



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

VYHODNOCENÍ PROVOZU MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY

EVALUATION OF OPERATION OF SMALL HYDROPOWER PLANT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Josef Bartoš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MIROSLAV ŠPANO, Ph.D.

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Josef Bartoš
Název	Vyhodnocení provozu malé vodní elektrárny
Vedoucí práce	Ing. Miroslav Špano, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2019
Datum odevzdání	22. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Boor,B., Kunštácký,J., Patočka,C. (1968) Hydraulika pro vodohospodářské stavby, SNTL Praha.

Legát, V., 2014. Vztah mezi kvalitou a spolehlivostí. Úvod do spolehlivosti, Materiály z 54. setkání odborné skupiny pro spolehlivost. Česká společnost pro jakost. Praha 2014, s. 4-12.

Štoll, Č, Kratochvil, S., Holata, M. (1977) Využití vodní energie, SNTL Praha

Tůma, J., Rusek, S., Martínek, Z., Chemišinec, I., Goňo, R., 2006. Spolehlivost v elektroenergetice. Praha, CONTE spole. s r.o. a ČVUT Prague, 291 s.

Votruba, L., Heřman, J. et al., 1993. Spolehlivost vodohospodářských děl. Prague: Brázda, Vol. XCIX 1993, No. 444, in Czech, 488 p.

EN 13306, 2011. Údržba - Terminologie údržby.

EN 61703, 2002. Matematické výrazy pro ukazatele bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a zajištění údržby.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem práce bude vyhodnotit provoz malé vodní elektrárny na základě ukazatelů získaných z provozních dat. Práce bude přehledně členěna do jednotlivých částí:

- 1) Úvod a cíle práce
- 2) Popis lokality
- 3) Postup řešení
- 4) Práce s daty
- 5) Vyhodnocení výsledků
- 6) Závěr
- 7) Literatura

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. Miroslav Špano, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá kvantitativním vyjádřením spolehlivosti provozu na MVE. V úvodu se práce věnuje teoretické části, především podrobnějšímu popisu jednotlivých ukazatelů a matematické vyjádření těchto ukazatelů. Následuje popis elektrárny, který je rozdělen na jednotlivé části. Dále je pak uvedeno vyhodnocení, které vychází převážně z teoretické části a jsou zde zobrazeny výsledky mimo jiné i v grafické podobě.

KLÍČOVÁ SLOVA

Malá vodní elektrárna, porucha, turbína, soustrojí, vyhodnocení

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with the quantitative expression of the reliability of operation at MVE. In the introduction, the work deals with the theoretical part, especially a more detailed description of individual indicators and mathematical expression of these indicators. The following is a description of the power plant, which is divided into individual parts. Furthermore, the evaluation is presented, which is based mainly on the theoretical part and the results are displayed, among other things, in graphical form.

KEYWORDS

small hydropower plant, failure, turbine, set, evaluation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Josef Bartoš *Vyhodnocení provozu malé vodní elektrárny*. Brno, 2020. 33 s., Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. Miroslav Špano, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Vyhodnocení provozu malé vodní elektrárny* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 21. 5. 2020

Josef Bartoš
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Vyhodnocení provozu malé vodní elektrárny* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 21. 5. 2020

Josef Bartoš
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Miroslavovi Španovi, Ph.D. za odborné vedení, podnětné připomínky, cenné rady a skvělý profesní i osobní přístup k výuce i vedení samotné bakalářské práce.

Děkuji panu Liborovi Smékalovi za poskytnutá data a prohlídku s výkladem MVE.

OBSAH

1	ÚVOD	3
2	TEORETICKÁ ČÁST	4
3	POPIS MVE	6
3.1	Popis lokality MVE	6
3.2	Popis jezu	7
3.3	Popis vtokového objektu	8
3.4	Popis náhonu	8
3.5	Popis vodního zámku	8
3.6	Popis budovy elektrárny	9
3.7	Popis odpdního kanálu elektrárny	10
3.8	Technologie elektrárny	10
4	DATA	11
4.1	Získaná data od majitele MVE	11
4.2	PRÁCE S DATY – vytvoření tabulky s ukazateli	12
4.3	Získaná data DOPLNĚNA O UKAZATELE	13
4.4	výpočtová část	13
5	VYHODNOCENÍ	14
5.1	Vyhodnocení turbíny T1	14
5.2	Vyhodnocení turbíny T2	15
5.3	Vyhodnocení turbíny T3	17
5.4	Srovnání soustrojí	18
5.5	Vyhodnocení poruch mimo soustrojí	19
6	ZÁVĚR	20
7	POUŽITÁ LITERATURA	21
8	SYMBOLIKA	22

SEZNAM TABULEK	23
SEZNAM OBRÁZKŮ	24
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	25
SUMMARY	26

1 ÚVOD

V této práci se budu věnovat problematice provozu malé vodní elektrárny, a to především poruchami na jednotlivých částech elektrárny. Abych mohl jednotlivé případy detailně popsat a uvést reálné poruchy na elektrárně. Vybral jsem si malou vodní elektrárnu, blízko mého domova, jako názorný příklad. Informace o této elektrárně mám od vlastníka a zároveň provozovatele této elektrárny.

Tato práce zasahuje do tematiky výroby elektrické energie. Výroba „čisté, nebo tzv. zelené energie“ se poslední dobou stále častěji prosazuje. A to nejenom v Evropě, ale na celém světě. Jsou různé možnosti, jak tuto energii získat. Záleží na lokalitě a také na zvoleném zařízení.

Jednou z možností jak získat elektrickou energii je pomocí vodní energie. V naší zemi má tento způsob využití vodní energie dlouhou tradici. Je to jedna z nejstarších možností jak využít přírodní zdroje. Předkové využívali sílu vodního toku jako zdroj mechanické energie v tehdejších mlýnech. Postupem času, a se vznikem elektřiny se tyto mlýny transformovaly do zařízení vyrábějících elektrickou energii. Dnes již známé malé vodní elektrárny (MVE). Postupně docházelo i k výstavbě nových MVE. S ohledem na geografickou polohu České republiky se nabízí pouze omezené množství lokalit, kde je možné technicky realizovat nová díla pro ekonomicky efektivní využití vodní energie. Do popředí se proto dostává požadavek na zvyšování efektivity využívání hydroenergetického potenciálu ve stávajících vodních elektrárnách. Jak uvádí autoři [1], motivačním prvkem je v případě rekonstruovaných malých vodních elektráren (MVE) možnost získání zvýhodněné výkupní ceny elektrické energie. Přičemž minimální rozsah požadovaných úprav pro vyšší výkupní ceny elektrické energie je dán požadavky Energetického regulačního úřadu. V [1] se dále uvádí, že důležitým podkladem pro zvažování případné rekonstrukce MVE z ekonomického hlediska je výchozí posouzení provozní spolehlivosti především technologické části MVE, charakterizované její bezporuchovostí.

