



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGY INSTITUTE

TEPLÁRNA NA BIOMASU

BIOMASS HEATING POWER PLANT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. VOJTĚCH HRUBÝ

VEDOUČÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Doc. Ing. JAN FIEDLER, Dr

ABSTRAKT

Obsahem práce je zpracovat podklady spotřeby tepla v obci Velký Karlov a za stávající centrální výtopnu navrhnout teplárnu na biomasu. Pomocí technicko-ekonomického vyhodnocení ročního provozu teplárny zhodnotit vhodnost použití parní turbíny nebo parního stroje. Návrh parní turbíny je volen pomocí předběžného výpočtu. V práci jsou uvedeny možné případy provozů a jejich vyhodnocení pomocí doby návratnosti.

Klíčová slova: teplárna, parní turbína, parní stroj, biomasa

ABSTRACT

The content of this dissertation is to utilize foundations of heat consumption in Velký Karlov and to propose and replace the main district heating plant into the heating plant which uses biomass as its fuel. With techno-economic evaluation of the annual operating central heating plant evaluate the suitability of using a steam turbine or steam engine. The proposal for a steam turbine is chosen by the preliminary calculation. There are showed suitable possibilities of working and its evaluation considered to return period.

Key words: heating plant, steam turbine, steam engine, biomass

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HRUBÝ, V. *Teplárna na biomasu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 58s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma Teplárna na biomasu, vypracoval samostatně a bez cizí pomoci. Vycházel jsem při tom ze svých znalostí, odborných konzultací a doporučené literatury uvedené v seznamu.

.....

podpis diplomanta

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce panu Doc. Ing. Janu Fiedlerovi, Dr za velmi cenné rady a ochotnou spolupráci. Také bych chtěl poděkovat všem, kteří mi věnovali svůj čas.

Vojtěch Hrubý

OBSAH

1. ÚVOD.....	8
2. REALIZACE A POPIS PŮVODNÍHO CENTRÁLNÍHO TEPELNÉHO ZDROJE VELKÝ KARLOV ..	9
2.1 OBEC VELKÝ KARLOV	9
2.2 ROZHODNUTÍ A PŘÍPRAVA STAVBY	9
2.3 REALIZACE STAVBY A JEJÍ TECHNICKÉ PARAMETRY	10
2.4 VÝTOPNA DNES.....	12
3. ZPRACOVÁNÍ ZÍSKANÝCH DAT OD PROVOZOVATELE.....	12
3.1 PŘEPOČET TEPELNÉ ENERGIE NA VÝKON.....	12
3.2 PŘEPOČTENÉ HODNOTY Z TEPELNÉ ENERGIE NA PRŮMĚRNÝ VÝKON V DANÉM DNI ZA ROK 2006	13
3.3 PŘEPOČTENÉ HODNOTY Z TEPELNÉ ENERGIE NA PRŮMĚRNÝ VÝKON V DANÉM DNI ZA ROK 2007	14
3.4 ROČNÍ DIAGRAM SPOTŘEBY TEPLA	15
3.5 ÚVAHA NAD ROČNÍM DIAGRAMEM SPOTŘEBY TEPLA A POSOUZENÍ VELIKOSTI ZDROJE	15
3.5.1 Množství odběratelů a jejich nárůst	15
3.5.2 Posouzení velikosti zdroje	15
3.5.3 Návrh na inovaci kotelny.....	16
3.5.4 Postup řešení výpočtu pro návrh turbíny	16
4.TEPELNÁ SCHÉMATA TEPLÁRNY	17
4.1 TEPELNÉ SCHÉMA TEPLÁRNY S POUŽITÍM PARNÍ TURBÍNY	17
4.2 TEPELNÉ SCHÉMA TEPLÁRNY S POUŽITÍM PARNÍHO STROJE	18
5. PŘEDBĚŽNÝ VÝPOČET TURBÍN.....	19
5.1 PŘEDBĚŽNÝ VÝPOČET TURBÍN S NIŽŠÍMI PARAMETRY KOTLE	19
5.1.1 Vstupní hodnoty pro výpočet	19
5.1.2 Předběžný výpočet.....	19
5.1.2.1 Určení stavů páry pro předběžný výpočet.....	19
5.1.2.2 Určení rychlostního poměru a středního průměru lopatkování	20
5.1.2.3 Výpočet délky lopatky	21
5.1.2.4 Výpočet účinností a výkonů.....	22
5.2 PŘEDBĚŽNÝ VÝPOČET TURBÍN S VYŠŠÍMI PARAMETRY KOTLE	24
5.2.1 Vstupní hodnoty pro výpočet	24
5.2.2 Předběžný výpočet.....	24
5.2.2.1 Určení stavů páry pro předběžný výpočet.....	24
5.2.2.2 Určení rychlostního poměru a středního průměru lopatkování	25
5.2.2.3 Výpočet délky lopatky	26
5.2.2.4 Výpočet účinností a výkonů.....	27
6. VÝPOČET VÝKONU KOTLE A MNOŽSTVÍ PALIVA	29
6.1 VÝKON KOTLE	29
6.1.1 Stav páry na vstupu a výstupu z kotle.....	29
6.1.2 Výpočet výkonu kotle.....	29
6.2 PŘÍKLAD VÝPOČTU TEPELNÉHO VÝKONU V PALIVU A JEHO MNOŽSTVÍ	30
7. SOUHRN VŠECH VYPOČTENÝCH HODNOT TURBÍN A TEPELNÝCH VÝKONŮ KOTLŮ	31
8. PARNÍ STROJ.....	32
8.1 ZÍSKANÁ DATA A INFORMACE O PARNÍM STROJI.....	32
8.2 ZPRACOVÁNÍ DAT A INFORMACÍ NA NAŠE VYPOČTENÉ HODNOTY	32
8.3 SOUHRN VŠECH VYPOČTENÝCH HODNOT PARNÍHO STROJE A TEPELNÝCH VÝKONŮ KOTLŮ.....	33
9. TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ ROČNÍHO PROVOZU TEPLÁRNY	33
9.1 TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ ROČNÍHO PROVOZU S POUŽITÍM TURBÍNY	33
9.1.1 Popis potřebných hodnot pro výpočet.....	33
9.1.2 Varianta (1), potřebné hodnoty pro názorný výpočet technicko-ekonomického vyhodnocení s instalací turbíny.....	35

9.1.3	Názorný výpočet technicko-ekonomického vyhodnocení s instalací turbíny o svorkovém výkonu 36 kW	35
9.1.4	Vypočítané doby návratnosti tepelné soustavy s instalací turbín.....	38
9.1.5	Celkové účinnosti teplárny s použitím turbíny	38
9.2	TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ ROČNÍHO PROVOZU S POUŽITÍM PARNÍHO STROJE.....	39
9.2.1	Varianta (1), potřebné hodnoty pro názorný výpočet technicko-ekonomického vyhodnocení s instalací parního stroje.....	39
9.2.2	Názorný výpočet technicko-ekonomického vyhodnocení s instalací parního stroje o svorkovém výkonu 37,9 kW.....	39
9.2.3	Vypočítané doby návratnosti tepelné soustavy s instalací parního stroje.....	42
9.3	ZVÁŽENÍ A ZKOUŠKA MOŽNÝCH VARIANT ROČNÍHO PROVOZU TEPELNÉ SOUSTAVY S TECHNICKO EKONOMICKÝM VYHODNOCENÍ - TURBÍNA	42
9.3.1	Varianta (2), provozování teplárny po celý rok (8760 hodin)	42
9.3.2	Varianta číslo (3), možnost vlastního paliva či jeho získávání s min. náklady + provozování teplárny po celý rok (palivo 0 Kč + provoz 8760hod)	43
9.3.3	Varianta (4), možnost vlastního paliva či jeho získávání s min. náklady + provozování teplárny pouze v potřebu odběratelů tepla (palivo 0 Kč + provoz 6500hod).....	44
9.3.4	Varianta (5), navýšení ceny za prodávané teplo o 20Kč/GJ (320Kč/GJ)	46
9.4	ZVÁŽENÍ A ZKOUŠKA MOŽNÝCH VARIANT ROČNÍHO PROVOZU TEPELNÉ SOUSTAVY S TECHNICKO EKONOMICKÝM VYHODNOCENÍ – PARNÍ STROJ	47
9.4.1	Varianta (2), provozování teplárny po celý rok (8760 hodin)	47
9.4.2	Varianta číslo (3), možnost vlastního paliva či jeho získávání s min. náklady + provozování teplárny po celý rok (palivo 0 Kč + provoz 8760hod)	48
9.4.3	Varianta (4), možnost vlastního paliva či jeho získávání s min. náklady + provozování teplárny pouze v potřebu odběratelů tepla (palivo 0 Kč + provoz 6500hod).....	49
9.4.4	Varianta (5), navýšení ceny za prodávané teplo o 20Kč/GJ (320Kč/GJ)	50
9.5	POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ DOBY NÁVRATNOSTI PARNÍHO STROJE S DOBOU NÁVRATNOSTI TURBÍNY	51
9.5.1	Porovnání dob návratnosti variant 1 - 5 – parní stroj.....	51
9.5.2	Porovnání dob návratnosti variant 1- 5 – turbína	52
10.	ZÁVĚREČNÉ ŘEŠENÍ TEPLÁRNY NA BIOMASU VE VELKÉM KARLOVĚ	53
11.	ZÁVĚR	55

1. ÚVOD

Biomasa a její zpracování na využitelnou energii je díky šetrnému dopadu na životní prostředí stále více žádaná. Je energetický zdroj, který přispívá ke zvyšování podílu obnovitelných zdrojů na celkové spotřebě energie. Z důvodu postupného nahrazování výkonů obnovitelnými zdroji bylo vybudováno několik centrálních výtopen a to i pro menší obce. Vzhledem k výkupní ceně vyrobené elektrické energie z obnovitelných zdrojů a dotacím z EU je třeba zvážit možnost její výroby i v takto malých výtopnách, kde parametry nedosahují vysokých hodnot.

Tato diplomová práce se zabývá právě touto problematikou, a to konkrétně ve výtopně obce Velký Karlov.

Záměrem práce je zpracovat podklady spotřeby tepla v dané lokalitě a navrhnout výkonové parametry teplárny na biomasu. Navrhnout tepelné schéma pro parní turbínu a parní stroj s určením jmenovitých parametrů a provést technicko-ekonomické vyhodnocení ročního provozu teplárny.

Parametry turbín je třeba získat jejich předběžným výpočtem, ale parametry a informace o parním stroji je nutno získat od studenta stejného ročníku, který se zabývá výpočtem parního stroje také formou diplomové práce.

Poslední bodem práce je provést vyhodnocení výkonové hranice výhodnosti použití turbíny a parního stroje.

2. REALIZACE A POPIS PŮVODNÍHO CENTRÁLNÍHO TEPELNÉHO ZDROJE VELKÝ KARLOV



Obr.2 Pohled na obec Velký Karlov

2.1 Obec Velký Karlov

Obec Velký Karlov leží v jihovýchodní části okresu Znojmo, asi 10 km západně od okraje Hrušovan nad Jevišovkou a cca 28 km východně od okresního města Znojma. Stávající počet obyvatel je 432 a počet rodinných domků 124. Současná rozloha katastru je 1349 ha s průměrnými ročními teplotami okolo 9⁰C a průměrným ročním úhrnem ročních srážek cca 500 mm.

Většina potřeby tepla pro rodinné domy i objekty obce byla zajišťována lokálním či etážovým vytápěním, kde palivem bylo hnědé uhlí. Jen malá část domků (cca 5) využívala k vytápění elektrickou energii. Proto obecní zastupitelstvo na základě připomínek občanů zvažovalo vhodný způsob zásobování občanů teplem.

