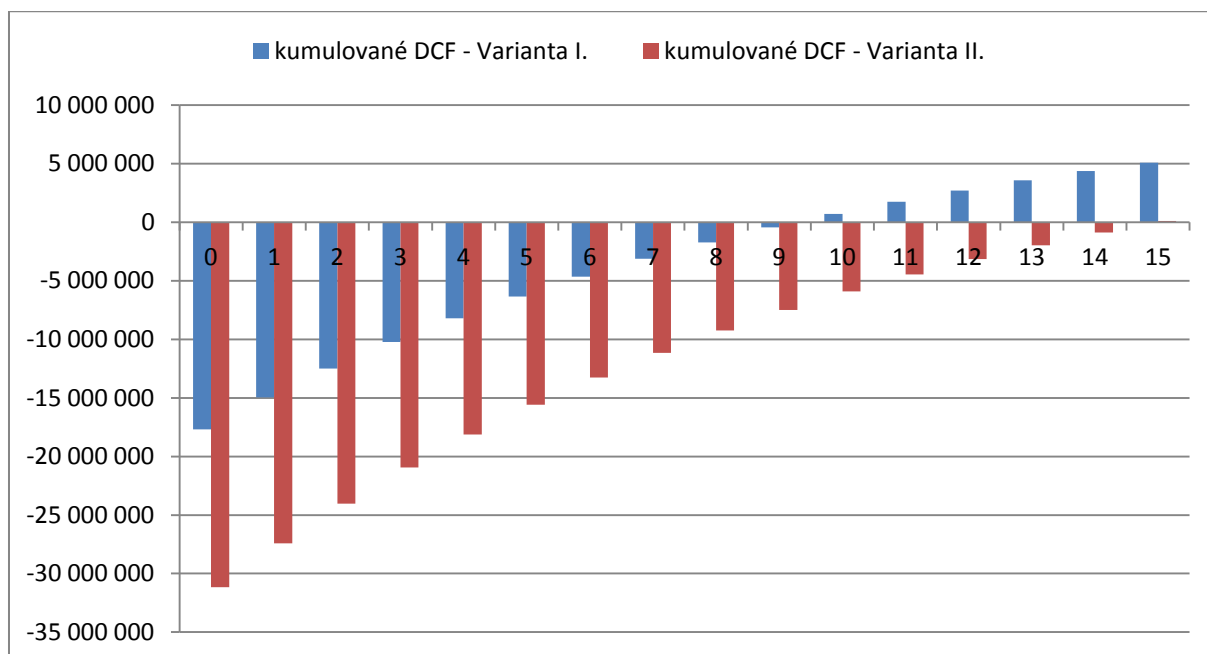


Graf 7.2-1: Kumulované DCF porovnávání variant pro průměrně vodný rok

7.3. Výpočet a srovnání variant pro suchý rok

Tab. 7.3-1: Výpočet a srovnání kumulovaného DCF pro suchý rok

rok	Varianta I., suchý rok			Varianta II., suchý rok		
	CF [Kč]	DCF [Kč]	kumulované DCF [Kč]	CF [Kč]	DCF [Kč]	kumulované DCF [Kč]
0	-17 680 000	-17 680 000	-17 680 000	-31 170 000	-31 170 000	-31 170 000
1	2 992 901	2 720 819	-14 959 181	4 112 249	3 738 408	-27 431 592
2	2 992 901	2 473 472	-12 485 710	4 112 249	3 398 553	-24 033 038
3	2 992 901	2 248 610	-10 237 099	4 112 249	3 089 594	-20 943 445
4	2 992 901	2 044 191	-8 192 908	4 112 249	2 808 722	-18 134 723
5	2 992 901	1 858 356	-6 334 552	4 112 249	2 553 383	-15 581 340
6	2 992 901	1 689 414	-4 645 138	4 112 249	2 321 258	-13 260 082
7	2 992 901	1 535 831	-3 109 307	4 112 249	2 110 234	-11 149 848
8	2 992 901	1 396 210	-1 713 096	4 112 249	1 918 395	-9 231 453
9	2 992 901	1 269 282	-443 815	4 112 249	1 743 995	-7 487 458
10	2 992 901	1 153 893	710 078	4 112 249	1 585 450	-5 902 008
11	2 992 901	1 048 993	1 759 072	4 112 249	1 441 318	-4 460 690
12	2 992 901	953 630	2 712 702	4 112 249	1 310 289	-3 150 400
13	2 992 901	866 937	3 579 639	4 112 249	1 191 172	-1 959 228
14	2 992 901	788 124	4 367 763	4 112 249	1 082 884	-876 345
15	2 992 901	716 477	5 084 239	4 112 249	984 440	108 095