V tomto smyslu je vytvořena tato práce, která ukazuje postup, jak je možné určit spolehlivost. Následně z dosažených výsledků vyhodnotit, zda je výhodné rekonstruovat stávající MVE. Vše je ukázáno na konkrétním případě, tudíž je možné tuto práci použít jako předlohu pro hrubé zjištění bezporuchovosti na jiné MVE, a to nejen na MVE. Takto provedený zjednodušený rozbor bezporuchovosti přístroje nám může pomoci s jeho údržbou, a také vypovídá o kvalitě výrobku/přístroje. V tomto smyslu mě napadá utopická myšlenka na vytvoření „kvalitativního štítku“ pro spotřebiče. Něco ve smyslu energetického štítku na spotřebičích a budovách jakož jej známe dnes. Tento štítek by mohl být zajímavý pro značnou část obyvatelstva. Jelikož by udával spolehlivost jednotlivého spotřebiče. Tudíž by se mohl zákazník rozhodovat nejen podle designu, energetické náročnosti, ceny, ale právě i spolehlivosti. Samotná spolehlivost by udávala počet hodin v provozu přístroje bez poruchy. Samozřejmě bychom museli zohlednit samotnou cenu výrobku. Ale značně by to usnadnilo rozhodování při pořizování např. domácích spotřebičů, přístrojů ve výrobě, automobilů atd. Například při pořizování nové pračky by bylo příhodné vědět, jak dlouho vydrží práť. Jestli pořídit pračku za 8000Kč, která mi vydrží práť 6 let, nebo pračku za 20000Kč, která je sice krásná a značková, ale vydrží práť 7 let. S největší pravděpodobností by to utlumilo konzum, jaký známe v dnešní době a pravděpodobně by to mělo vliv i na ekonomiku. Proto hned na začátku samotné myšlenky uvádím, že se jedná spíše o utopii. Protože výrobci potřebují hlavně prodávat a uvádění spolehlivosti by narušilo celý marketing. Ale pro samotné spotřebitele by to bylo přinejmenším zajímavé. Jelikož se mezi lidmi stále více řeší i kvalita potravin, proč tedy nezačít řešit i kvalitu spotřebičů.

2 TEORETICKÁ ČÁST

Tato část se věnuje kvantifikaci spolehlivosti MVE. Abych mohl dále pokročit k výpočtové části, bylo nutné seznámit se s jednotlivými ukazateli. Vycházel jsem z článku „Evaluation of the maintenance and operational dependability of small hydropower plant“ [2]

Spolehlivost se kvantifikuje pomocí ukazatelů, jimiž jsou:

MUT	[den]	střední doba použitelného stavu
MDT	[den]	střední doba nepoužitelného stavu
D_j	[den]	doba j -té opravy soustrojí
N_t	[-]	počet poruch během daného období pozorování
T	[den]	doba mezi dvěma po sobě následujícími poruchami
T_i	[den]	doba mezi jednotlivými zaznamenanými poruchami, tj. doba i -tého bezporuchového období
λ	[1/den]	parametr proudu poruch
A	[-]	součinitel asymptotické pohotovosti

Střední doba použitelného stavu MUT je stanovena ze vztahu [3]:

$$MUT = \frac{1}{N_t} \sum_{i=1}^{N_t} T_i, \quad (2.1)$$

kde T_i nám udává dobu i -tého bezporuchového období [den] a N_t udává počet významných poruch v časovém intervalu $(0, t)$ [-]. Střední doba použitelného stavu je tedy poměrná část období soustrojí v provozu vůči počtu poruch vyskytlém na tomto soustrojí. Dalším ukazatelem je střední doba nepoužitelného stavu ze vztahu [3]:

$$MDT = \frac{1}{N_t} \sum_{j=1}^{N_t} D_j, \quad (2.2)$$

kde D_j nám udává dobu j -té opravy soustrojí [den]. Rozdíl oproti předchozímu ukazateli je v tom, že v tomto případě vyhodnocujeme samotnou dobu, kdy bylo soustrojí mimo provoz. Pro vyhodnocení se použije aritmetický průměr. Parametr proudu poruch definován jako [3]:

$$\lambda = \frac{1}{MUT}, \quad (2.3)$$

Parametr proudu poruch nám udává za jak dlouho se může na soustrojí objevit porucha. Asymptotická pohotovost je definovaná jako [3]:

$$A = \frac{MUT}{MUT + MDT}, \quad (2.5)$$

Kde máme již známé parametry, střední dobu provozu a střední dobu do obnovy. Tento tvar nám udává poměr doby v provozu ku celkové době používání zařízení. Výsledný ukazatel bude udávaný v rozmezí mezi 0 a 1. Důležitá hodnota je hodnota 0,5, která udává rovnovážný stav. Pokud výsledná hodnota bude menší než 0,5, znamená to, že soustrojí je častěji mimo provoz než aby bylo v provozu a naopak.

Doba provozu mezi dvěma poruchami, kterou lze očekávat s danou pravděpodobností byla vyjádřena jako kvantil kumulativní distribuční funkce pravděpodobnosti poruchy. Ta byla sestavena na základě provozních dat o dobách provozu mezi jednotlivými poruchami. Empirická distribuční funkce dob provozu mezi poruchami je definována [4]:

$$F(t) = \frac{1}{N_t} \sum_{i=1}^{N_t} 1\{T_i \leq t\}, \text{ kde} \quad (2.6)$$

$$1\{T_i \leq t\} = \begin{cases} 1 & \text{pro } T_i \leq t \\ 0 & \text{jinak} \end{cases} \quad (2.7)$$

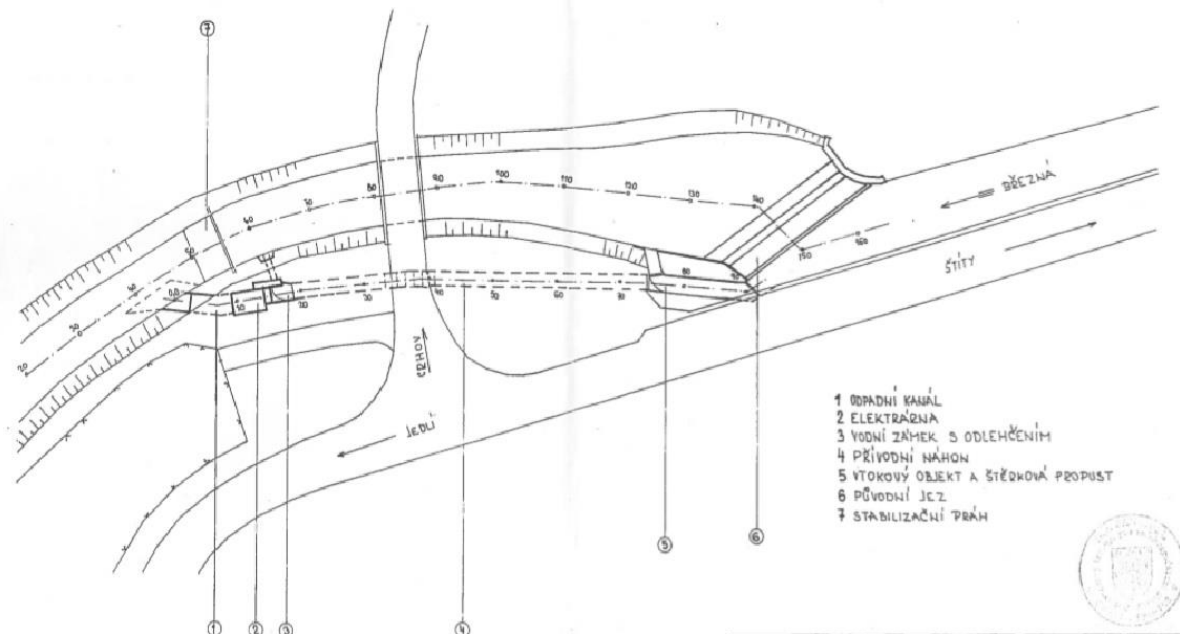
Kvantil $K(p)$ (doba provozu mezi dvěma poruchami, kterou lze očekávat s danou pravděpodobností p) je odečten z distribuční funkce.