V lednu roku 1999 proběhl na Okresním úřadě ve Znojmě seminář na téma využití biomasy pro zásobování obcí teplem organizovaný Územním odborem Ministerstva životního prostředí v Brně. V rámci semináře byli účastníci informováni o možnostech využívání biomasy k vytápění obcí i větších sídelních celků. Byli rovněž informováni o projektu, který byl tehdy zpracováván pro region Jižní Moravy. [2]

2.2 Rozhodnutí a příprava stavby

Velký Karlov přistoupil na alternativu centrálního vytápění, a to za předpokladu, že kromě vlastních prostředků získá dotace a půjčky, a to ze Státního fondu životního prostředí, České energetické agentury, a také ze zahraničí. Předpoklady o získání dotací a půjček se vyplnily a v polovině roku 1999 byla vypracována studie ekologického vytápění.

Podle platných předpisů začátkem dubna roku 2000 proběhlo výběrové řízení na dodavatele celé stavby, která byla rozdělena na dvě části - rozvody a centrální kotelna s technologií. Po získání stavebního povolení proběhlo výběrové řízení a byli vybráni dodavatelé stavby. Výstavbu rozvodů zabezpečovala firma Tenza a.s., Brno a realizaci kotelny a technologie Moravská topenářská s.r.o., Nový Jičín. Dodávku kotle, montáž a uvedení do provozu prováděla subdodavatelská firma Josef Novák Tractant Fabri z Kolína.

Cena po výběrovém řízení se zvýšila oproti projektu a celkové náklady na stavbu, včetně nákladů souvisejících s její přípravou – studie, projekt, audit, stavební dozor apod. – přesáhly 30,6 mil. Kč.

Nelehkým úkolem, mimo zajištění finančních prostředků, byla osvěta mezi občany obce. Představitelé obce museli přesvědčovat občany o tom, že dané zařízení vytopí jejich rodinné domy, bude dostatečně spolehlivé, dodávka tepla bude stálá a dle potřeby, vytápění nebude drahé apod. Většinu námitek se podařilo rozptýlit po několika besedách s odborníky i návštěvami některých již provozovaných zařízení. Samozřejmě nejpádnějším argumentem pro všechny byl až provoz zařízení v části prvního zimního období od ledna 2001. [2]

2.3 Realizace stavby a její technické parametry

Soustava centralizovaného zásobování teplem ve Velkém Karlově byla vytvořena jedním hlavním zdrojem tepla v oblasti základního zatížení o výkonu 1 MW pro spalování slámy a jedním špičkovým a záložním zdrojem tepla o výkonu 460 kW na spalování LTO. Případné špičky a krátkodobé odstávky jsou překlenovány akumulací nádrží o objemu 80 m³. Teplo k odběratelům je rozváděno předizolovaným potrubím LOGSTOR ROR v bezkanálovém uložení. Délka páteřního rozvodu po obci (proveden z ocelového předizolovaného potrubí) je 1915 m, odbočky do jednotlivých objektů jsou z předizolovaného flexibilního potrubí ze síťovaného polyetylénu v celkové délce 1223 m. V každém objektu je instalována předávací stanice, kde dochází k výměně tepla mezi primárním a sekundárním médiem v deskových výměnících (přenos z rozvodné sítě do domovního rozvodu ústředního vytápění).

V obci je 124 rodinných domů a několik objektů občanské vybavenosti (obecní úřad, školka, kulturně-společenský sál, 2 nákupní střediska, restaurace, ubytovna a kabiny TJ), celkový požadovaný tepelný výkon pro 100 % připojení je 1914 kW, z toho je výkon rodinných domů 1624 kW a objektů občanské vybavenosti cca 290kW.

Vypracovaná studie včetně provedeného průzkumu mezi obyvateli obce i zpracovaný projekt pro stavební povolení předpokládá následné připojení odběratelů tepla:

rodinné domy ... cca 80 %

objekty občanské vybavenosti ... 83 %



Obr. 2.3.1 Kotelna s komínem a akumulátorem tepla



Obr. 2.3.2 Sklad balíkové slámy

Tepelný zdroj je postaven v objektu bývalé základní školy - v tělocvičně je umístěna kotelná s oběma kotli a s příslušenstvím, výstupem i vstupem rozvodů potrubí, úpravnou vody apod. Bývalá třída je přebudována na velín, odkud je možno provádět kontrolu řízení průběhu spalování. Z dalších místností tvořících zázemí bývalé školy byl vybudován příruční sklad a sklad LTO, místnost pro obsluhu, sociální zařízení včetně sprchy a šatny, čímž byl vytvořen poměrně vysoký standard zabezpečení potřeb obsluhy kotelně. K objektu kotelně je přistavěn sklad paliva - balíkové slámy, obr. 2.3.2, s více než měsíční kapacitou plného výkonu kotle. Ostatní zásoby balíkové slámy jsou skladovány pod přístřešky mimo areál kotelně.

Palivem je obilná nebo řepková sláma skladovaná v balících o rozměrech 0,8m x 0,8m x 1,2 až 1,6m. Ve skladu je palivo nakládáno vysokozdvížným vozíkem na dopravní pás, který je zaveden až do prostoru skladu a svoji délkou slouží současně jako zásobník paliva na cca 8 hodin maximálního výkonu. Dopravník je řetězového typu o celkové délce 20 m a je zakončen rozdrůžovacím zařízením slámy. To slámu rozdrůží a předá do pneumatické dopravy, která slámu dále dopraví do podávacího šneku kotle.

Kotel je řešen jako částečně zplyňovací s poměrně masivní žárovou vyzdívkou a svislou žárotrubnou teplosměnnou plochou s dodatečným ohřívákem vzduchu. Spalovací zařízení sestává z provozního zásobníku a dohořivací komory. Provozní zásobník tvoří vyzděná šachta opatřená nahoře víkem, z boční strany přívodem paliva, dole na dně vyhrnovacím zařízením. Stěna mezi zásobníkem a dohořivací komorou je v dolní části opatřena otvory, kterými prochází hořící zplyněné části slámy do dohořivací komory. Tato je podtlaková a sestává ze dvou vyzděných šachet. Má vodou chlazený strop a do prostoru první šachty je přiváděn sekundární spalovací vzduch. Spaliny vystupují z druhé šachty dole do žárových trubek vertikálního žárotrubného kotle. Provozní zásobník a dohořivací komora tvoří jeden celek. Druhý celek sestává z vertikálního žárotrubného kotle. Tento kotel je dvoutahový se vstupní a výstupní komorou pro spaliny na dolním konci kotle a obrátovou komorou nahoře. Na výstup spalin z kotle je napojen trubkový ohřívák vzduchu. Vzduchový ventilátor zajišťuje dodávku ohřátého vzduchu do trysek sekundárního vzduchu. Spalinovým ventilátorem je regulován podtlak ve spalovacím zařízení. Na dně provozního zásobníku je zabudován chlazený hrablový rošt pro vyhrnování nespalitelných látek (popel) do vyhrnovacího šneku. Vyhrnovací šnek, původně tvořený pružinou byl v rámci zkušebního provozu nahrazen šroubovicí, vyhrnuje popeloviny do kontejneru mimo kotelnu. [2]



Obr. 2.3.3 Záložní kotel na LTO (vpravo), kotel na slámu (vpravo)

2.4 Výtopna dnes

Během provozu centrálního zdroje ve Velkém Karlově došlo od zahájení roku 2001 k mnohým úpravám, vylepšením a změnám celého zařízení. Kromě několika prvotních problémů, které vznikly v průběhu prvního roku provozu, jsem nezískal žádné informace o změnách výtopny.

Jediná data, která mi byla poskytnuta, jsou výroba tepla v GJ od roku 2005 do 2008.

3. ZPRACOVÁNÍ ZÍSKANÝCH DAT OD PROVOZOVATELE

Ze získaných dat je možno odečíst denní spotřebu tepla od roku 2005 do roku 2008. Dodané hodnoty lze přepočítat z tepelné energie v GJ na výkon v kW a tím zjistit roční diagram spotřeby obce.

Pro vytvoření diagramu jsem vycházel z možného výběru a zvolil jsem nejteplejší a nejstudenější rok. Rok 2006 byl dle výběru nejchladnějším a s ním i nejvyšší zaznamenaná hodnota spotřeby tepla, která 26.1.06 dosáhla 54GJ/den = 625kW. Rok 2007, který byl výrazně teplejším, jsem využil pro srovnání.

3.1 Přepočet tepelné energie na výkon

$$\frac{J}{s} = W$$

$$\frac{\text{energie}}{\text{čas}} = \text{výkon} \cdot (\Phi \cdot \text{za} \cdot \text{období} - 1 \text{den})$$

GJ –vyrobená energie (teplo)

Vyrobená tepelná energie v nejstudenější den 26.1.2006.....54GJ

$$\frac{GJ}{den} = \frac{54 * 10^6}{24 * 60 * 60} = \underline{\underline{625kW}}$$

Průměrný výkon v nejstudenější den 26.1.2006.....625 kW

3.2 Přepočtené hodnoty z tepelné energie na průměrný výkon v daném dni za rok 2006

Leden			Únor		Březen		Duben		Květen		Červen		Září		Říjen		Listopad		Prosinec	
Den	GJ	kW	GJ	kW	GJ	kW	GJ	kW	GJ	kW	GJ	kW	GJ	kW	GJ	kW	GJ	kW	GJ	kW
1	44	509	45	521	39	451	25	289	23	266	12	139	0	0	4	46	16	185	19	220
2	36	417	45	521	37	428	23	266	18	208	14	162	0	0	5	58	20	231	21	243
3	37	428	45	521	36	417	19	220	15	174	12	139	0	0	6	69	27	313	25	289
4	37	428	44	509	33	382	20	231	14	162	16	185	0	0	6	69	27	313	26	301
5	36	417	42	486	35	405	24	278	12	139	12	139	0	0	7	81	31	359	24	278
6	39	451	41	475	37	428	28	324	9	104	13	150	0	0	7	81	27	313	24	278
7	36	417	46	532	38	440	30	347	6	69	11	127	0	0	7	81	25	289	23	266
8	39	451	44	509	32	370	27	313	14	162	10	116	0	0	8	93	19	220	25	289
9	40	463	37	428	37	428	25	289	9	104	9	104	0	0	8	93	24	278	23	266
10	47	544	38	440	37	428	24	278	9	104	9	104	0	0	9	104	21	243	27	313
11	43	498	36	417	33	382	22	255	8	93	7	81	0	0	8	93	21	243	24	278
12	45	521	35	405	29	336	29	336	8	93	9	104	0	0	9	104	26	301	28	324
13	47	544	36	417	37	428	31	359	8	93	6	69	0	0	9	104	26	301	26	301
14	45	521	38	440	38	440	28	324	7	81	7	81	0	0	10	116	21	243	29	336
15	38	440	37	428	40	463	26	301	9	104	6	69	0	0	10	116	22	255	28	324
16	42	486	38	440	38	440	22	255	8	93	7	81	0	0	11	127	19	220	33	382
17	43	498	38	440	39	451	22	255	7	81	5	58	0	0	13	150	20	231	30	347
18	43	498	33	382	32	370	21	243	7	81	4	46	0	0	15	174	21	243	32	370
19	38	440	33	382	32	370	18	208	7	81	7	81	0	0	14	162	19	220	33	382
20	42	486	30	347	28	324	17	197	8	93	4	46	0	0	15	174	22	255	27	313
21	41	475	33	382	30	347	16	185	8	93	4	46	0	0	16	185	21	243	32	370
22	37	428	30	347	30	347	16	185	4	46	5	58	7	81	14	162	21	243	32	370
23	42	486	34	394	24	278	13	150	11	127	3	35	3	35	14	162	23	266	20	231
24	51	590	35	405	24	278	9	104	7	81	4	46	3	35	11	127	22	255	27	313
25	51	590	36	417	35	405	13	150	7	81	4	46	3	35	13	150	20	231	30	347
26	54	625	39	451	29	336	11	127	10	116	4	46	3	35	12	139	22	255	31	359
27	47	544	37	428	26	301	12	139	10	116	3	35	3	35	11	127	21	243	33	382
28	51	590	40	463	18	208	10	116	8	93	4	46	4	46	10	116	20	231	29	336
29	45	521	-	-	22	255	13	150	10	116	4	46	4	46	11	127	21	243	37	428
30	44	509	-	-	30	347	17	197	10	116	3	35	5	58	11	127	21	243	35	405
31	48	556	-	-	26	301	-	-	10	116	-	-	-	-	12	139	-	-	35	405
	1 328	15370	1 065	12326	1 001	11586		7072	301	3484	218	2523	35	405	316	3657	666	7708	868	10046

Tab. 3.2 Přepočtené hodnoty z tepelné energie na průměrný výkon v daném dni za rok 2006

Poznámka: Roku 2006 v měsících červenci a srpnu výtopna nevykazuje žádnou produkci tepla.