Graf 7.3-1: Kumulované DCF porovnávání variant pro suchý rok

8. Závěr

Tato práce se zabývala porovnáním a vyhodnocením dvou variant plánované rekonstrukce malé vodní elektrárny v Dobřichovicích na řece Berounce. Malá vodní elektrárna v současnosti obsahuje dvě kašny o šířce 4,5 m a 5,0 m, ve kterých jsou osazeny dvě soustrojí, každé složené ze staré Francisovy turbíny a generátoru. Celkový instalovaný výkon elektrárny je 84 kW.

První varianta rekonstrukce navrhuje osadit do každé stávající kašny dvě kompletní soustrojí, každé s přímoproudou S turbínou HYDROHROM 1100 SSK. Celkový instalovaný výkon varianty I. je 300 kW a investiční náklady jsou 17 680 000,- Kč bez DPH. Druhá varianta rekonstrukce uvažuje kromě osazení čtyř přímoproudých S turbín HYDROHROM 1100 SSK do stávající strojovny ještě vybudování nové strojovny, kam by se osadila dvě kompletní soustrojí, každé s přímoproudou S turbínou HYDROHROM 1200 SSK. Celkový instalovaný výkon varianty II. je 480 kW a investiční náklady jsou 31 170 000,- Kč bez DPH. Roční provozní náklady byly stanoveny odborným odhadem ve výši 120 000,- Kč pro první variantu a ve výši 180 000,- Kč pro druhou variantu.

Ekonomické vyhodnocení obou variant rekonstrukce bylo provedeno pomocí dynamických metod, konkrétně pomocí čisté současné hodnoty (NPV), vnitřního výnosového procenta (IRR) a diskontované doby návratnosti (DPP). Porovnání a rozdíl mezi oběma variantami zobrazuje následující tabulka.

Tab. 8-1: Ukazatele efektivnosti projektu, průměrně vodný rok

		Varianta I.	Varianta II.	Rozdíl
NPV	tis. Kč	5 944	2 322	3 622
IRR	%	15.6	11.3	4.3
Diskontovaná doba návratnosti	roky	8.8	12.9	4.1

Diskontovaná doba návratnosti varianty I. je při průměrně vodném roce 8,8 let, vnitřní výnosové procento 15,6 % a čistá současná hodnota je ve výši 5 943 863,- Kč. Varianta II. vychází v porovnání ekonomických ukazatelů s variantou I. výrazně hůře. Při průměrně vodném roce je čistá současná hodnota 2 321 907,- Kč, vnitřní výnosové procento 11,3 % a diskontovaná doba návratnosti 12,9 let. Varianta II. je navíc více citlivá na hydrologické parametry a při suchém roce dojde k ještě výraznějšímu rozdílu porovnávaných variant ve prospěch varianty I. Proto navrhuji jako ideální variantu I.

9. Seznamy tabulek, obrázků a grafů

9.1. Seznam tabulek

- Tab. 3.2-1: Parametry navrhovaných soustrojí varianty I.
- Tab. 3.2-2: Parametry navrhovaných soustrojí varianty II.
- Tab. 4-1: Stanovení nákladů varianty I.
- Tab. 4-2: Stanovení nákladů varianty II.
- Tab. 5-1: Hydrologické podklady ČHMÚ ze dne 19. 5. 2014
- Tab. 5-2: Tabulka m-denních průtoků průměrně vodného roku
- Tab. 5-3: Tabulka m-denních průtoků suchého roku
- Tab. 6.1-1: Tabulka výroby v průměrně vodném roce (varianta I.)
- Tab. 6.1-2: Tabulka výroby v suchém roce (varianta I.)
- Tab. 6.2-1: Tabulka výroby v průměrně vodném roce (varianta II.)
- Tab. 6.2-2: Tabulka výroby v suchém roce (varianta II.)
- Tab. 7-1: Vývoj míry inflace
- Tab. 7-2: Roční provozní Cash Flow
- Tab. 7-3: Vstupní parametry
- Tab. 7.1-1: Ukazatele efektivity projektu, průměrně vodný rok
- Tab. 7.1-2: Ukazatele efektivity projektu, suchý rok
- Tab. 7.2-1: Výpočet a srovnání kumulovaného DCF pro průměrně vodný rok
- Tab. 7.3-1: Výpočet a srovnání kumulovaného DCF pro suchý rok
- Tab. 8-1: Ukazatele efektivity projektu, průměrně vodný rok