3 POPIS MVE

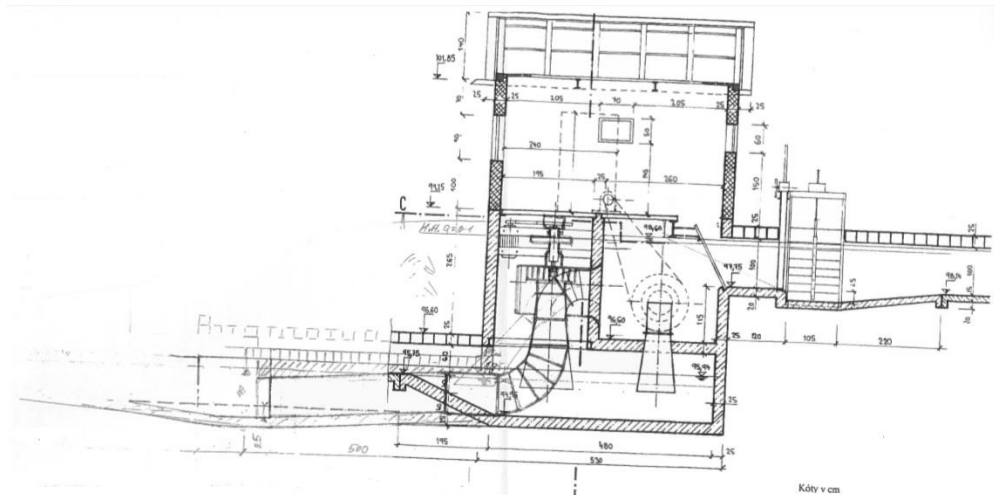
Tato část práce se bude věnovat popisu MVE jednak v souvislosti se svým okolím, tak popisu jednotlivých částí MVE. Také bude uvedeno několik vět o historii této elektrárny.

3.1 POPIS LOKALITY MVE

MVE je postavena ne řece Březné viz obr. 3.1, vedle místa zvaném „Renostav“, pojmenovaném po místním výrobním podniku. Ten v současné době vyrábí plastové výlisky. Dříve tato oblast sloužila i pro rekreaci a stojí zde i dříve hojně navštěvovaný hotel. Celá tato lokalita se nachází zhruba ve výšce 380 m n.m.. Nedaleko proti směru toku jsou vybudovány další dvě MVE. Ale oproti této MVE mají vzdutí hladiny řešeny pomocí delšího náhonu bez jezu tzv. derivačního typu. Na levém břehu se podél řeky táhne vozovka, která úzce sousedí s řekou. Po povodních v roce 1997, kdy došlo k podemletí této komunikace, byla provedena její rekonstrukce a koryto na levém břehu bylo vybetonováno. To zejména v místech, kde hrozila destrukce vozovky při povodních. Na pravé straně toku se nacházejí louky, které se rozléhají od řeky k úpatí svahu. Několik metrů proti proudu řeky se nachází betonový most, který spojuje pravý a levý břeh řeky. Tento most slouží silniční dopravě. Řeka teče v údolí a na svazích tohoto údolí, rostou vzrostlé jehličnaté lesy. Situace elektrárny je patrná z obrázku 3.1, řez budovou elektrárny je uveden na obrázku 3.2.



Obr. 3.1 Scan technické dokumentace – Situační výkres



Obr. 3.2 Scan technické dokumentace – Řez elektrárnou

3.2 POPIS JEZU

Hned prvním stavebním objektem MVE je betonový šikmý jez, který vzdouvá hladinu vody. Zároveň také usměrňuje proud vody do dalšího objektu. Nachází se ještě několik metrů od mostu, proti proudu řeky. Koruna jezu je 23,3 m dlouhá a je umístěna mezi dvě betonová křídla. Výška jezu od koruny po základovou spáru jezu je zhruba 1,1 m. Hrana od nadjezí po korunu jezu šikmo stoupá k hladině a je dlouhá 0,55 m. Kde navazuje na skluz, který je dlouhý 3,3 m a spojuje se s vývarem hlubokým 0,35 m a širokým 1,4 m. Celá tato skladba navazuje na betonový práh, který je zaústěn pod kamenný zához. Pravé křídlo měří při vnitřní straně (strana s přímým stykem s řekou) 9,5 m. Je rozděleno na tři části. Část před jezem vychází z břehu řeky, a směřuje šikmo na osu řeky, kde se napojuje na střední část, která rovnoběžně kopíruje směr proudění. Tato část je dlouhá 4,5 m a napojuje se na poslední část jezu, kde se láme a její konec směřuje zpět šikmo k břehu řeky. Levé křídlo je složeno obdobně jako pravé, jen s tím rozdílem, že první část není tolik vychýlená od směru proudění. Toto křídlo slouží také pro oddělení toku řeky s tokem náhonu. Obě křídla jsou široká 0,5 m.



Obr. 3.3 Fotografie jezu

3.3 POPIS VTOKOVÉHO OBJEKTU

Vtokový objekt je umístěn na levém břehu řeky, těsně mezi vozovkou a samotné koryto řeky. Navazuje na betonovou část jezu a pokračuje podél stěny vozovky. Celková délka činní 13,9 m. Na začátku je koryto vtokového objektu 3,2 m široké a 1,5 m vysoké. V této části je vybudované stavidlo. Samotné stavidlo je vyrobeno z dřevěných fošen a ovládá se ručně. Rám stavidla a ovládání je ocelové. Od stavidla se šířka přírodního kanálu zužuje na 2,0 m a ve vzdálenosti 13,9 m od stavidla je pak umístěna šterková propust o šířce 1,4 m a délce 4,0 m zaústěná zpět do toku. Za šterkovou propustí je osazeno další stavidlo obdobné jako na začátku vtokového objektu. Dále se vtokový objekt napojuje na náhon. Popis náhonu

Náhon je objekt vodní elektrárny, který v tomto případě není viditelný a je vybudován pod vozovkou. Délka celého náhonu činní 50,0 m a s podélným sklonem 0,9%. Táhne se podzemím v přímém směru, od vtokového objektu až těsně před elektrárnu, kde navazuje na vodní zámek. Náhon je vybudován z rámových propustí označované jako Beneš, nad tyto propusti jsou položeny železobetonové překlady o tloušťce 0,25 m, a aby odolaly zatížení od projíždějících vozidel.