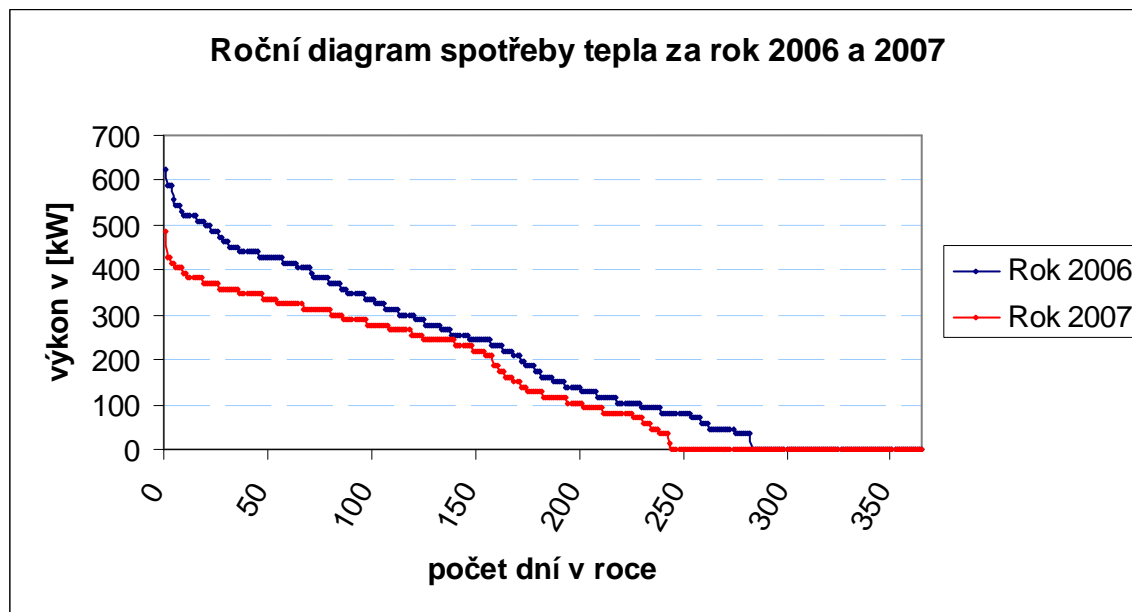
3.3 Přepočtené hodnoty z tepelné energie na průměrný výkon v daném dni za rok 2007

Den	Leden		Únor		Březen		Duben		Květen		Září		Říjen		Listopad		Prosinec	
	GJ	kW	GJ	kW	GJ	kW	GJ	kW	GJ	kW	GJ	kW	GJ	kW	GJ	kW	GJ	kW
1	36	417	33	382	25	289	21	243	8	93	0	0	9	104	19	220	31	359
2	25	289	31	359	31	359	18	208	7	81	0	0	10	116	21	243	30	347
3	31	359	32	370	27	313	19	220	10	116	0	0	11	127	22	255	25	289
4	34	394	31	359	30	347	18	208	10	116	0	0	9	104	18	208	28	324
5	29	336	29	336	27	313	21	243	8	93	0	0	9	104	19	220	28	324
6	30	347	26	301	26	301	20	231	10	116	0	0	10	116	24	278	28	324
7	28	324	32	370	25	289	18	208	11	127	0	0	11	127	26	301	28	324
8	24	278	28	324	22	255	18	208	9	104	0	0	12	139	29	336	26	301
9	28	324	27	313	25	289	15	174	8	93	0	0	13	150	23	266	29	336
10	27	313	28	324	25	289	16	185	12	139	0	0	13	150	24	278	29	336
11	24	278	31	359	23	266	14	162	9	104	0	0	14	162	26	301	31	359
12	23	266	27	313	24	278	13	150	6	69	0	0	13	150	34	394	30	347
13	25	289	30	347	23	266	10	116	7	81	0	0	20	231	30	347	29	336
14	24	278	28	324	19	220	10	116	6	69	0	0	19	220	30	347	31	359
15	25	289	25	289	20	231	7	81	5	58	0	0	16	185	28	324	34	394
16	27	313	27	313	21	243	8	93	7	81	0	0	19	220	28	324	32	370
17	31	359	30	347	23	266	8	93	6	69	7	81	20	231	33	382	35	405
18	33	382	28	324	21	243	8	93	10	116	4	46	17	197	33	382	33	382
19	28	324	30	347	24	278	10	116	8	93	5	58	21	243	32	370	26	301
20	30	347	29	336	23	266	9	104	7	81	10	116	20	231	29	336	34	394
21	24	278	31	359	32	370	10	116	5	58	10	116	26	301	34	394	40	463
22	23	266	31	359	29	336	11	127	4	46	9	104	25	289	34	394	39	451
23	28	324	28	324	29	336	10	116	1	12	9	104	25	289	33	382	38	440
24	33	382	28	324	33	382	9	104	0	0	6	69	25	289	32	370	38	440
25	36	417	32	370	24	278	11	127	0	0	8	93	22	255	27	313	39	451
26	42	486	30	347	23	266	7	81	0	0	8	93	22	255	24	278	36	417
27	35	405	30	347	22	255	7	81	0	0	9	104	23	266	32	370	40	463
28	37	428	32	370	21	243	7	81	0	0	14	162	22	255	32	370	35	405
29	35	405	-	-	21	243	7	81	0	0	11	127	21	243	34	394	38	440
30	34	394	-	-	27	313	7	81	0	0	11	127	19	220	32	370	39	451
31	30	347	-	-	20	231	-	-	0	0	-	-	21	243	-	-	40	463
	919	10637	824	9537	765	8854	367	4248	174	2014	121	1400	537	6215	842	9745	1019	11794

Tab. 3.3 Přepočtené hodnoty z tepelné energie na průměrný výkon v daném dni za rok 2007

Poznámka: Roku 2007 v měsících červnu, červenci a srpnu výtopna nevykazuje žádnou produkci tepla.

3.4 Roční diagram spotřeby tepla



Obr. 3.4. Roční diagram spotřeby tepla za rok 2006 a 2007

3.5 Úvaha nad ročním diagramem spotřeby tepla a posouzení velikosti zdroje

3.5.1 Množství odběratelů a jejich nárůst

V obci Velký Karlov je 124 rodinných domů a několik objektů občanské vybavenosti. V roce 2001 bylo připojeno 64 rodinných domů a jejich spotřeba za období leden-říjen činila 3053 GJ. Je třeba zmínit, že se jednalo o první rok provozu výtopny a někteří odběratelé se připojovali postupně v průběhu roku než spotřebovali své staré zásoby uhlí. V roce 2007 sice spotřeba za stejné období vzrostla na 3707 GJ, ale když uvažíme, že zákazníci odebírali teplo po celou topnou sezónu, pak můžeme uvažovat o nárůstu 10 odběratelů za posledních 6 let. Jestliže provoz výtopny po šesti letech přesvědčil 60% odběratelů, pak nelze již v budoucích letech očekávat jejich markantní nárůst a odběr je takřka ustálený. Přesto je nutno počítat s určitou rezervou pro nárůst odběratelů z předpokladů rozšiřování obce.

3.5.2 Posouzení velikosti zdroje

Obec má celkový požadovaný tepelný výkon pro 100 % připojení 1914 kW. V roce 1999 byla vypracována studie na předpoklad cca 80% připojení odběratelů rodinných domů a objektů občanské vybavenosti což činí přibližně 1530 kW. Na tuto studii soustavy centralizovaného zásobování teplem byl zvolen jeden hlavní zdroj tepla v oblasti základního zatížení o výkonu 1 MW pro spalování slámy (biomasa) a jedním špičkovým záložním zdrojem tepla o výkonu 460 kW na spalování LTO. Tudiž kotelna o celkovém tepelném výkonu 1460 kW.

Z ročního diagramu spotřeby tepla uvedeného na obr. 3.4, který znázorňuje spotřebu tepla v studený rok 2006 a teplejší rok 2007, je zřejmé, že maximální potřebný tepelný výkon

za tyto dva roky nepřesáhl 625 kW, tudíž kotelna o celkovém tepelném výkonu 1460 kW je po zkušenostech předimenzována.

3.5.3 Návrh na inovaci kotelny

Ze získaných dat a posouzení velikosti zdroje je patrné, že využitelnost zdroje o takovém výkonu je příliš malá. Pokud by mělo dojít k obnovení či výměně kotle za nový následkem překročení doby životnosti nebo jiných vážných příčin na zařízení, je třeba zvážit další možnosti, které se v důsledku technického vývoje a zdokonalování nabízí.

Možností, které by dokázaly vyřešit tento předimenzovaný stav tepelného zdroje, je již dnes mnohem více než před deseti lety, kdy kotle o takovém výkonu byly takřka ve vývoji. Díky finanční podpoře z Evropské Unie na navýšení elektrické energie z obnovitelných zdrojů se automaticky navýšila i poptávka a firmy, které se zabývají jejich výrobou a vývojem, získaly se spalováním biomasy ohromné poznatky a zkušenosti. Tímto se kotle na biomasu během posledních deseti let nejen zdokonalily, ale rozšířily své možnosti i o výkonové rozsahy.

Hlavní myšlenkou této práce je využití veškerého možného výkonu, který bude právě nainstalován. Prvotním inovačním návrhem je změna velikosti hlavního zdroje, který pokrývá základní tepelné zatížení, v tomto případě dle ročního diagramu tepla obrázek 3.4 výkonový rozsah 400-550 kW. Pro maximální využití tepelného zdroje je třeba zvážit možnou výrobu elektrické energie pomocí točivé redukce nebo parního stroje. Výkonové špičky a jako záloha v případě odstávky či poruchy by vyplnil stávající záložní zdroj o tepelném výkonu 460 kW na spalování lehkých topných olejů..

Tudíž pro realizaci je nutný kotel na biomasu o tepelném výkonu 400-550 kW na sytou nebo přehřátou páru a jednostupňová turbína či parní stroj, který bude právě ideální pro náš požadovaný tepelný výkon.

Přebytečný tepelný výkon parního kotle je možno v době nižší spotřeby tepla u zákazníků akumulovat v horkovodním akumulátoru o tepelné kapacitě 30 GJ. Akumulátor je součástí původního návrhu teplárny a v diplomové práci byl použit beze změn.

Velký problém vidím v zásobování odběratelů TUV po skončení topné sezony v letních měsících. Zákazníci nemají v současnosti o TUV z teplárny zájem a připravují si ji individuálně.