9.2. Seznam obrázků

- Obr. 2-1: Vyznačení lokality malé vodní elektrárny Dobřichovice
- Obr. 2-2: Původní technologie z roku 1931
- Obr. 3.1-1: Stávající jemné česle a jejich čistící zařízení
- Obr. 3.1-2: Pohled na stávající odpadní kanál
- Obr. 3.2-1: Horizontální turbína SEMI-KAPLAN od výrobce HYDROHROM
- Obr. 3.2-2: Schéma uspořádání turbíny Semi-Kaplan

9.3. Seznam grafů

- Graf 1-1: Podíl instalovaného výkonu vodních elektráren na celkovém instal. výkonu

Graf 5-1: Křivka m-denních průtoků průměrně vodného roku

Graf 5-2: Křivka m-denních průtoků suchého roku

Graf 7.2-1: Kumulované DCF porovnávaných variant pro průměrně vodný rok

Graf 7.3-1: Kumulované DCF porovnávaných variant pro suchý rok

10. Seznam zdrojů

- [1] Čihák F., Gabriel P., Kalandra P.: Malé vodní elektrárny, 1998, ISBN 80-01-01812-1
- [2] Prostějovská Z. a kolektiv: Management výstavbových projektů, 2008
- [3] ERÚ - Roční zpráva o provozu ES ČR 2013, dostupné na: http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2013.pdf/20c3f587-a658-49f7-ace9-56be8a66b7b9
- [4] Studie proveditelnosti zprůchodnění migračních překážek na vodních tocích v povodí Vltavy, dostupné na http://www.pvl.cz/migrace-vltava/projekt/4_KATALOG_PRICNYCH_PREKAZEK/4_katalog_pricnych_prekazek_Berounka.pdf
- [5] Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice, dostupné na: <http://www.cez.cz/edee/content/file/energie-a-zivotni-prostredi/oze-cr-all-17-01-obalka-in.pdf>
- [6] Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 1/2014 ze dne 12. listopadu 2014, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie, dostupné na: http://www.eru.cz/documents/10540/613886/ERV_4_2014/4f60ee4b-5bfa-4636-846f-5c7dee3d8683
- [7] <http://www.mapy.cz>
- [8] <http://vodnimlyny.cz/mlyny/mlyn/434-havlikuv-spitalni-pansky-mlyn>
- [9] <http://www.hydrohrom.cz/CZ/ssk-typ-s-tvar-samoregulovana-horizontalni-semi-kaplan-turbina.html>
- [10] <http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/semi-kaplan.htm>
- [11] <http://licence.eru.cz/detail.php?lic-id=110101682&sequence=1&total=1>
- [12] http://www.eru.cz/documents/10540/487050/20130213_seznam_OST_OZE_FINAL.pdf/e4632fc7-e090-4327-8d63-f56895e364fa
- [13] https://www.czso.cz/csu/czso/mira_inflace
- [14] Cenové nabídky variant rekonstrukce dodavatele technologie HYDROHROM
- [15] Hydrologické podklady ČHMÚ ze dne 19. 5. 2014
- [16] Odborné konzultace s projektantem malých vodních elektráren Ing. Josefem Kašparem

11. Průvodní zpráva dílčích úkolů bakalářské práce

Během pátého semestru studia jsem si obstaral projektovou dokumentaci reálné stavby v ulici Procházkova, v Praze 4 - Podolí. Jedná se o bytový dům s 5 nadzemními podlažními a s 1 podzemním podlažím, které obsahuje 11 garážových stání. Bytový dům obsahuje celkem 8 bytových jednotek o celkové výměře 844 m².

Konstrukční systém domu je kombinovaný. Stěny jsou převážně keramické ze systému POROTHERM a některé železobetonové. Sloupy jsou umístěné v podzemním podlaží mezi místy na parkování a v nadzemních podlažích v místech lodžii. Stropy jsou řešené jako železobetonová deska. Střecha je plochá, po obvodu lemovaná atikou. Spodní stavba je řešena jako bílá vana, tzn. z vodonepropustného betonu bez dalších povlakových izolací. Vertikální přesun v domě je řešen pomocí dvouramenného schodiště a výtahu.