Obr. 3.4 Fotografie vtokového objektu

3.4 POPIS VODNÍHO ZÁMKU

Vodní zámek s odlehčením je tvořen nápusným stavidlem MVE a stavidlem odkalovacího kanálu. Vodní zámek začíná v místě rozšiřování náhonu ze 2,0 m a přechází v délce 5,6 m na šířku 2,5 m u nápusného stavidla stejné šířky a výšky 1,15 m, kde končí. Odkalovací stavidlo je široké 1,1 m a vysoké 1,2 m a plní zároveň funkci odlehčovacího přepadu. Za ním následuje šachta vysoká 1,5 m a dlouhá 0,6 m, z níž vede odpadní potrubí průměru 0,5 m ve sklonu 14,8% se zaústěním přes opěrnou zidku do toku na zpevněné dno. Za nápusným stavidlem je obslužná plocha 3,0 x 1,0 m.

3.5 POPIS BUDOVY ELEKTRÁRNY

Provozní budova elektrárny slouží pro obsluhu turbín a je zde umístěna převážná část elektroinstalace. Celkový obvod budovy je necelých 20,0 m, tudíž nejde o nijak velkou stavbu. Můžeme ji rozdělit na dvě části. A to na nadzemní část, kde se vyskytuje manipulační prostor pro obsluhu. Nadzemní část je vyzděna z plynosilikátového zdiva s několika okny a jedním vstupem. Budovu zastřešuje sedlová střecha z vlnitého plechu. Pod střechou je posazena ocelová konstrukce s kladkou, která se používá při výměně jednotlivých částí soustrojí. Podlaha je zhotovena z dřevěných prken a dle potřeby je možné tato prkna odstranit a docílit tak většího manipulačního prostoru při výměně části soustrojí. V této podlaze je ještě vytvořen průlez do spodní části, kde je uloženo samotné soustrojí. Spodní část je postavena z železobetonu o tloušťce 0,25 m. Tato část se ještě rozděluje na část před turbínami a část samotného soustrojí. Přepážku mezi nimi tvoří železobetonová stěna o tloušťce 0,25 m. Část před turbínami tvoří mokrá kašna, před kterou jsou umístěné jemné česle a ještě před nimi jsou umístěné tabulové uzávěry. V tomto místě je osazena hladinová sonda. Na tuto kašnu se napojují dvě vrtulové turbíny a jedna Francisova turbína, s mokrým kolem o průměru oběžného kola 0,55 m. Od roku 2015 je místo vrtulových turbín naistalována Kaplanova turbína. Nad těmito turbínami jsou umístěny převodovky a asynchronní generátory, viz obr. 3.2.



Obr. 3.5 Fotografie budovy elektrárny

3.6 POPIS ODPDNÍHO KANÁLU ELEKTRÁRNY

Poslední část elektrárny je odpadní kanál se stabilizačním prahem. V této části se nachází konce savek, které jsou napojené na turbíny. V podstatě bychom mohli říci, že je to vybudované dno vývaru, které se napojuje zpět do koryta. Aby v tomto místě nedocházelo k vymílání dna, slouží k tomu právě stabilizační práh. Který tvoří železobetonové sloupky délky 12,0, výšku 0,4 m a délku 8,5 m. Dno pod prahem je opevněno kamenným záhozem.



Obr. 3.6 Fotografie odpadního kanálu

3.7 TECHNOLOGIE ELEKTRÁRNY

Maximální průtočná kapacita celé elektrárny je 1,6 m³/s. MVE je vybavena třemi typy turbín. Přítok do turbín je zajištěn derivačním kanálem viz Obr 3.1. Provoz této MVE byl započat v roce 1996. Základní parametry jednotlivých turbín jsou shrnuty v Tab. 3.1.

Tab. 3.1 Základní parametry turbín

Označení	Typ	Průměr oběžného kola [mm]	Max průtok [m ³ /s]	Výkon [kW]
T1 - Francis	F500	550	0.38	6.5
T2 – Vrtule	T600	600	0.90	16
T3 – Vrtule	T350	425	0.32	11

T1 se skládá z víka turbíny, turbínové hřídele, oběžného kola, tělesa turbíny, savky, ložisek, brzdy, asynchronního generátoru. T2 a T3 se skládají z hřídelového pouzdra, hřídele turbíny, spojky a ložisek. Ve všech případech jsou generátory připojeny k turbínám řemenem a ložiska jsou mazána maznicemi.

4 DATA

4.1 ZÍSKANÁ DATA OD MAJITELE MVE

Jednotlivá data o MVE jsem získal v podobě poznámek zapsaných do sešitu. Které majitel MVE zapisoval při neobvyklé události (poruše). Tato data jsem zapsal do tabulky, která je uvedena níže.

Tab. 4.1 Tabulka s daty o poruchách

Rok	Měsíc	Den	Porucha	Doba opravy [dny]
1996			Zahájení provozu	
1997			Zatopení MVE	
1998	Leden	8	Výměna gufera na T.3	
	Duben	4	Výměna ložiska na T.3	
1999	Březen	12	T2	
	Květen	22	Výměna gufera na T.2	
2000	Březen	3	Výměna ložiska na T.3	
	Červenec	7	Výměna ložiska na T.3	
	Září	9	Výměna ložiska na gen. T.3	
2001	Únor	5	Oprava hrabačky	
	Březen	3	Výměna snímače otáček na T.2	
	Srpen	8	T.2	
2002	Únor	2	Výměna gufera T3	7
	Srpen	8	Výměna hladinové sondy	1
	Září	9	Rozšíření nátoku na T.1	
2003				
2004	Březen	3	Výměna ložisek T.3	
	Září	9	Úprava regulace lopatek T.1	
2005	Leden	1	Výměna ložiska T2	
	Březen	3	T.3	
2006				
2007	Duben	13	Výměna hladinové sondy	
2008				
2009	Březen	3	Havárie hřídele na T.1	365
2010	Květen	22	Porucha T.2	150
2011	Červen	3	Výměna řetězu na hrabačce	
2012	Leden	1	Porucha hřídele T.2	90
	Červen	6	Výměna ložisek T.3	
	Září	9	Výměna ložisek na generátoru T2	
	Říjen	26	oprava hřídele na generátor T1	
2013	Srpen	8	Porucha hrabačky	
	Září	9	Výměna hladinové sondy	
2014	Únor	2	Oprava spojky T.1	
	Červen	6	Přestavba a výměna T.2	
	Listopad	11	Výměna hladinové sondy	
	Listopad	11	Výměna ložisek T.3	

4.2 PRÁCE S DATY – VYTVOŘENÍ TABULKY S UKAZATELY

Základní část práce byla doplnit informace ohledně doby, kdy se porucha vyskytla a jak dlouho trvala odstávka. Po použití veškerých získaných dat, se však stále nedařilo dosáhnout kýženého výsledku. Proto bylo využito matematických postupů pro doplnění získaných dat. Případně kde nebylo možné vycházet z informací uvedených v tabulce, bylo použito vlastních zkušeností. Například „jak dlouho mi trvá, než vyměním ložisko na hřídeli“.