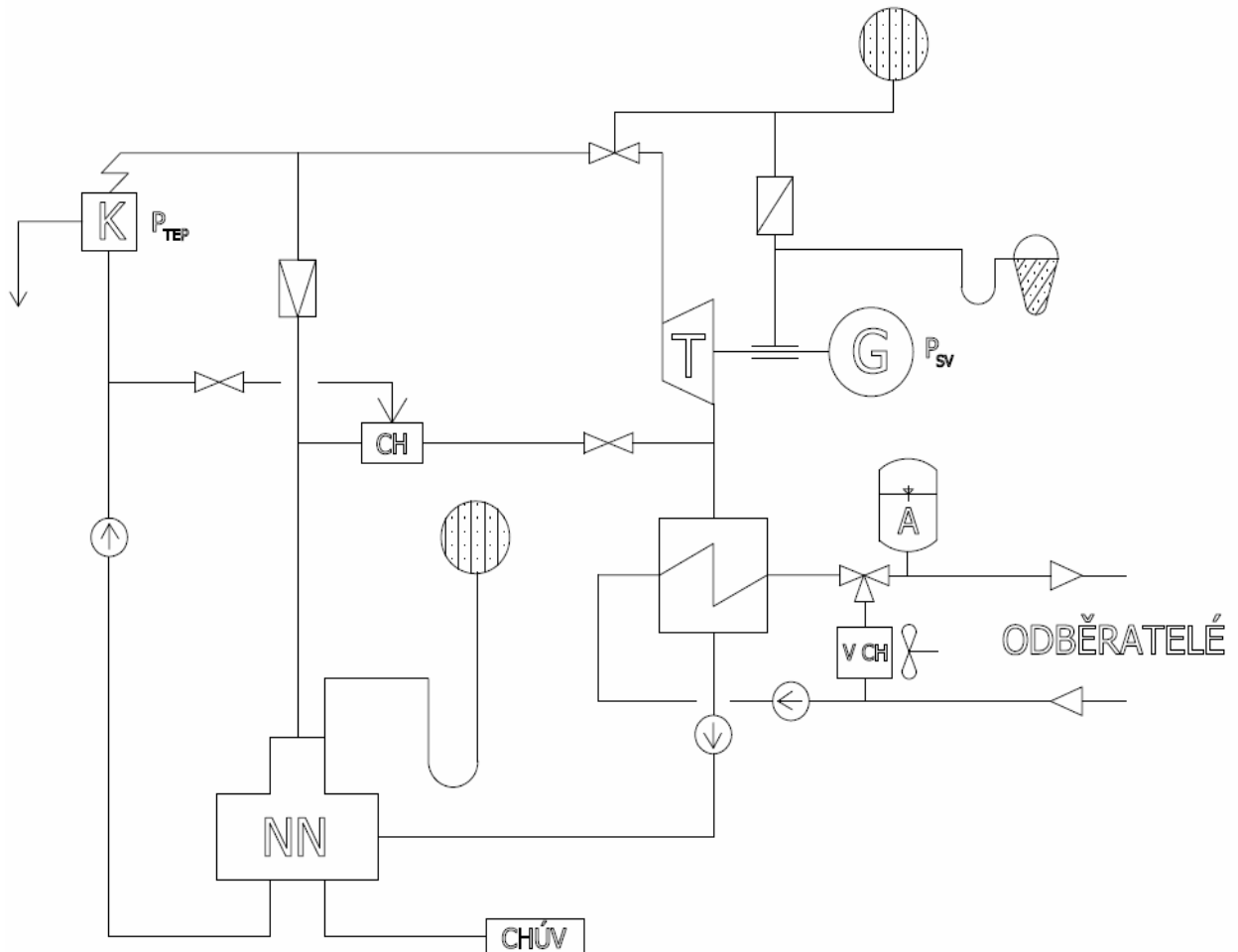
3.5.4 Postup řešení výpočtu pro návrh turbíny

Pro tepelný výkon v rozmezí 400 – 550 kW, který odpovídá ročnímu diagramu potřeby tepla obr. 3.4 bylo nutno hledat vhodný svorkový výkon turbíny tak, aby mohlo být provedeno technicko-ekonomické vyhodnocení provozu. Pro optimalizaci byly voleny svorkové výkony P_{sv} turbín v rozmezí 13-123 kWe. Při výpočtu se vychází ze zadaných nižších parametrech kotle $p_0/t_0 = 0,8$ MPa / sytá pára, které jsou v tomto případě

$P_e = \text{do } 100$ kWe a kotel o vyšších parametrech $p_0/t_0 = 1,3$ MPa / 210°C pro $P_e = \text{nad } 100$ kWe. Z těchto vstupních parametrů je už možné vypočítat předběžný výpočet turbíny. V kapitole 5 je znázorněn výpočet pouze dvou turbín předběžného výpočtu, a to turbína o elektrickém výkonu $P_e = 36$ kW s nižšími parametry kotle $p_0/t_0 = 0,8$ MPa / sytá pára a turbína s elektrickým výkonem $P_e = 106$ kW a kotlem s vyššími parametry $p_0/t_0 = 1,3$ MPa / 210°C . Veškeré výsledné hodnoty všech turbín jsou znázorněny v tabulce 7.

4. TEPELNÁ SCHÉMATA TEPLÁRNY

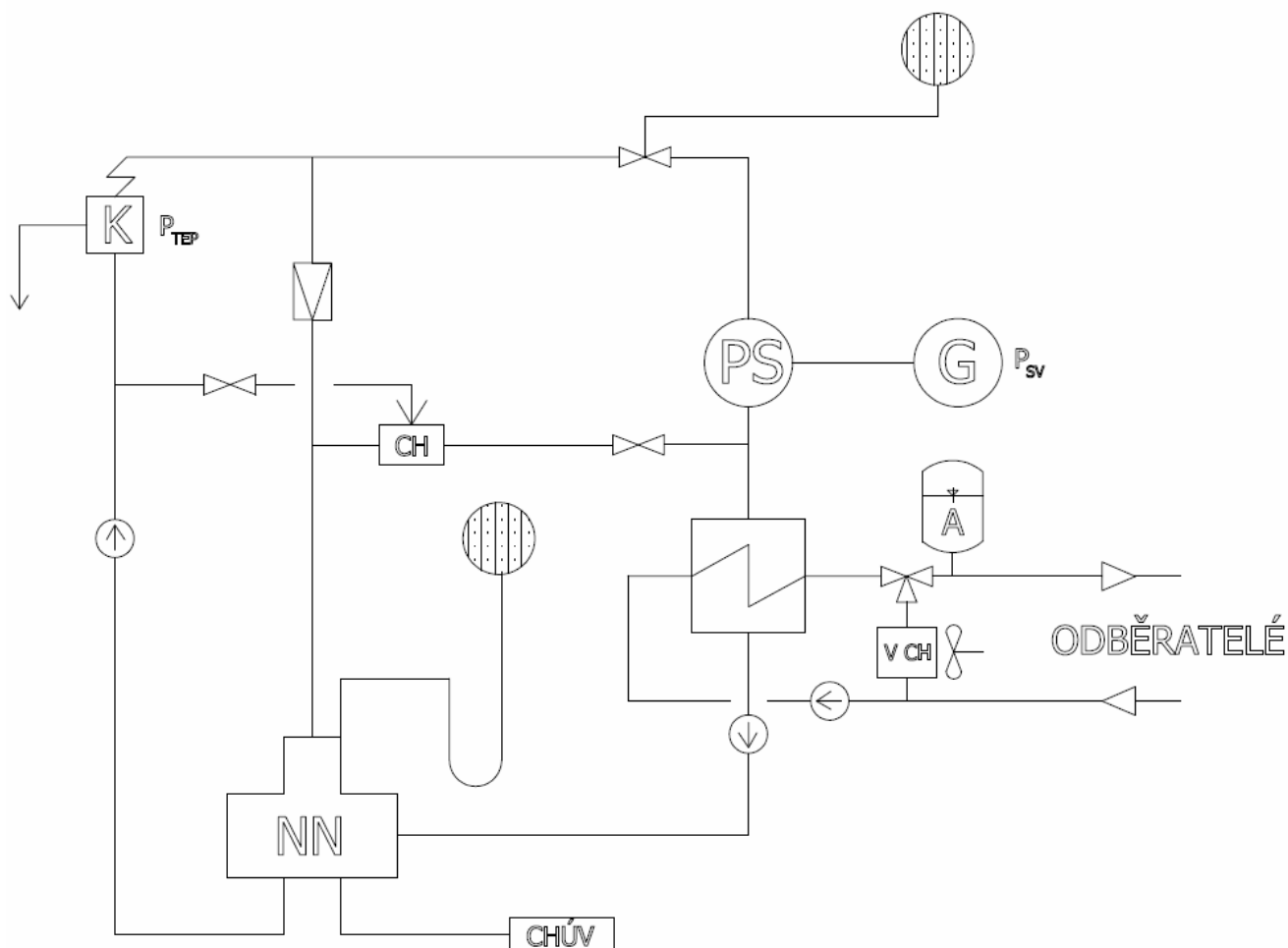
4.1 Tepelné schéma teplárny s použitím parní turbíny



LEGENDA TEPELNÉHO SCHÉMATU S POUŽITÍM TURBÍNY

- K – kotel
- T – parní turbína
- G – generátor
- A – akumulátor
- V CH – vzduchový chladič
- NN – napájecí nádrž
- CHÚV – chemická úprava vody
- CH – chladicí stanice
- P_{TEP} – tepelný výkon kotle
- P_{SV} – výkon na svorkách generátoru

4.2 Tepelné schéma teplárny s použitím parního stroje



LEGENDA TEPELNÉHO SCHÉMATU S POUŽITÍM PARNÍHO STROJE

K – kotel

PS – parní stroj

G – generátor

A – akumulátor

V CH – vzduchový chladič

NN – napájecí nádrž

CHÚV – chemická úprava vody

CH – chladicí stanice

P_{TEP} – tepelný výkon kotle

P_{SV} – výkon na svorkách generátoru

5. PŘEDBĚŽNÝ VÝPOČET TURBÍN

5.1 Předběžný výpočet turbín s nižšími parametry kotle

5.1.1 Vstupní hodnoty pro výpočet

- Jmenovitý tlak na spouštěcím ventilu: $p_0 = 0,8 \text{ MPa}$
- Jmenovitá teplota páry na spouštěcím ventilu: $t_0 = 170,4 \text{ }^\circ\text{C}$
- Jmenovitý protitlak: $p_2 = 0,12 \text{ MPa}$
- Elektrický výkon turbíny: $P_{teor.} = 80 \text{ kWe}$
- Otáčky: $n = 11000 \text{ min}^{-1}$

5.1.2 Předběžný výpočet

Předběžným výpočtem lze stanovit základní geometrické a výkonové parametry turbín. Je počítáno s určitým zjednodušením, avšak pro získání základních výkonových parametrů je výpočet dostačující.

5.1.2.1 Určení stavů páry pro předběžný výpočet

- podíl ztráty na spouštěcím ventilu: $x_p = 3 \%$

tlaková ztráta na spouštěcím ventilu:

$$\delta p_{sp} = \frac{x_p}{100} * p_1 = \frac{3}{100} * 0,8 = 0,24 \text{ MPa}$$

tlak za spouštěcím ventilem:

$$p'_0 = p_1 - \delta p_{sp} = 0,8 - 0,024 = 0,78 \text{ MPa}$$

stav páry na vstupu do turbíny (určeno z i-s diagramu):

$$i_0 = f_i(t_1; p'_0) = f_i(169,4; 0,78) = 2768,28 \text{ kJ / kg}$$

$$s_0 = f_s(t_1; p'_0) = f_s(169,4; 0,78) = 6,662 \text{ kJ / kgK}$$

$$v_0 = f_v(t_1; p'_0) = f_v(169,4; 0,78) = 0,2403 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

izentropická teplota na výstupu turbíny:

$$t_{1iz} = f_t(p_2; s_0) = f_t(0,12; 6,662) = 377,93 \text{ K} = 104,78 \text{ }^\circ\text{C}$$

izentropická entalpie na výstupu turbíny:

$$i_{1iz} = f_i(p_2; s_2) = f_i(0,12; 6,662) = 2442,07 \text{ kJ / kg}$$

izoentropický spád na turbíně:

$$h_{iz} = i_0 - i_{1iz} = 2768,28 - 2442,07 = 326,21 \text{ kJ / kg}$$

Jmenovitý průtok páry před turbínou:

Jelikož je zadán elektrický výkon turbíny, dopočítá se jmenovitý průtok páry před turbínou pomocí rovnice vnitřního výkonu stupně při 100% účinnosti.

$$P = M_j * h_{iz} * \eta_{tdi}$$

po úpravě

$$M_j = \frac{P}{h_{iz} * \eta_{tdi}} = \frac{80}{326,21 * 1} = 0,25 \text{ kg / s}$$

Rychlostní ztrátový součinitel pro dýzu: $\varphi = 0,94$. Hodnota φ je volena dle doporučení v literatuře [1].

ztráta na dýze:

$$z_{0pr} = (1 - \varphi^2) * h_{iz} = (1 - 0,94^2) * 326,21 = 37,97 \text{ kJ / kg}$$

předběžný spád na stupeň:

$$h_{pr} = h_{iz} - z_{0pr} = 326,21 - 37,97 = 288,24 \text{ kJ / kg}$$

stav páry za dýzou:

$$i_1 = i_0 - h_{pr} = 2768,28 - 288,24 = 2480,04 \text{ kJ / kg}$$

$$t_1 = f_t(p_2; i_1) = f_t(0,12; 2480,04) = 104,78^\circ \text{C}$$

$$v_1 = f_v(p_2; i_1) = f_v(0,12; 2480,04) = 1,299 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