11.1. TERI - Teorie řízení

Předmět Teorie řízení jsem absolvoval v šestém semestru a součástí tohoto předmětu byla příprava dokumentů pro založení podnikatelského subjektu, dále jeho definice a volba struktury podniku. Založil jsem stavební společnost s ručením omezením AQUA Clean s.r.o. se sídlem v Chrudimi. Společnost byla založena dvěma společníky a výše základního kapitálu činila 200 000,- Kč.

V rámci předmětu jsem vypracoval společenskou smlouvu, prohlášení správce vkladu, smlouvu o nájmu nebytových prostor, čestné prohlášení a podpisový vzor jednatele, dále jsem vyplnil žádost o výpis z rejstříku trestů, formuláře pro ohlášení živnosti, přihlášku k registraci pro právnické osoby a přihlášku k registraci k DPH. Strukturu společnosti jsem navrhl jako liniově-štábní a počet zaměstnanců jsem navrhl celkem 105. Roční provozní náklady na mzdy, energie, splátky úvěru, reklamu a další byly celkem 39 751 800,- Kč. Pořizovací náklady byly vypočteny ve výši 6 290 000,- Kč a zahrnují pořízení kancelářských potřeb, autojeřábu, dvou pásových rypadel, vysokozdvizného vozíku a dalšího vybavení pro potřeby výstavby. Bodu zvratu společnost dosáhla již v prvním roce podnikání.

11.2. KAN2 - Kalkulace a nabídky 2

Předmět Kalkulace a nabídky 2 byl rovněž součástí učebního plánu šestého semestru a v rámci tohoto předmětu jsem zpracoval propočet celkových nákladů investora pro projekt výstavby bytového domu Procházkova. Cenu za hlavní stavební objekt jsem stanovil podle konstrukčně materiálové charakteristiky a zařazení dle JKSO pomocí cenových ukazatelů ve stavebnictví pro rok 2013. Cenu za 1 m³ obestavěného prostoru jsem uvažoval 4 644,- Kč a

obestavěný prostor budovy byl dle projektové dokumentace 5 437 m³. Celková cena za hlavní stavební objekt tedy vyšla 25 249 428,- Kč bez DPH. Součet hlavního stavebního objektu a dalších stavebních objektů (přípojky, příjezdová komunikace, oplocení a sadové úpravy), tedy základní rozpočtové náklady (ZRN) vyšly ve výši 26 033 670,- Kč bez DPH. Náklady na umístění stavby (NUS) jsem vypočítal jako 4 % ze ZRN, což činí 1 041 347,- Kč bez DPH. Součet ZRN a NUS vyjadřuje předpokládané náklady stavby, které tak jsou ve výši 27 075 017,- Kč bez DPH.

Cenu za projektové a průzkumné práce jsem stanovil podle výpočtu honoráře architekta/inženýra pro pozemní stavby podle honorářových zón a započitatelných nákladů, podle kterých jsem uvažoval cenu jako 6,78 % ze ZRN. Cena za projektové a průzkumné práce činí 1 765 000,- Kč bez DPH. Ostatní náklady byly stanoveny jako 2 % ze ZRN a rezerva jako 10 % ze ZRN. Výpočet ceny za nákup pozemku byl vypočítán podle cenové mapy hlavního města Prahy, která uvádí v této lokalitě cenu 8 560,- Kč za 1 m². Při celkové výměře stavebních pozemků 705 m² je cena za jejich nákup 6 034 800,- Kč bez DPH. Následující tabulka uvádí rekapitulaci celkových nákladů na pořízení stavby. Celková cena stavby činí 37 998 857,- Kč bez DPH.

Tab. 11.2-1: Rekapitulace celkových nákladů na pořízení stavby:

	bez DPH	DPH	včetně DPH
1. Projektové a průzkumné práce	1 765 000 Kč	370 650 Kč	2 135 650 Kč
2. Provozní soubory	0,00	0,00	0,00
3. Stavební objekty	26 033 670 Kč	3 905 050 Kč	29 938 720 Kč
4. Stroje, zařízení a inventář	0,00	0,00	0,00
5. Umělecká díla	0,00	0,00	0,00
6. NUS	1 041 347 Kč	156 202 Kč	1 197 549 Kč
7. Ostatní náklady	520 673 Kč	109 341 Kč	630 014 Kč
8. Rezerva	2 603 367 Kč	390 505 Kč	2 993 872 Kč
9. Nákup pozemku	6 034 800 Kč	1 267 308 Kč	7 302 108 Kč
10. Náklady hrazené z provoz. prostředků	0,00	0,00	0,00
Rekapitulace:	37 998 857 Kč	6 199 056 Kč	44 197 913 Kč

11.3. PRRS - Příprava a řízení staveb

V předmětu Příprava a řízení staveb jsem vypracoval kontrolní harmonogram investora, vyplnil formulář s oznámením veřejné zakázky na stavební práce a vyplnil žádost o vydání rozhodnutí o umístění stavby a žádost o vydání stavebního povolení.