Následně byly poruchy na soustrojí rozděleny pro jednotlivé turbíny. A také na poruchy nesouvisejícími s poruchami turbín. Tyto poruchy se musely klasifikovat, jinak by se s těmito daty dále pracovalo jen velmi obtížně. Proto byl vytvořen systém dvou ukazatelů, který umožňoval kvalitativně i kvantitativně určit druh poruchy a zařadit do skupiny. Oba tato ukazatele jsou tříступňové a k poruše jsou přiřazeny číslicemi od jedné do tří.

Jeden ukazatel zatřídí poruchy dle jejich náročnosti na opravu, tj. jak velké úsilí musíme vynaložit na opravu dané poruchy.

Přiřazení čísla 1 k dané poruše znamená, že porucha není vážná a oprava, nebo výměna není nijak zvlášť komplikovaná.

Přiřazení čísla 2 k dané poruše znamená, že porucha je závažnější a je potřeba k odstranění této poruchy jistá míra znalostí a zkušeností.

Přiřazení čísla 3 k dané poruše znamená, že porucha je natolik vážná, že k odstranění této poruchy je zapotřebí povolání odborníků. Není možné opravit danou část soustrojí svépomocí.

Druhý ukazatel zatřídí poruchy dle časového rozmezí, ve kterém je možné danou poruchu opravit, tj. za kolik dní je možné opravit poruchu a uvést turbínu, nebo celé soustrojí opět do provozu.

Přiřazení čísla 1 k dané poruše znamená, že poruchu lze opravit do 10-ti dní včetně uvedení turbíny, nebo celého soustrojí do provozu.

Přiřazení čísla 2 k dané poruše znamená, že poruchu lze opravit do 60-ti dnů včetně uvedení turbíny, nebo celého soustrojí do provozu.

Přiřazení čísla 3 k dané poruše znamená, že oprava a uvedení turbíny, nebo celého soustrojí, opět do provozu trvá déle než 60 dní, na základě konzultace s provozovatelem byla reprezentativní doba trvání poruchy zvolena 90 dní.

4.3 ZÍSKANÁ DATA DOPLNĚNA O UKAZATELE

Jednotlivá data jsem doplnil o ukazatele náročnosti na opravu a ukazatel dle časového rozmezí, ve kterém je možné danou poruchu opravit (časové období).

Tab. 4.2 Tabulka s daty o poruchách doplněna o ukazatele

Rok	Měsíc	Den	Porucha	Doba opravy [dny]	Poznámka	Náročnost na opravu	Časová náročnost
1996			Zahájení provozu				
1997			Zatopení MVE		Elektrárna byla zatopena povodní až do výšky rozvodné skříně, některé části se musely vyměnit, některé opravit a celkově se musela MVE vysušit		
1998	Leden	8	Výměna gufera na T.3		T.3	1	2
	Duben	4	Výměna ložiska na T.3		T.3	2	2
1999	Březen	12	T2		T.2	1	2
	Květen	22	Výměna gufera na T.2		T.2	1	1
2000	Březen	3	Výměna ložiska na T.3		T.3	2	2
	Červenec	7	Výměna ložiska na T.3		T.3	2	2
	Září	9	Výměna ložiska na gen. T.3		T.3	2	2
2001	Únor	5	Oprava hrabačky		mimo soustrojí	1	2
	Březen	3	Výměna snímače otáček na T.2		T.2	2	1
	Srpen	8	T.2		T.2	3	2
2002	Únor	2	Výměna gufera T3	7	T.3	1	1
	Srpen	8	Výměna hladinové sondy	1	mimo soustrojí	1	2
	Září	9	Rozšíření nátoky na T.1		mimo soustrojí	3	2
2003							
2004	Březen	3	Výměna ložisek T.3		T.3	2	2
	Září	9	Úprava regulace lopatek T.1		T.1	3	3
2005	Leden	1	Výměna ložiska T2		T.2	2	2
	Březen	3	T.3		T.3	2	2
2006							
2007	Duben	13	Výměna hladinové sondy		mimo soustrojí	1	1
2008							
2009	Březen	3	Havárie hřídele na T.1	365	T.1	3	3
2010	Květen	22	Porucha T.2	150	T.2	3	3
2011	Červen	3	Výměna řetězu na hrabačce		mimo soustrojí	2	2
2012	Leden	1	Porucha hřídele T.2	90	T.2	3	3
	Červen	6	Výměna ložisek T.3		T.3	2	2
	Září	9	Výměna ložisek na generátoru T2		T.2	2	2
	Říjen	26	oprava hřídele na generátor T1		T.1	3	3
2013	Srpen	8	Porucha hrabačky		mimo soustrojí	2	2
	Září	9	Výměna hladinové sondy		mimo soustrojí	1	2
2014	Únor	2	Oprava spojky T.1		T.1	3	3
	Červen	6	Přestavba a výměna T.2		T.2	3	3
	Listopad	11	Výměna hladinové sondy		mimo soustrojí	1	1
	Listopad	11	Výměna ložisek T.3		T.3	2	2

4.4 VÝPOČTOVÁ ČÁST

Dále jsem již data roztřídil a zadal do rovnic uvedených v kapitole 2. TEORETICKÁ ČÁST. Výpočtová část byla provedena v programu excel, a taktéž jsem v tomto programu vytvořil i grafy a tabulky, které jsou výsledkem celé mé práce.

5 VYHODNOCENÍ

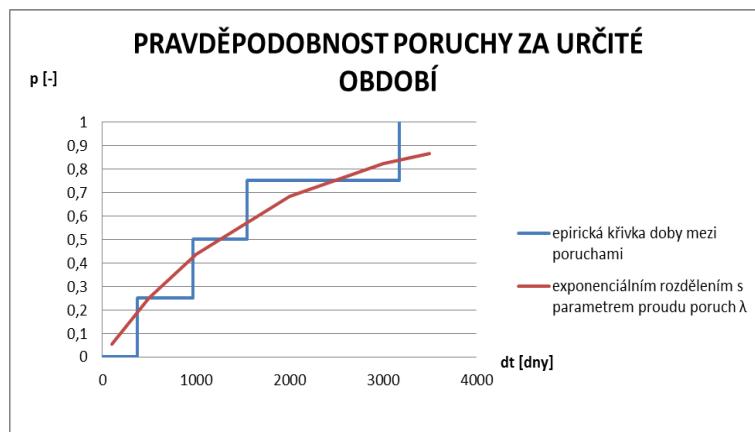
5.1 VYHODNOCENÍ TURBÍNY T1

Turbína T1 je Francisova turbína, která vykazuje tyto vlastnosti:

Tab. 5.1 vlastnosti turbíny T1

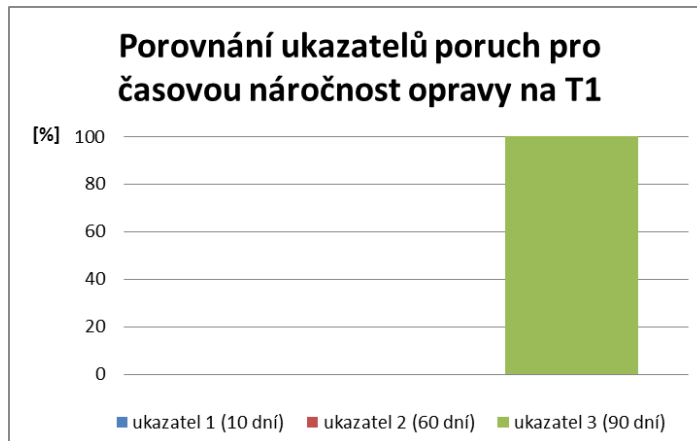
Indikátor	Jednotka	T1 - Francis
Minimální soustavná doba provozu	Den	374
Maximální soustavná doba provozu	Den	3174
Minimální doba odstávky	Den	90
Maximální doba odstávky	Den	365
<i>Střední doba použitelného stavu</i>	Den	1645
<i>Střední doba nepoužitelného stavu</i>	Den	90
<i>Parametr proudu poruch</i>	rok ⁻¹	0,222
<i>Asymptotická pohotovost</i>	rok	0,921
$K_{(0,95)}$	rok	8,027

Z grafu na obrázku 5.1 je možné určit, za jakou dobu lze očekávat poruchu s určitou pravděpodobností na turbíně T1.



Obr. 5.1 graf pravděpodobnosti poruchy za určité období na T1

Graf na obrázku 5.2 znázorňuje, jaké poruchy se na této turbíně vyskytovaly s ohledem na časovou náročnost opravy.



Obr. 5.2 sloupcový graf porovnávající ukazatele poruch pro časovou náročnost opravy T1

Z výsledků uvedených z grafu na obrázku 5.2 lze konstatovat, že soustrojí turbíny je konstruováno tak, že eliminuje výskyt časově méně náročné poruchy a pokud se na tomto soustrojí objeví porucha, je potřeba sjednat si odbornou pomoc k opravení této poruchy. S pravděpodobností 95% lze očekávat výskyt poruchy za 2930 dnů, lze tedy předpokládat, že se porucha na tomto soustrojí vyskytne nejpozději do 8,027 let.

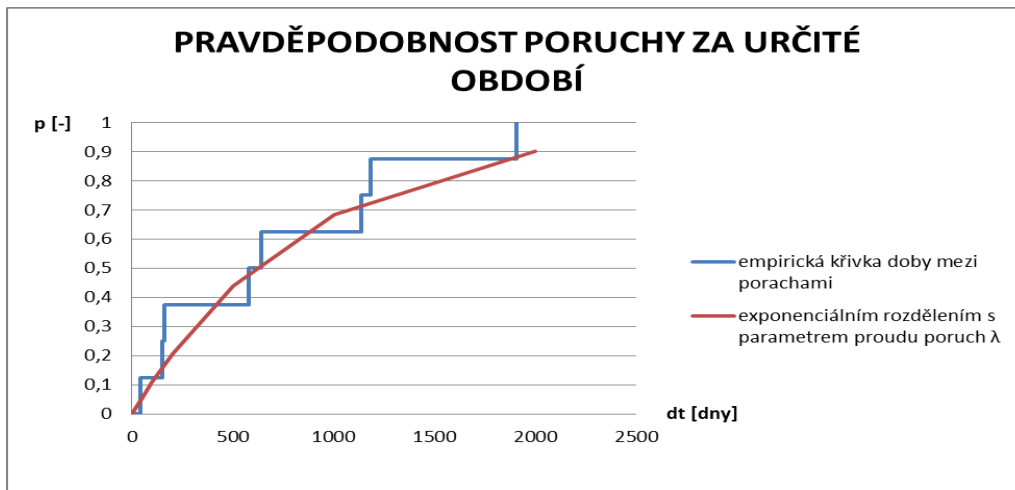
5.2 VYHODNOCENÍ TURBÍNY T2

Turbína T2 je turbína, která vykazuje tyto vlastnosti:

Tab. 5.2 vlastnosti turbíny T2

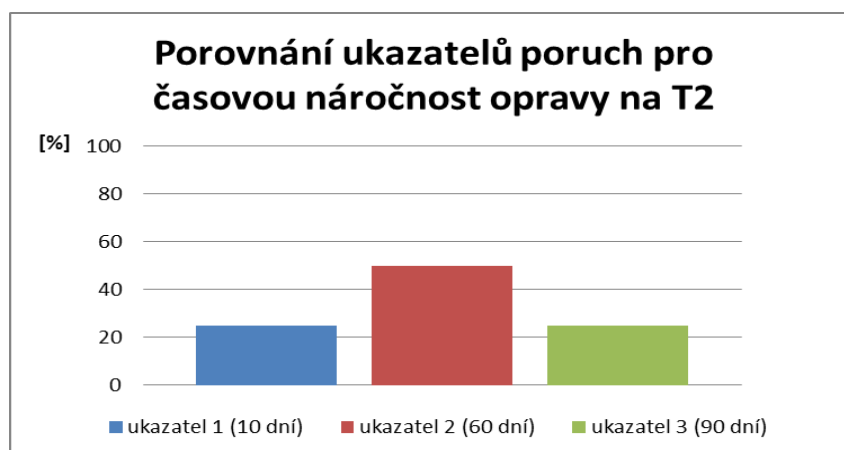
Indikátor	Jednotka	T2 – Vrtule
Minimální soustavná doba provozu	Den	39
Maximální soustavná doba provozu	Den	1907
Minimální doba odstávky	Den	9
Maximální doba odstávky	Den	90
<i>Střední doba použitelného stavu</i>	Den	801,25
<i>Střední doba nepoužitelného stavu</i>	Den	66,3
<i>Parametr proudu poruch</i>	rok ⁻¹	0,456
<i>Asymptotická pohotovost</i>	rok	0,924
<i>K_(0,95)</i>	rok	4,529

Z grafu na obrázku 5.3 je možné určit pravděpodobnost, s jakou nastane porucha za námi zvolené období na turbíně T2.



Obr. 5.3 graf pravděpodobnosti poruchy za určité období na T2

Graf na obrázku 5.4 znázorňuje, jaké poruchy se na této turbíně vyskytovaly s ohledem na časovou náročnost opravy.



Obr. 5.4 sloupcový graf porovnávající ukazatele poruch pro časovou náročnost opravy T2

Z výsledků uvedených z grafu na obrázku 5.4 lze konstatovat, že soustrojí turbíny T2 lze poruchu v častém případě opravit svépomocí, nejčastěji však jde o poruchu se střední časovou náročností na opravu. S pravděpodobností 95% lze očekávat výskytu poruchy za 1653 dnů, lze tedy předpokládat, že se porucha na tomto soustrojí vyskytne nejpozději do 4,529 let.