- měrný objem páry za dýzou je potřebný pro výpočet délky lopatky
- výpočet turbíny je v oblasti mokré páry (suchost páry $x=0,909$)

5.1.2.2 Určení rychlostního poměru a středního průměru lopatkování

kritický tlak:

$$p_{kr} = 0,546 * p'_0 = 0,546 * 0,78 = 0,42 \text{ MPa}$$

kritický poměr tlaků a typ proudění:

$$\pi = \frac{p_2}{p'_0} = \frac{0,12}{0,78} = 0,155$$

- proudění v dýze je nadkritické, je třeba použít rozšířeného tvaru kanálu
- rychlost v přívodním potrubí: $c_0=40\text{m/s}$ (voleno dle literatury [1] – rozmezí 30-50 m/s)

obvodová rychlost na středním průměru:

- střední průměr regulačního stupně $D = 0,45\text{m}$

$$u = \pi * D * n = \pi * 0,45 * 183,33 = 259\text{m/s}$$

předběžná teoretická rychlost páry za dýzou:

$$c_{1iz} = \sqrt{2 * h_{iz} * 1000 + c_0^2} = \sqrt{2 * 326,21 * 1000 + 40^2} = 808,72\text{m/s}$$

rychlostní poměr:

$$\frac{u}{c_{iz}} = \frac{259,05}{808,72} = 0,32$$

- Jelikož se jedná o výpočet jednostupňové turbíny a chceme zpracovat celý spád v jednom stupni, musíme zanechat rychlostní poměr u/c_{iz} pod doporučeným poměrem.

ověření středního průměru lopatkování stupně:

$$D = \frac{u}{\pi * \frac{n}{60}} = \frac{259,05}{\pi * \frac{11000}{60}} = 0,45\text{m}$$

5.1.2.3 Výpočet délky lopatky

- výstupní úhel proudu z dýzy: $\alpha_1=13^\circ$

délka lopatky při totálním ostříku:

$$l_{ot} = M_j * \frac{v_1}{\pi * D * c_{1iz} * \varphi * \sin \alpha_1} = 0,25 * \frac{1,299}{\pi * 0,45 * 808,72 * 0,94 * \sin 13^\circ} = 0,1345\text{cm}$$

součinitel delta:

- experimentální konstanta pro A-kolo $c/a = 0,1467$ [-] (voleno dle [1])

$$\delta = \frac{c}{a} * \left[\frac{\frac{u}{c_{iz}}}{\left(\frac{n}{1000}\right)^{0,2} * \sqrt{D}} \right] = 0,1467 * \left[\frac{0,32}{\left(\frac{11000}{1000}\right)^{0,2} * \sqrt{0,45}} \right] = 0,0433[-]$$

součinitel alfa pro určení optimální délky lopatky:

- konstanta pro A-kolo $b/a = 0,0398$ [-] (voleno dle literatury [1])
- zohlednění dělení parciálního ostříku $s = 1$ [-] (voleno dle literatury [1])

$$\alpha = \sqrt{\frac{D}{\frac{b}{a} * s_1 + \delta * D}} = \sqrt{\frac{0,45}{0,0398 * 1 + 0,0433 * 0,45}} = 3,37[-]$$

optimální délka lopatky:

$$l_{opt} = \alpha * \sqrt{l_{ot} * 100} = 3,37 * \sqrt{0,1345 * 100} = 1,2342 \text{ cm}$$

skutečná délka lopatky:

- po zaokrouhlení optimální délky $l_{opt} = 1,2342$ cm dostaneme skutečnou délku lopatky

$$l_0 = 1,2 \text{ cm}$$

redukováná délka lopatky:

$$L_{red} = \frac{l_0}{1 + \left(\frac{l_0}{l_{opt}}\right)^2 - \delta * l_0} = \frac{1,2}{1 + \left(\frac{1,2}{1,2342}\right)^2 - 0,0433 * 1,2} = 0,63 \text{ cm}$$

parciální ostřík:

$$\varepsilon = \frac{l_{ot}}{l_0} = \frac{0,1345}{1,2} = 0,112[-]$$

5.1.2.4 Výpočet účinností a výkonů

redukováná obvodová účinnost:

Hodnota redukováné obvodové účinnosti se odečte z diagramu pro redukovanou účinnost regulačního stupně (A-kolo) pomocí redukováné délky lopatky L_{red} a rychlostního poměru u/c_{iz} . (odečteno z diagramu dle literatury [1]).

$$L_{red} = 0,63 \text{ cm}$$

$$u/c_{iz} = 0,32$$

$$\eta_u = 0,56[-]$$

ztráty třením a ventilací:

Součinitel k odečtený z diagramu podle otáček $n[s^{-1}]$ a středního průměru lopatkování regulačního stupně D [m]. (odečteno z diagramu dle literatury [1]).

$$n = 183,33 [s^{-1}]$$

$$D = 0,45 [m]$$

$$k = 3,5[-]$$

$$Z_5 = \frac{k}{M_j * v_1} = \frac{3,5}{0,25 * 1,299} = 18,19 [kJ / kg]$$

poměrná ztráta:

$$\xi_5 = \frac{z_5}{h_{iz}} = \frac{18,19}{326,21} = 0,05576[-]$$

vnitřní účinnost regulačního stupně:

$$\eta_{idi} = \eta_u - \xi_5 = 0,56 - 0,05576 = 0,5042[-]$$

vnitřní výkon stupně:

$$P_i = M_j * h_{iz} * \eta_{idi} = 0,25 * 326,21 * 0,5042 = 41,12 kW$$

svorkový výkon:

$$P_{sv} = P_i * \eta_m * \eta_{př} * \eta_{gen} = 41,12 * 0,95 * 0,95 * 0,97 = 36 kW$$

5.2 Předběžný výpočet turbín s vyššími parametry kotle

5.2.1 Vstupní hodnoty pro výpočet

- Jmenovitý tlak na spouštěcím ventilu: $p_0 = 1,3 \text{ MPa}$
- Jmenovitá teplota páry na spouštěcím ventilu: $t_0 = 210 \text{ }^\circ\text{C}$
- Jmenovitý protitlak: $p_2 = 0,12 \text{ MPa}$
- Elektrický výkon turbíny: $P_{\text{teor.}} = 210 \text{ kWe}$
- Otáčky: $n = 11000 \text{ min}^{-1}$

5.2.2 Předběžný výpočet

Předběžným výpočtem lze stanovit základní geometrické a výkonové parametry turbín. Je počítáno s určitým zjednodušením, avšak pro získání základních výkonových parametrů je výpočet dostačující.

5.2.2.1 Určení stavů páry pro předběžný výpočet

- podíl ztráty na spouštěcím ventilu: $x_p = 3 \%$

tlaková ztráta na spouštěcím ventilu:

$$\delta p_{sp} = \frac{x_p}{100} * p_1 = \frac{3}{100} * 1,3 = 0,039 \text{ MPa}$$

tlak za spouštěcím ventilem:

$$p'_0 = p_1 - \delta p_{sp} = 1,3 - 0,039 = 1,26 \text{ MPa}$$

stav páry na vstupu do turbíny (určeno z i-s diagramu):

$$i_0 = f_i(t_1; p'_0) = f_i(210; 1,26) = 2838 \text{ kJ / kg}$$

$$s_0 = f_s(t_1; p'_0) = f_s(210; 1,26) = 6,616 \text{ kJ / kgK}$$

$$v_0 = f_v(t_1; p'_0) = f_v(210; 1,26) = 0,165 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

izoentropická teplota na výstupu turbíny:

$$t_{1iz} = f_t(p_2; s_0) = f_t(0,12; 6,616) = 377,93 \text{ K} = 104,78 \text{ }^\circ\text{C}$$

izoentropická entalpie na výstupu turbíny:

$$i_{1iz} = f_i(p_2; s_2) = f_i(0,12; 6,616) = 2425,45 \text{ kJ / kg}$$

izoentropický spád na turbíně:

$$h_{iz} = i_0 - i_{1iz} = 2838 - 2425,45 = 412,55 \text{ kJ / kg}$$

Jmenovitý průtok páry před turbínou:

Jelikož je zadán elektrický výkon turbíny, dopočítá se jmenovitý průtok páry před turbínou pomocí rovnice vnitřního výkonu stupně při 100% účinnosti.

$$P = M_j * h_{iz} * \eta_{tdi}$$

po úpravě

$$M_j = \frac{P}{h_{iz} * \eta_{tdi}} = \frac{210}{412,55 * 1} = 0,51 \text{ kg / s}$$

Rychlostní ztrátový součinitel pro dýzu: $\varphi = 0,94$. Hodnota φ je volena dle doporučení v literatuře [1].

ztráta na dýze:

$$z_{0pr} = (1 - \varphi^2) * h_{iz} = (1 - 0,94^2) * 412,55 = 48,02 \text{ kJ / kg}$$

předběžný spád na stupeň:

$$h_{pr} = h_{iz} - z_{0pr} = 412,55 - 48,02 = 364,53 \text{ kJ / kg}$$

stav páry za dýzou:

$$i_1 = i_0 - h_{pr} = 2838 - 364,53 = 2473,47 \text{ kJ / kg}$$

$$t_1 = f_t(p_2; i_1) = f_t(0,12; 2473,47) = 104,78^\circ \text{C}$$

$$v_1 = f_v(p_2; i_1) = f_v(0,12; 2473,47) = 1,295 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

- měrný objem páry za dýzou je potřebný pro výpočet délky lopatky
- výpočet turbíny je v oblasti mokré páry (suchost páry $x=0,907$)

5.2.2.2 Určení rychlostního poměru a středního průměru lopatkování

kritický tlak:

$$p_{kr} = 0,546 * p'_0 = 0,546 * 0,78 = 0,42 \text{ MPa}$$

kritický poměr tlaků a typ proudění:

$$\pi = \frac{p_2}{p'_0} = \frac{0,12}{1,26} = 0,1$$

- proudění v dýze je nadkritické, je třeba použít rozšířeného tvaru kanálu
- rychlost v přívodním potrubí: $c_0=40 \text{ m/s}$ (voleno dle literatury [1] – rozmezí 30-50 m/s)

obvodová rychlost na středním průměru:

- střední průměr regulačního stupně $D = 0,55\text{m}$

$$u = \pi * D * n = \pi * 0,55 * 183,33 = 317\text{m/s}$$

předběžná teoretická rychlost páry za dýzou:

$$c_{1iz} = \sqrt{2 * h_{iz} * 1000 + c_0^2} = \sqrt{2 * 412,55 * 1000 + 40^2} = 909,23\text{m/s}$$

rychlostní poměr:

$$\frac{u}{c_{iz}} = \frac{317}{909,23} = 0,35$$

- Jelikož se jedná o výpočet jednostupňové turbíny a chceme zpracovat celý spád v jednom stupni, musíme zanechat rychlostní poměr u/c_{iz} pod doporučeným poměrem.

ověření středního průměru lopatkování stupně:

$$D = \frac{u}{\pi * \frac{n}{60}} = \frac{317}{\pi * \frac{11000}{60}} = 0,55\text{m}$$

5.2.2.3 Výpočet délky lopatky

- výstupní úhel proudu z dýzy: $\alpha_1 = 13^\circ$

délka lopatky při totálním ostříku:

$$l_{ot} = M_j * \frac{v_1}{\pi * D * c_{1iz} * \varphi * \sin \alpha_1} = 0,51 * \frac{1,295}{\pi * 0,55 * 909,23 * 0,94 * \sin 13^\circ} = 0,19901\text{cm}$$

součinitel delta:

- experimentální konstanta pro A-kolo $c/a = 0,1467$ [-] (voleno dle [1])

$$\delta = \frac{c}{a} * \left[\frac{\frac{u}{c_{iz}}}{\left(\frac{n}{1000}\right)^{0,2} * \sqrt{D}} \right] = 0,1467 * \left[\frac{0,35}{\left(\frac{11000}{1000}\right)^{0,2} * \sqrt{0,55}} \right] = 0,0426[-]$$

součinitel alfa pro určení optimální délky lopatky:

- konstanta pro A-kolo $b/a = 0,0398$ [-] (voleno dle literatury [1])

- zohlednění dělení parciálního ostříku $s = 1[-]$ (voleno dle literatury [1])

$$\alpha = \sqrt{\frac{D}{\frac{b}{a} * s_1 + \delta * D}} = \sqrt{\frac{0,55}{0,0398 * 1 + 0,0386 * 0,55}} = 3,72[-]$$

optimální délka lopatky:

$$l_{opt} = \alpha * \sqrt{l_{ot} * 100} = 3,72 * \sqrt{0,19901 * 100} = 1,66 \text{ cm}$$

skutečná délka lopatky:

- po zaokrouhlení optimální délky $l_{opt} = 1,66 \text{ cm}$ dostaneme skutečnou délku lopatky

$$l_0 = 1,7 \text{ cm}$$

redukováná délka lopatky:

$$L_{red} = \frac{l_0}{1 + \left(\frac{l_0}{l_{opt}}\right)^2 - \delta * l_0} = \frac{1,7}{1 + \left(\frac{1,7}{1,66}\right)^2 - 0,0426 * 1,7} = 0,86 \text{ cm}$$

parciální ostřík:

$$\varepsilon = \frac{l_{ot}}{l_0} = \frac{0,199}{1,7} = 0,1171[-]$$

5.2.2.4 Výpočet účinností a výkonů

redukováná obvodová účinnost:

Hodnota redukováné obvodové účinnosti se odečte z diagramu pro redukovanou účinnost regulačního stupně (A-kolo) pomocí redukováné délky lopatky L_{red} a rychlostního poměru u/c_{iz} . (odečteno z diagramu dle literatury [1]).

$$L_{red} = 0,86 \text{ cm}$$

$$u/c_{iz} = 0,35$$

$$\eta_u = 0,605[-]$$

ztráty třením a ventilací:

Součinitel k odečtený z diagramu podle otáček $n[s^{-1}]$ a středního průměru lopatkování regulačního stupně D [m]. (odečteno z diagramu dle literatury [1]).

$$n = 183,33 [s^{-1}]$$

$$D = 0,55 [m]$$

$$k = 7[-]$$

$$Z_5 = \frac{k}{M_j * v_1} = \frac{7}{0,51 * 1,295} = 17,77[\text{kJ} / \text{kg}]$$

poměrná ztráta:

$$\xi_5 = \frac{z_5}{h_{iz}} = \frac{17,77}{412,55} = 0,04308[-]$$

vnitřní účinnost regulačního stupně:

$$\eta_{tdi} = \eta_u - \xi_5 = 0,62 - 0,04308 = 0,5769[-]$$

vnitřní výkon stupně:

$$P_i = M_j * h_{iz} * \eta_{tdi} = 0,51 * 412,55 * 0,5769 = 121,38\text{kW}$$

svorkový výkon:

$$P_{sv} = P_i * \eta_m * \eta_{př} * \eta_{gen} = 121,38 * 0,95 * 0,95 * 0,97 = 106,26\text{kW}$$

6. VÝPOČET VÝKONU KOTLE A MNOŽSTVÍ PALIVA

6.1 Výkon kotle

6.1.1 Stav páry na vstupu a výstupu z kotle

- **kotel s nižšími parametry $p_0/t_0 = 0,8 \text{ MPa} / \text{sytá pára}$**

stav páry na vstupu do kotle (určeno z i-s diagramu):

$$\begin{aligned} i_{vst} &= f_i(t_1; p'_0) = f_i(105; 0,95) = 440,21 \text{ kJ} / \text{kg} \\ s_{vst} &= f_s(t_1; p'_0) = f_s(105; 0,95) = 1,363 \text{ kJ} / \text{kgK} \\ v_{vst} &= f_v(t_1; p'_0) = f_v(105; 0,95) = 0,00105 \text{ m}^3 / \text{kg} \end{aligned}$$

stav páry na výstupu z kotle (určeno z i-s diagramu):

$$\begin{aligned} i_{vys} &= f_i(t_1; p'_0) = f_i(170,41; 0,8) = 2768,28 \text{ kJ} / \text{kg} \\ s_{vys} &= f_s(t_1; p'_0) = f_s(170,41; 0,8) = 6,662 \text{ kJ} / \text{kgK} \\ v_{vys} &= f_v(t_1; p'_0) = f_v(170,41; 0,8) = 0,2403 \text{ m}^3 / \text{kg} \end{aligned}$$

- **kotel s vyššími parametry $p_0/t_0 = 1,3 \text{ MPa} / 210^0 \text{ C}$**

stav páry na vstupu do kotle (určeno z i-s diagramu):

$$\begin{aligned} i_{vst} &= f_i(t_1; p'_0) = f_i(105; 0,95) = 441,16 \text{ kJ} / \text{kg} \\ s_{vst} &= f_s(t_1; p'_0) = f_s(105; 0,95) = 1,362 \text{ kJ} / \text{kgK} \\ v_{vst} &= f_v(t_1; p'_0) = f_v(105; 0,95) = 0,00105 \text{ m}^3 / \text{kg} \end{aligned}$$

stav páry na výstupu z kotle (určeno z i-s diagramu):

$$\begin{aligned} i_{vys} &= f_i(t_1; p'_0) = f_i(210; 1,3) = 2835,7 \text{ kJ} / \text{kg} \\ s_{vys} &= f_s(t_1; p'_0) = f_s(210; 1,4) = 6,598 \text{ kJ} / \text{kgK} \\ v_{vys} &= f_v(t_1; p'_0) = f_v(210; 1,4) = 0,160 \text{ m}^3 / \text{kg} \end{aligned}$$

6.1.2 Výpočet výkonu kotle

- **kotel s nižšími parametry $p_0/t_0 = 0,8 \text{ MPa} / \text{sytá pára}$**
- turbína se svorkovým výkonem $P_{sv} = 36 \text{ kW}$

$$P_{tep} = Mj * (i_{vys} - i_{vst}) = 0,245 * (2768,28 - 440,83) = 570,79 \text{ kW}$$

- kotel s vyššími parametry $p_0/t_0 = 1,3 \text{ MPa} / 210^0\text{C}$
- turbína se svorkovým výkonem $P_{sv} = 106,26 \text{ kW}$

$$P_{tep} = Mj * (i_{vys} - i_{vst}) = 0,51 * (2835,7 - 441,23) = 1218,86 \text{ kW}$$

6.2 Příklad výpočtu tepelného výkonu v palivu a jeho množství

Při volbě druhu paliva z biomasy je třeba pečlivě zvážit používané palivo, například dřevní štěpka, sláma, jejich kombinace atd. V tomto případě se uvažuje dřevní štěpka, která má výhřevnost 10 až 16,5 MJ/kg. Cena dřevní štěpky roste podle vysušenosti paliva, ale stejně tak i s výhřevností. Dřevní štěpka je nabízena přibližně od 10,1 MJ/kg do 15 MJ/kg. Je samozřejmé, že na trhu je mnoho dodavatelů s různými cenami, které se například pro 10,1 MJ/kg pohybují od 900 Kč/t do 1800 Kč/t, částka za téměř suché palivo o výhřevnosti 15 MJ/kg se zaplatí přibližně 2750 Kč/t. Nejvhodnější a nejvýhodnější variantou je možnost spalování vlastního odpadu například z dřevinné výroby, případně možnost získání vlastního paliva s nulovými pořizovacími náklady. V uvedeném příkladě je počítáno s palivem o výhřevnosti 12,5 MJ/kg, které by z předchozích údajů odhadem stálo 1700Kč. [2]

množství paliva:

Tepelný výkon kotle P_{TEP}570,79 kW

Účinnost kotle η_k0,91 [-]

Výhřevnost paliva Q_i^r 12,5 MJ/kg

$$P_{TEP,PAL} = \frac{P_{TEP}}{\eta_k} = \frac{570,79}{0,91} = 627,24 \text{ kW} = 0,627 \text{ MW}$$

$$m_{PAL} = \frac{P_{TEP,PAL}}{Q_r^i} = \frac{0,627}{12,5} = 0,0502 \text{ kg} / \text{s}$$

$$m_{PAL} = \frac{0,0502}{1000} * 60 * 60 = 0,181 \text{ t} / \text{h}$$

7. SOUHRN VŠECH VYPOČTENÝCH HODNOT TURBÍN A TEPELNÝCH VÝKONŮ KOTLŮ

KOTEL O NIŽŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 0,8 \text{ MPa}$ / sytá pára					
P_{svo} [kW]	η_{tdi} [-]	P_{TEP} [kWt]	M_{PAL} [t/h]	Mj [kg/s]	Mj [t/h]
13,320	0,389	285,393	0,0903	0,123	0,441
23,870	0,454	428,089	0,1355	0,184	0,662
36,000	0,504	570,786	0,1806	0,245	0,883
47,810	0,540	713,482	0,2258	0,307	1,104
57,000	0,542	856,179	0,2710	0,368	1,324
73,520	0,549	1070,223	0,3387	0,460	1,655
90,600	0,575	1284,268	0,4064	0,552	1,986
KOTEL O VYŠŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 1,3 \text{ MPa}$ / 210°C					
P_{svo} [kW]	η_{tdi} [-]	P_{TEP} [kWt]	M_{PAL} [t/h]	Mj [kg/s]	Mj [t/h]
106,26	0,577	1218,855	0,3857	0,509	1,833
111,70	0,584	1276,896	0,4041	0,533	1,920
131,96	0,600	1451,018	0,4592	0,606	2,182

Tab. 7. Souhrn všech vypočtených hodnot turbín a tepelných výkonů kotlů

8. PARNÍ STROJ

8.1 Získaná data a informace o parním stroji

Získaná data a informace byly získány od studenta Bc. Ladislava Šnajdárka, který vypracoval diplomový projekt současně s touto prací pod vedením Ing. Jiří Škorpíka, Ph.D s názvem: „Analýza využitelnosti pístového parního motoru pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla“.

Spotřeba páry orientačně.....22-25 kg/kWh_e
 Termodynamická účinnost parního stroje.....0,6 [-]
 Cena celého projektu pro parní stroj.....50kW_e ~ 4,5 mil Kč
 Cena celého projektu pro parní stroj.....100kW_e ~ 5 mil Kč

8.2 Zpracování dat a informací na naše vypočtené hodnoty

Spotřeba páry k danému elektrickému výkonu:

Pro možnost porovnání parního stroje a parní turbíny byly voleny svorkové výkony parního stroje podobné jako svorkové výkony parní turbíny dle tabulky 7.

Obecně lze vnitřní výkon parního stroje vypočítat - názorně na svorkovém výkonu turbíny 36kW:

Zpětné zjištění vnitřního výkonu stupně turbíny:

$$P_i = \frac{P_{sv}}{\eta_m * \eta_{př} * \eta_{gen}} = 41,12kW$$

Výpočet množství páry parního stroje:

$$M_j = \frac{P_i}{H_{is} * \eta_{tdi}} = 0,21kg / s = 0,757t / h$$

Výpočet tepelného výkonu:

$$P_{TEP} = M_j * (i_{vys} - i_{vst}) = 489,142kW$$

Výpočet množství paliva:

$$P_{TEP,PAL} = \frac{P_{TEP}}{\eta_K} = 537,52kW$$

$$m_{PAL} = \frac{P_{TEP,PAL}}{Q_r^i} = 0,043kg / s = 0,155t / h$$

svorkový výkon parního stroje:

$$P_{sv} = P_i * \eta_m * \eta_{gen} = 37,9kW$$

Veškeré numerické výsledky výpočtů jsou uvedeny v tabulce 8.3.