Kontrolní harmonogram investora stavby bytového domu v ulici Procházkova jsem vytvořil v programu MS Excel a použil podklady z propočtu. Jednotlivé položky jsem si rozdělil na předinvestiční fázi (nákup pozemku, příprava zakázky, studie, dokumentace pro územní řízení a územní řízení), investiční fázi (dokumentace pro stavební povolení, stavební řízení, dokumentace pro provedení stavby, dokumentace pro dodavatele, výběr dodavatele, SO1 až SO10, NUS, autorský dozor, technický dozor investora, ostatní náklady a rezerva) a na provozní fázi (uvedení stavby do užívání). Doba trvání celého projektu vyšla při uvažování posloupností jednotlivých činností a průměrné měsíční produktivity 120 000,- Kč na jednoho dělníka na 36 měsíců (od srpna 2015 do července 2018). Dobu výstavby stavebních objektů jsem vypočítal na 15 měsíců (od dubna 2017 do června 2018). Maximální počet pracovníků na staveništi vyšel 20 dělníků.

Dále jsem vyplnil formulář s oznámením veřejné zakázky na stavební práce dle Směrnice 2004/18/ES a poté jsem vyplnil formuláře s žádostí o vydání rozhodnutí na umístění stavby a s žádostí o stavební povolení. K těmto žádostem jsem přiložil některé z příloh, které by stavební úřad požadoval. Konkrétně jsem přiložil doklad o vlastnictví nemovitosti, koordinační situaci stavby, seznam a adresy osob, jejichž vlastnické nebo jiné věcné právo k sousedním stavbám anebo sousedním pozemkům nebo stavbám na nich může být územním rozhodnutím nebo prováděním stavby přímo dotčeno, závazná stanoviska dotčených orgánů a stanoviska vlastníků veřejné dopravní a technické infrastruktury.

11.4. KNPR - Projekt KAN

Úkolem tohoto projektu bylo sestavit položkový rozpočet hlavního stavebního objektu dle obstarané projektové dokumentace. Položkový rozpočet jsem sestavoval v programu KROS plus. Hlavním podkladem byla projektová dokumentace bytového domu a výstup z předmětu KAN2 - Propočet celkových nákladů investora, ze kterého jsme převzali hodnoty některých položek (zdravotechnika, ústřední vytápění, elektromontáže atd.). V rámci projektu jsem zpracoval položkový rozpočet, výkaz výměr, tabulku podlah, tabulku stěn a otvorů a výrobní kalkulaci.

Zpracování položkového rozpočtu předcházelo zpracování výkazu výměr, který jsem vypočítal dle technické zprávy, výkresů bytového domu a tabulek jednotlivých prvků.

Ocenění položek pak proběhlo v programu KROS plus podle cenové soustavy společnosti ÚRS PRAHA, a.s.

Výsledná cena hlavního stavebního objektu činí 31 887 381,- Kč bez DPH, náklady na umístění stavby jsem spočítal jako 4 % z ceny hlavního stavebního objektu a vyšly 1 275 495,- Kč bez DPH. Celkové náklady na hlavní stavební objekt činí 33 162 876,- Kč bez DPH.

11.5. PJPR - Projekt z přípravy a řízení staveb

Projekt z přípravy a řízení staveb jsem absolvoval v osmém semestru studia a jeho výstupem byl časový plán projektu a návrh zařízení staveniště. Dalšími úkoly bylo určení prací, které budou provedeny subdodávkou a určení subdodavatelů, návrh smlouvy o dílo, vyplnění stavebního deníku, sepsání protokolu o předání a převzetí stavby a vypsání konečné faktury. Podklady projektu byly projektová dokumentace projektu a výstupy z předmětů TERI a KNPR, konkrétně seznam pracovníků a strojního vybavení v námi navržené společnosti, položkový rozpočet a výrobní kalkulace.