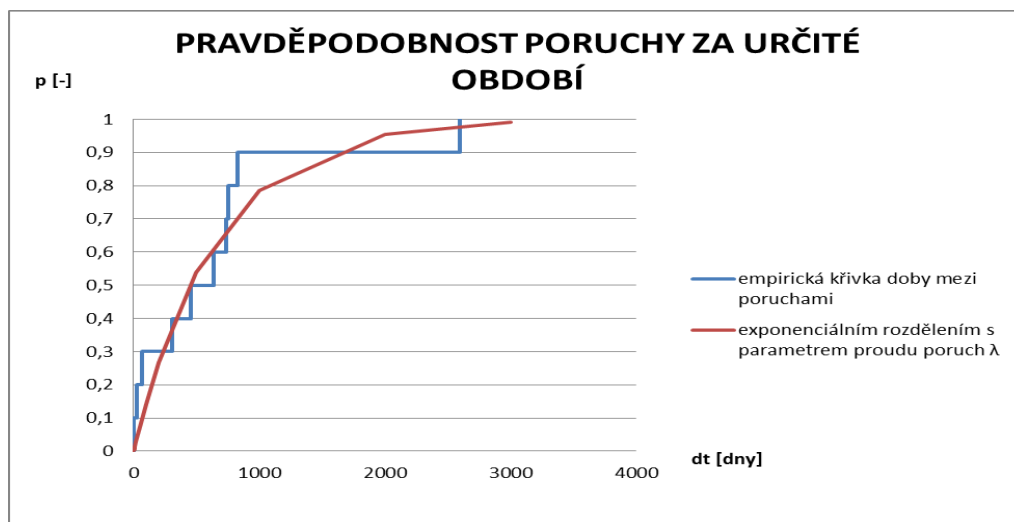
5.3 VYHODNOCENÍ TURBÍNY T3

Turbína T3 je turbína, která vykazuje tyto vlastnosti:

Tab. 5.3 vlastnosti turbíny T3

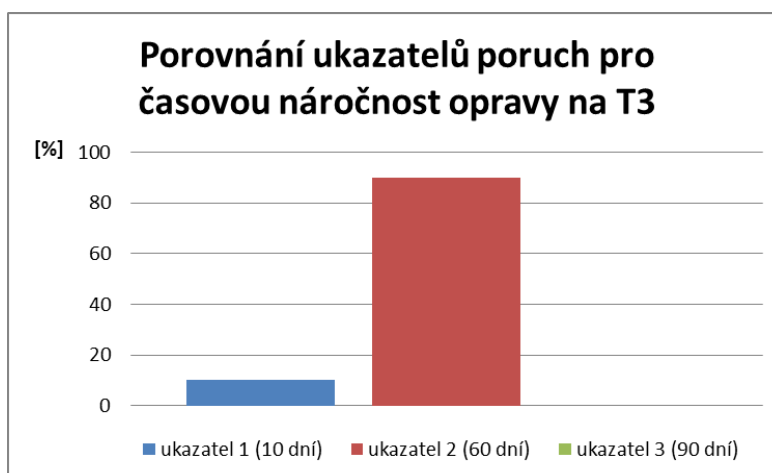
Indikátor	Jednotka	T3 – Vrtule
Minimální soustavná doba provozu	Den	4
Maximální soustavná doba provozu	Den	2592
Minimální doba odstávky	Den	10
Maximální doba odstávky	Den	60
<i>Střední doba použitelného stavu</i>	Den	639
<i>Střední doba nepoužitelného stavu</i>	Den	55,0
<i>Parametr proudu poruch</i>	rok ⁻¹	0,571
<i>Asymptotická pohotovost</i>	rok	0,948
$K_{(0,95)}$	rok	4,927

Z grafu na obrázku 5.5 je možné určit pravděpodobnost, s jakou nastane porucha za námi zvolené období na turbíně T3.



Obr. 5.5 graf pravděpodobnosti poruchy za určité období na T3

Graf na obrázku 5.6 znázorňuje, jaké poruchy se na této turbíně vyskytovaly s ohledem na časovou náročnost opravy.



Obr. 5.6 Sloupcový graf porovnávající ukazatele poruch pro časovou náročnost opravy T3

Z výsledků uvedených z grafu na obrázku 5.6 lze konstatovat, že soustrojí turbíny T3 lze poruchu opravit svépomocí, výhradně jde o poruchu se střední časovou náročností na opravu. S pravděpodobností 95 % lze očekávat výskytu poruchy do 1798 dnů, lze tedy předpokládat, že se porucha na tomto soustrojí vyskytne nejpozději do 4,927 let.

5.4 SROVNÁNÍ SOUSTROJÍ

V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty, jež charakterizují jednotlivé soustrojí turbín.

Tab. 5.4 porovnání turbín T.1, T.2, T.3

Indikátor	Jednotka	T1 - Francis	T2 – Vrtule	T3 – Vrtule
Minimální soustavná doba provozu	Den	374	39	4
Maximální soustavná doba provozu	Den	3174	1907	2592
Minimální doba odstávky	Den	90	9	10
Maximální doba odstávky	Den	365	90	60
Střední doba použitelného stavu	Den	1645,0	801,25	639
Střední doba nepoužitelného stavu	Den	90	66,3	55
Parametr proudu poruch	rok ⁻¹	0,222	0,456	0,571
Asymptotická pohotovost	rok	0,921	0,924	0,948
$K_{(0,95)}$	rok	8,027	4,529	4,927

Z tabulky uvedené výše lze vyvodit následující:

- Soustrojí na turbíně T.1 je celkem spolehlivé a vydří průměrně pracovat bezmála 5 let bez poruchy
- Soustrojí na turbíně T.2 a T.3 jsou svojí spolehlivostí poměrně dost podobné, jelikož oboje soustrojí dokáží bez poruchy průměrně pracovat okolo 2 let

Lze tedy usoudit že soustrojí turbíny T.1 (Francisova turbína) je zhruba 2.5x spolehlivější než další dně soustrojí T.2 a T.3 (vrtulové turbíny). A z provozního hlediska by bylo výhodnější vybudovat MVE raději ze dvou Francisových turbín.

Doporučení pro údržbu každé turbíny by bylo, že soustrojí turbíny T.3 je potřeba každý rok a půl odstavit a provést kontrolu jednotlivých částí, pro jistotu vyměnit ložiska na tomto soustrojí. Dále to samé je potřeba provést na soustrojí turbíny T.2, avšak období se může protáhnout na 2 roky. Poslední ze soustrojí T.1 je potřeba odstavit zhruba každých 5 let a provést údržbu.

5.5 VYHODNOCENÍ PORUCH MIMO SOUSTROJÍ

Další poruchy, které se na elektrárně vyskytly, a nejsou to poruchy na soustrojí, jsem zpočátku chtěl zahrnout také do výpočtové části, ale po konzultaci s majitelem elektrárny jsem zjistil, že během těchto poruch nebylo potřeba odstavit provoz elektrárny. Jedná se především o výměnu hladinové sondy, která se vyzkratovala při větší bouři v dané lokalitě. Tato sonda byla následně vyměněna za plovák hlídající hladinu. Další poruchou nesouvisející se soustrojím byla oprava řetězu hrabačky, nebo oprava samotné hrabačky. Bylo mi řečeno, že je to nejslabší část na elektrárně, která potřebuje častější údržbu.