8.3 Souhrn všech vypočtených hodnot parního stroje a tepelných výkonů kotlů

KOTEL O NIŽŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 0,8 \text{ MPa} / \text{sytá pára}$					
P_{svo} [kW]	η_{tdi} [-]	P_{TEP} [kWt]	M_{PAL} [t/h]	M_j [kg/s]	M_j [t/h]
14,021	0,6	180,983	0,057	0,078	0,280
25,126	0,6	324,329	0,103	0,139	0,502
37,895	0,6	489,142	0,155	0,210	0,757
50,326	0,6	649,608	0,206	0,279	1,005
60,000	0,6	774,475	0,245	0,333	1,198
77,389	0,6	998,937	0,316	0,429	1,545
95,368	0,6	1231,008	0,390	0,529	1,904
KOTEL O VYŠŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 1,3 \text{ MPa} / 210^\circ\text{C}$					
P_{svo} [kW]	η_{tdi} [-]	P_{TEP} [kWt]	M_{PAL} [t/h]	M_j [kg/s]	M_j [t/h]
111,853	0,6	1174,174	0,372	0,490	1,765
117,579	0,6	1234,286	0,391	0,515	1,856
138,905	0,6	1458,159	0,461	0,609	2,192

Tab. 8.3 Souhrn všech vypočtených hodnot parního stroje a tepelných výkonů kotlů

9. TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ ROČNÍHO PROVOZU

TEPLÁRNY

9.1 Technicko-ekonomické vyhodnocení ročního provozu s použitím turbíny

9.1.1 Popis potřebných hodnot pro výpočet

ELEKTRICKÝ VÝKON

Vypočítaný svorkový výkon, který dodává daná turbína do elektrické sítě přes generátor v kW viz. kapitola 5.2.2.4

ROČNÍ VÝROBA TEPLA

Množství tepla vyrobeného do tepelné soustavy v GJ/rok.

Hodnota odečtená ze získaných dat od provozovatele výtopny ve Velkém Karlově viz.3.2, 3.3

ROČNÍ DOBA VYUŽITÍ

Doba po kterou bude tepelná soustava v provozu v h/rok

Počet hodin volen dle úvahy provozování. Je třeba prověřit výhodnost provozu.

CENA PRODÁVANÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE

Cena, za kterou jsme schopni elektrickou energii prodat, čili za kolik peněz bude vykoupena v Kč/kWh. Výkupní cena elektrické energie z biomasy je zvýhodněna a je stanovena. Částka pro tento výpočet odečtena z internetových stránek energetického regulačního úřadu. [3]

CENA PRODÁVANÉHO TEPLA

Cena, za kterou jsme schopni tepelnou energii prodat odběratelům Kč/GJ.

Cena prodávajícího tepla pro tuto práci byla získána od obce Velký Karlov.

SPOTŘEBA PALIVA

Vypočítané množství paliva z tepelného výkonu, účinnosti kotle a výhřevnosti paliva v t/h. viz. kapitola 6.2

CENA BIOMASY

Cena, za kterou se dá nakoupit palivo v Kč/t. Částka se odvíjí od výhřevnosti paliva, čerpáno dle internetových stránek tzb-info. viz kapitola 6.2 [2]

PROVOZNÍ NÁKLADY

Suma peněz určena pro roční provoz teplárny a její údržbu.

Částka volena po domluvě s vedoucím diplomové práce.

DISKONTNÍ SAZBA

Výnosová míra, kterou jsou diskontovány (přečítány) budoucí peněžní toky na současnou hodnotu v %. Diskontní sazba ke dni 19.5.2010 byla odečtena z internetové adresy České národní banky. [4]

NÁKLADY NA PŘIPOJENÍ (REALIZACI)

Peníze vyhrazené pro uskutečnění připojení nového zařízení.

Částka volena po domluvě s vedoucím diplomové práce.

POŘIZOVACÍ CENA KOTLE

Cena kotle roste s jeho výkonem.

Pořizovací cena volena po konzultaci s ředitelem firmy Inteka Brno, která se zabývá dodávkou a montáží zařízení v oblasti tepelné energetiky a jiných obdobných oblastech.

POŘIZOVACÍ CENA TURBÍNY

Cena turbíny roste s jejím výkonem.

Pořizovací cena volena po domluvě s vedoucím diplomové práce.

9.1.2 Varianta (1), potřebné hodnoty pro názorný výpočet technicko-ekonomického vyhodnocení s instalací turbíny

Provozování teplárny je zde voleno ve stejném časovém pásmu jako doposud pracovala výtopna, což je pouze po dobu potřeby tepla, (cca 6500 h/rok). V dobách nízkého odběru tepla se přebytečné množství bude mařit ve vzduchovém chladiči, aby turbína mohla stále vyrábět maximální množství elektrické energie.

HODNOTY PRO VÝPOČET		
ELEKTRICKÝ VÝKON	36	kW
ROČNÍ VÝROBA TEPLA	6409	GJ/rok
ROČNÍ DOBA VYUŽITÍ	6500	h/rok
CENA PRODÁVANÉ ELEKTIRCKÉ ENERGIE	4,58	kč/kWh
CENA PRODÁVANÉHO TEPLA	300	kč/GJ
SPOTŘEBA PALIVA	0,1806	t/h
CENA BIOMASY	1700	kč/t
PROVOZNÍ NÁKLADY	50000	kč/rok
DISKONTNÍ SAZBA	0,25	%
NÁKLADY NA PRIPOJENÍ (REALIZACI)	300000	Kč
POŘIZOVACÍ CENA KOTLE	250000000	Kč
POŘIZOVACÍ CENA TURBÍNY	750000	Kč

Tab. 9.1.2 Vstupní hodnoty pro výpočet varianty (1) - turbína

9.1.3 Názorný výpočet technicko-ekonomického vyhodnocení s instalací turbíny o svorkovém výkonu 36 kW

roční výroba elektrické energie

$$E_r = P_{sv} * \tau_r = 36 * 6500 = 234000kWh$$

roční výroba tepla

$$Q_r = 6409GJ$$

roční tržba

- o Elektřina:

$$N_E = E_r * C_E = 324000 * 4,58 = 1071720Kč$$

- o Teplo

$$N_Q = Q_r * C_T = 6409 * 300 = 1922700Kč$$

roční provozní náklady

$$N_{PAL} = M_{PAL} * \tau_r * C_{PAL} = 0,1806 * 6500 * 1700 = 1995630 \text{ Kč / rok}$$

$$N_P = N_{PAL} + N_{PRO} = 1995630 + 50000 = 2045630 \text{ Kč / rok}$$

POHLED PROJEKTANTA

cash flow

$$V = N_E + N_Q = 1071720 + 1922700 = 2994420 \text{ Kč / rok}$$

$$CF = V - N_P = 2994420 - 2045630 = 948790 \text{ Kč / rok}$$

investiční náklady

$$N_i = C_T + C_K + C_R = 750000 + 2500000 + 300000 = 3550000 \text{ Kč}$$

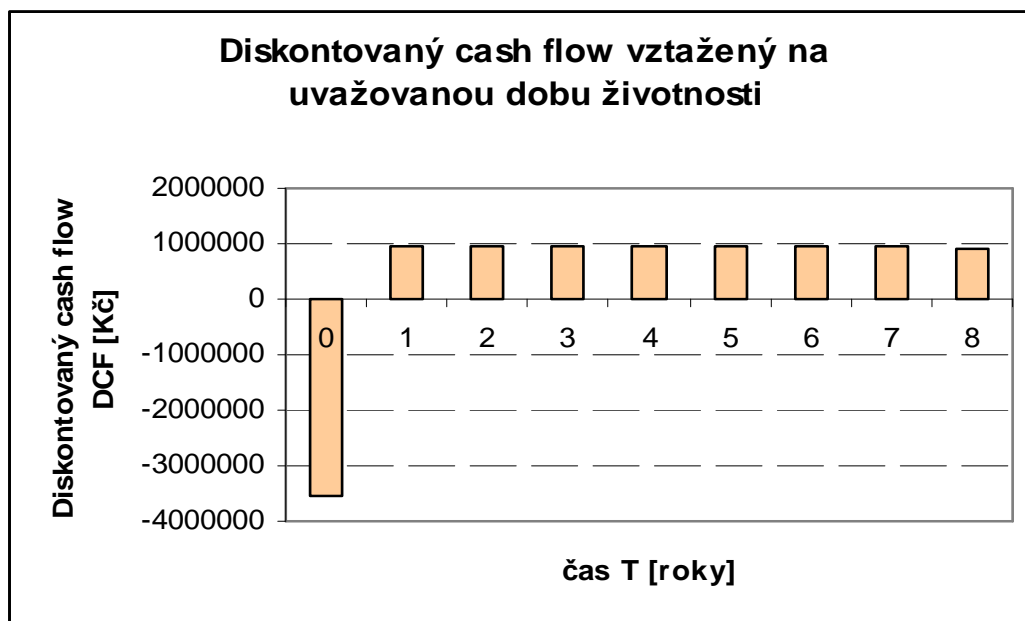
Rok	Investiční náklady	Cash flow	Diskontovaný cash flow	Kumulovaný diskontní cash flow
0	-3550000	-3550000	-3550000	-3550000
1		948790	946424	-2603576
2		948790	944064	-1659512
3		948790	941710	-717803
4		948790	939361	221558
5		948790	937019	1158577
6		948790	934682	2093259
7		948790	932351	3025610
8		948790	930026	3955636

Tab. 9.1.3-1 Cash flow s uvažováním časové hodnoty peněz

Vypočet je provedený na dobu 8 let z důvodu přibližné hranice životnosti kotle.

prostá doba návratnosti

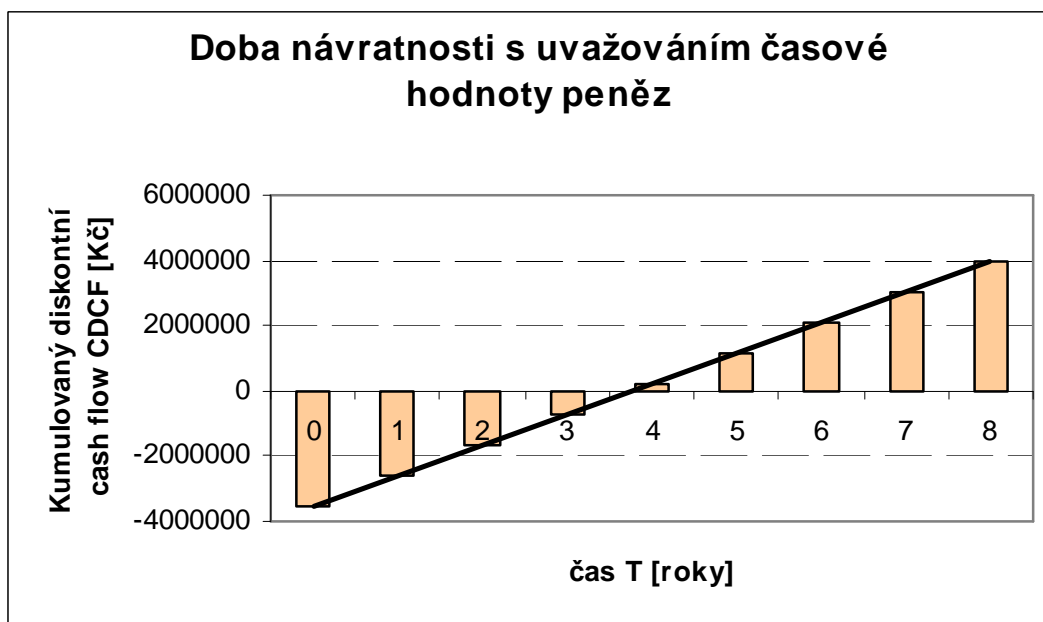
$$T_0 = \frac{N_i}{CF} = \frac{3550000}{948790} = 3,74 \text{ roků}$$



Obr. 9.1.3-2 Diskontovaný cash flow vztažený na uvažovanou dobu životnosti - turbína

doba návratnosti s uvažováním časové hodnoty peněz

$$T_s = \frac{\ln \frac{1}{1 - T_0 * d}}{\ln(1 + d)} = \frac{\ln \frac{1}{1 - 3,74 * 0,0025}}{\ln(1 + 0,0025)} = 3,77 \text{ roků}$$