Při navrhování zařízení staveniště jsem navrhl rozsah staveniště, dopravní obslužnost, napojení staveniště na zdroje (voda pro výstavbu, elektrická energie, odvodnění staveniště) a sociální zařízení staveniště pro maximální počet dělníků, který se během výstavby na stavbě vyskytne. Následoval návrh zásobování materiály, skladování na staveništi a byla popsána bezpečnost práce a vliv stavby na životní prostředí. Poté jsem navrhl zvedací mechanismy - stavební výtah na dobu čtyř měsíců a jeřáb na dobu osmi měsíců. Návrh jeřábu jsem provedl podle požadovaných parametrů (nosnost, vyložení, výška zdvihu). Všechny objekty zařízení staveniště, umístění jeřábu a stavebního výtahu, skladovací plochy, příjezd a odjezd ze staveniště jsem zakreslil do situace a vyznačil hranice stavby, staveniště a zábory. Náklady na zařízení staveniště jsem stanovil podle cen za půjčení jednotlivých objektů a strojů. Náklady vyšly celkem na 1 034 935,- Kč bez DPH. Tato cena je o 240 560,- Kč nižší než NUS stanovené procentuálně z rozpočtu a o 6 412,- Kč nižší než NUS stanovené procentuálně z propočtu.

Časový plán jsem zhotovil na základě výrobní kalkulace ze softwaru KROS plus pomocí softwaru MS Project. Nejdříve jsem položky z výrobní kalkulace agregoval, tzn. shlukoval více položek se stejným časem výstavby do jedné, a poté k nim v MS Project přiřadil zdroje a předchůdce. Do komentáře k časovému plánu jsem poté sepsal analýzu času, zdrojů a nákladů.

Analýza času

Dobu výstavby jsem zjistil pomocí MS Project poté, co jsem sestrojil časový plán projektu. Datum zahájení výstavby bylo určeno ke dni 1. 4. 2017 a ve smlouvě o dílo jsem se zavázal projekt dokončit do 30. 6. 2018. Nechal jsem v softwaru původní nastavení, ve kterém jsem počítal s pracovní dobou 8 hodin denně, 5 pracovních dní v týdnu. Při této pracovní době by stavba měla být dokončena dne 27. 6. 2018, a proto jsem nemusel přistoupit ke změně pracovní doby. Časová rezerva do 30. 6. 2018 však není velká (pouhé 3 dny), a proto je důležité sledovat především činnosti, které se vyskytují na kritické cestě a nemají tedy žádnou časovou rezervu. Jejich zpoždění by vedlo ke zpoždění celé výstavby a tím i pravděpodobně k porušení smluvních podmínek a následnému vzniku povinnosti k placení pokuty. Mezi rizika, která by mohla ohrozit včasné splnění projektu patří např. nízká produktivita pracovníků nebo nepříznivé klimatické podmínky. Je důležité tato rizika hlídat a operativně reagovat v případě jejich výskytu (prodloužení pracovní doby, pracovní soboty atd.).

Analýza zdrojů

Pro stavební práce byli využiti především pracovníci společnosti AQUA Clean s.r.o. a na práce, které tato společnost není schopna zajistit, byli najati subdodavatelé. Firemní zámečníci nebyli při projektu využiti, upřednostněna byla dodávka zámečnických konstrukcí včetně montáže. Nejvytíženějším zdrojem byli stavební dělníci, tesaři, betonáři, armovači a zedníci. Během výstavby dojde k přetížení zdrojů pouze v lednu 2018, kdy bude potřeba navíc jeden zedník. Maximální počet pracovníků na stavbě bude v jednom měsíci 55, v ostatních měsících nebude na stavbě více než 42 dělníků. Pro tyto počty dělníků byly navrženy čtyři obytné kontejnery a jeden sanitární kontejner s toaletami a sprchami.

Analýza nákladů

Při sestavení platebního kalendáře jsem vycházel z platebních podmínek uvedených v bodě VI. Smlouvy o dílo. Při sestavení Cash Flow jsem vycházel z údajů o měsíční prostavěnosti a platebního kalendáře. Výsledný zisk byl vypočten na 2 071 042,- Kč bez DPH, což činí přibližně 6 % ceny stavby. Společnost bude schopna stavbu financovat, protože ve smluvních podmínkách je stanoveno, že vyplacení zbývajících 10 % částky proběhne po odstranění všech vad a nedodělků, což bude do měsíce po skončení stavby.