Také jsem mezi poruchu uvedl rozšíření koryta na T.1. Nejedná se o klasickou poruchu, ale nebylo potřeba odstavit provoz elektrárny, proto jsem ji neuváděl jako poruchu na soustrojí.

6 ZÁVĚR

V této práci je popsána malá vodní elektrárna a několik statistických údajů o její funkčnosti a provozní spolehlivosti. Defakto se jedná o rozložení zařízení pro výrobu elektrické energie na jednotlivé části a na těchto částech sledování poruch během určitého časového období. V tomto případě se jedná o období od spuštění provozu až do odstavení kvůli výměně turbín. Během provozu této MVE se vyskytlo několik poruch, které byly zapsány. Bohužel však některé informace zapsány nebyly, jelikož majitel nepovažoval za důležité vše zapisovat. Chybějící informace byly tedy na základě zkušeností majitele a provozovatele odhadnuty a doplněny, což mírně snižuje přesnost dosažených výsledků. Stále se však jedná o velmi zajímavá data, se kterými lze dále pracovat, ať už pro provozní účely, nebo při stanovení rentability elektrárny.

Z provozního hlediska si lze naplánovat kontrolu elektrárny, tak aby tato kontrola zjistila co možná nejvíce potenciálních poruch. Dále se může nastavit údržba elektrárny, aby se předešlo co nejvíce možným dlouhodobým odstávkám. Jelikož v roce 2015 došlo k rozsáhlým změnám v technologii a byla turbína T2 a T3 odstraněna, a byly nahrazeny novou kaplanovou turbínou. Jsou možné výsledky z této práce použít pouze na turbínu T1.

Zajímavé by bylo zhodnotit MVE ve směru ekonomickém, jakožto její rentabilitu, jaká je finanční ztráta při odstávce, nebo kolik „stojí“ jeden den odstavení elektrárny. Bohužel jsem však nezískal data pro toto vyhodnocení. A jelikož si vlastník pořídil elektrárnu z vlastních zdrojů a výstavbu i provoz provedl svépomocí. Konkrétní informace o nákladech na provoz a údržbu elektrárny tudíž nebyly k dispozici.

Na základě vyhodnocení spolehlivosti soustrojí lze zpřesnit výpočet ekonomické efektivnosti MVE zpřesněním doby provozu a odstávky strojů a zohledněním nákladů na údržbu.

Čím by však mohla být tato práce prospěšná je myšlenka na štítek životnosti výrobku. Tímto štítkem by měl spotřebitel možnost pořídit takový produkt, který vyhovuje jeho potřebám. Navíc by se tímto dost možná změnil i konzumní život společnosti a omezilo se nahlížet na spotřebiče jako na spotřební zboží.

7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] DRÁB, A.; ŘÍHA, J.; ŠPANO, M. Analýza provozní spolehlivosti malých vodních elektráren. Energetika, 2015, roč. 65, č. 6/ 2015, s. 340-344. ISSN: 0375- 8842.
- [2] DRÁB, A.; ŘÍHA, J.; ŠPANO, M. Evaluation of the maintenance and operational dependability of small hydropower plant, International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 6, Issue 12 December 2016 484 ISSN: 2250-3153.
- [3] ČSN EN 61703 Matematické výrazy pro ukazatele bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a zajištění údržby, ÚNMZ, 2019
- [4] van der Vaart, A., 2000. Asymptotic Statistics. Cambridge Series in Statistical and Probabilistic Mathematics. Cambridge University Press.

8 SYMBOLIKA

MUT	[den]	střední doba použitelného stavu
MDT	[den]	střední doba nepoužitelného stavu
D_j	[den]	doba j -té opravy soustrojí
N_t	[-]	počet poruch během daného období pozorování
T	[den]	doba mezi dvěma po sobě následujícími poruchami
T_i	[den]	doba mezi jednotlivými zaznamenanými poruchami, tj. doba i -tého bezporuchového období
λ	[1/den]	parametr proudu poruch
A	[-]	součinitel asymptotické pohotovosti

SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1 Základní parametry turbín	10
Tab. 4.1 Tabulka s daty o poruchách.....	11
Tab. 4.2 Tabulka s daty o poruchách doplněna o ukazatele	13
Tab. 5.1 vlastnosti turbíny T1	14
Tab. 5.2 Sloupcový graf porovnávající ukazatele poruch pro časovou náročnost opravy T1 .	15
Tab. 5.3 Vlastnosti turbíny T3	17
Tab. 5.4 Porovnání turbín T.1, T.2, T.3.....	18

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3.1 Scan technické dokumentace – Situační výkres.....	6
Obr. 3.2 Scan technické dokumentace – Řez elektrárnou	7
Obr. 3.3 Fotografie jezu.....	7
Obr. 3.4 Fotografie vtokového objektu	8
Obr. 3.5 Fotografie budovy elektrárny	9
Obr. 3.6 Fotografie odpadního kanálu.....	10
Obr. 5.1 graf pravděpodobnosti poruchy za určité období na T1	14
Obr. 5.2 sloupcový graf porovnávající ukazatele poruch pro časovou náročnost opravy T1..	15
Obr. 5.3 graf pravděpodobnosti poruchy za určité období na T2	16
Obr. 5.4 sloupcový graf porovnávající ukazatele poruch pro časovou náročnost opravy T2..	16
Obr. 5.5 graf pravděpodobnosti poruchy za určité období na T3	17
Obr. 5.6 sloupcový graf porovnávající ukazatele poruch pro časovou náročnost opravy T3..	18

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

MVE ...malá vodní elektrárna

T.1 ...turbína 1. (Francisova turbína)

T.2 ...turbína 2. (Vrtulová turbína)

T.3 ...turbína 3. (Vrtulová turbína)

SUMMARY

This study is written about evaluation of small hydropower plant. For example I was selected a small hydropower plants near to my home. This building was built in 1996. In the same year it started flow. This small hydropower plant can be divided on individually sections. The main section of small hydropower plants is set of turbines. In this small hydropower plant are three set of turbines. One of them is Francis turbain and the other two are propeller turbines. And I watch failure on these set of turbines.

First part of study is about description individually sections of small hydropower plant. It start from weir and than continue above millrace where is also built water lock. Continue above built of small hydropower plant. Where are (uloženy) alone turbines and all of set for a generation of electricity. And than water passing through all this device finish in waste channel and continue in the river.

Second part of study is about theoretical part. Where I write about formulas and variables. This part continues on third part adn it is wokt with data. I gained data from a man which is owner and also operator of this small hydropower plant. A data was incomplete and than I had to create somethink what could help. Than I created two indicators. One is for evaluation how long does it take to repair the failure. Second indicator is about how is failure erious. Than I create a table and from this table I used data for calculations.

Fourth part of study is about evaluation reliability of set of turbines. The result was create grafs and table individual set of turbines and from these grafs and table evaluation every individual set of turbines and also together.

Last one part of study is thinking how and where I could use these information beyond small hydropower plant. And I thought use it for label which shows reliability of product.