Obr. 9.1.3-3 Doba návratnosti s uvažováním časové hodnoty peněz - turbína

9.1.4 Vypočítané doby návratnosti tepelné soustavy s instalací turbín

KOTEL O NIŽŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 0,8 \text{ MPa}$ / sytá pára					
P_{SVO} [kW]	M_{PAL} [t/h]	P_{TEP} [kWt]	N_i [Kč]	T_s [roky] (1)	
13,320	0,0903	285,393	3550000	2,81	
23,870	0,1355	428,089	3550000	3,29	
36,000	0,1806	570,786	3550000	3,77	
47,810	0,2258	713,482	3550000	4,46	
57,000	0,2710	856,179	3618159	6,35	
73,520	0,3387	1070,223	3778812	12,05	
90,600	0,4064	1284,268	3945322	53,71	
KOTEL O VYŠŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 1,3 \text{ MPa}$ / 210°C					
P_{SVO} [kW]	M_{PAL} [t/h]	P_{TEP} [kWt]	N_i [Kč]	T_s [roky] (1)	
106,26	0,3857	1218,855	4046587	5,27	
111,70	0,4041	1276,896	4085535	5,62	
131,96	0,4592	1451,018	4260801	5,91	

Tab.9.1.4 Vypočítané doby návratnosti tepelné soustavy s instalací turbín

9.1.5 Celkové účinnosti teplárny s použitím turbíny

- o účinnost teplárny vztažená k elektrickému výkonu – turbína $P_{sv}=36\text{kW}$

$$\eta_T^E = \frac{P_{SV}}{M_{PAL} * Q_r^i} = 0,0574 = 5,7\%$$

Vzhledem k parametrům páry musí vyjít tepelná účinnost Rankine – Clausiova cyklu takto nízká a kdyby nebylo dotované výkupní ceny elektrické energie z biomasy, nikdo by takovou elektrárnu nenavrhol

- o účinnost teplárny celková (roční) – použití turbíny:

$$\eta_T^C = \frac{P_{SV} + Q_{TEP}}{M_{PAL} * Q_r^i} = \frac{E_r + Q_r}{M_{PAL}^{ROK} * Q_r^i} = 0,299 = 29,9\%$$

Jelikož se vlastně nejedná o teplárnu z důvodu částečného zatížení v roce provozujete jako kondenzační elektrárnu s nízkou účinností pak celková roční účinnost vychází podstatně menší, než by se pro teplárnu očekávalo (75-85%).

- o účinnost teplárny celková (okamžitá) – použití turbíny:

$$\eta_T^C = \frac{P_{SV} + Q_{TEP}}{M_{PAL} * Q_r^i} = 0,855 = 85,5\%$$

Provoz v zimě při plném elektrickém výkonu 36kW a tepelném odběru cca 500 kW

9.2 Technicko-ekonomické vyhodnocení ročního provozu s použitím parního stroje

9.2.1 Varianta (1), potřebné hodnoty pro názorný výpočet technicko-ekonomického vyhodnocení s instalací parního stroje

Provozování teplárny je zde voleno ve stejném časovém pásmu jako doposud pracovala výtopna, což je pouze po dobu potřeby tepla, (cca 6500 h/rok). V dobách nízkého odběru tepla se přebytečné množství bude mařit ve vzduchovém chladiči, aby parní stroj mohl stále vyrábět maximální množství elektrické energie.

HODNOTY PRO VÝPOČET		
ELEKTRICKÝ VÝKON	37,9	kW
ROČNÍ VÝROBA TEPLA	6409	GJ/rok
ROČNÍ DOBA VYUŽITÍ	6500	h/rok
CENA PRODÁVANÉ ELEKTIRCKÉ ENERGIE	4,58	kč/kWh
CENA PRODÁVANÉHO TEPLA	300	kč/GJ
SPOTŘEBA PALIVA	0,155	t/h
CENA BIOMASY	1700	kč/t
PROVOZNÍ NÁKLADY	50000	kč/rok
DISKONTNÍ SAZBA	0,25	%
INVESTIČNÍ NÁKLADY NA CELÝ PROJEKT	3500000	Kč

Tab. 9.2.1 Vstupní hodnoty pro výpočet varianty (1) – parní stroj

9.2.2 Názorný výpočet technicko-ekonomického vyhodnocení s instalací parního stroje o svorkovém výkonu 37,9 kW

roční výroba elektrické energie

$$E_r = P_{SV} * \tau_r = 37,9 * 6500 = 246317,5 kWh$$

roční výroba tepla

$$Q_r = 6409 GJ$$

roční tržba

- o Elektřina:

$$N_E = E_r * C_E = 246317,5 * 4,58 = 1128134 Kč$$

- o Teplo

$$N_Q = Q_r * C_T = 6409 * 300 = 1922700 \text{Kč}$$

roční provozní náklady

$$N_{PAL} = M_{PAL} * \tau_r * C_{PAL} = 0,155 * 6500 * 1700 = 1712750 \text{Kč} / \text{rok}$$

$$N_p = N_{PAL} + N_{PRO} = 1712750 + 50000 = 1762750 \text{Kč} / \text{rok}$$

POHLED PROJEKTANTA

cash flow

$$V = N_E + N_Q = 1128134 + 1922700 = 3050834 \text{Kč} / \text{rok}$$

$$CF = V - N_p = 3050834 - 1762750 = 1288084 \text{Kč} / \text{rok}$$

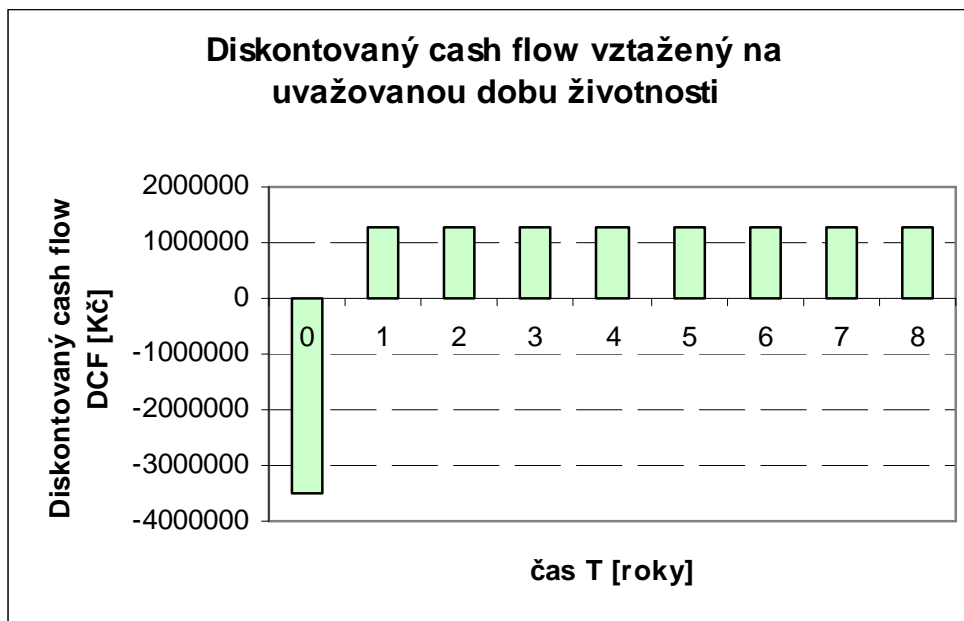
Rok	Investiční náklady	Cash flow	Diskontovaný cash flow	Kumulovaný diskontní cash flow
0	-3500000	-3500000	-3500000	-3500000
1		1288084	1284872	-2215128
2		1288084	1281668	-933460
3		1288084	1278472	345011
4		1288084	1275283	1620295
5		1288084	1272103	2892398
6		1288084	1268931	4161329
7		1288084	1265766	5427095
8		1288084	1262610	6689705

Tab. 9.2.2-1 Cash flow s uvažováním časové hodnoty peněz – parní stroj

Vypočet je provedený na dobu 8 let z důvodu přibližné hranice životnosti kotle.

prostá doba návratnosti

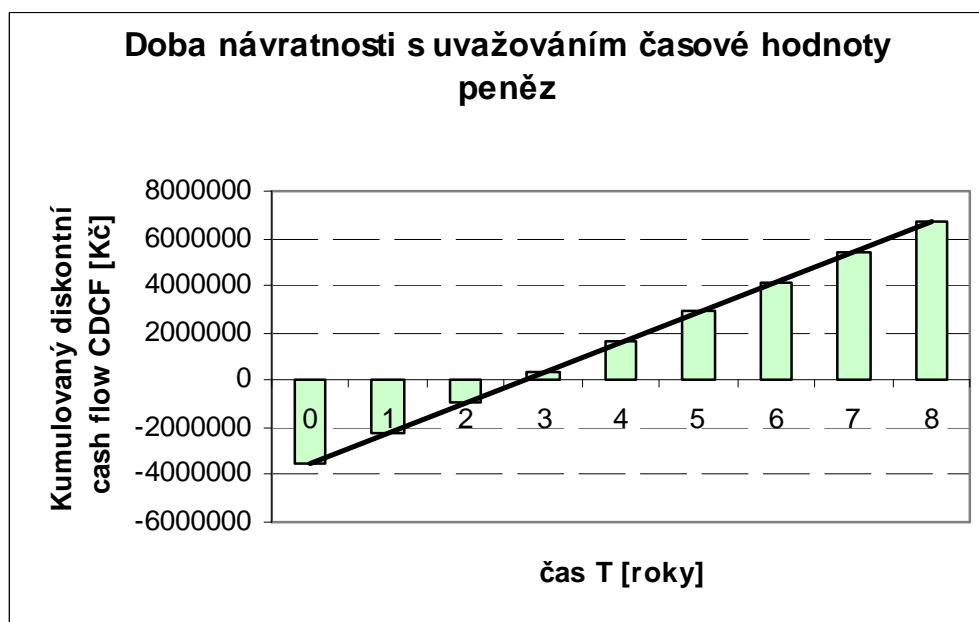
$$T_0 = \frac{N_i}{CF} = \frac{3500000}{1288084} = 2,72 \text{roků}$$



Obr. 9.2.2-2 Diskontovaný cash flow vztažený na uvažovanou dobu životnosti – parní stroj

doba návratnosti s uvažováním časové hodnoty peněz

$$T_s = \frac{\ln \frac{1}{1 - T_0 * d}}{\ln(1 + d)} = \frac{\ln \frac{1}{1 - 2,72 * 0,0025}}{\ln(1 + 0,0025)} = 2,73 \text{roky}$$



Obr. 9.2.2-3 Doba návratnosti s uvažováním časové hodnoty peněz – parní stroj

9.2.3 Vypočítané doby návratnosti tepelné soustavy s instalací parního stroje

KOTEL O NIŽŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 0,8 \text{ MPa} / \text{sytá pára}$				
P_{svo} [kW]	M_{PAL} [t/h]	P_{TEP} [kWt]	N_i [Kč]	T_s [roky] (1)
14,021	0,057	180,983	3000000	1,81
25,126	0,103	324,329	3000000	2,03
37,895	0,155	489,142	3500000	2,73
50,326	0,206	649,608	3500000	3,21
60	0,245	774,475	3600000	3,81
77,389	0,316	998,937	3770000	5,55
95,368	0,39	1231,008	4000000	10,08
KOTEL O VYŠŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 1,3 \text{ MPa} / 210^\circ\text{C}$				
P_{svo} [kW]	M_{PAL} [t/h]	P_{TEP} [kWt]	N_i [Kč]	T_s [roky] (1)
111,853	0,372	1174,174	4120000	3,8
117,579	0,391	1234,286	4170000	3,99
138,905	0,461	1458,159	4390000	4,84

Tab. 9.2.3 Vypočítané doby návratnosti tepelné soustavy s instalací parního stroje varianty (1)

9.3 Zvážení a zkouška možných variant ročního provozu tepelné soustavy s technicko ekonomickým vyhodnocení - turbína

Varianty:

- 1) Uvedena v názorném výpočtu viz. kapitola 9.1
- 2) Provozování teplárny po celý rok (8760hodin)
- 3) Varianta s možností vlastního paliva či jeho získávání s min. náklady (palivo 0 Kč) + provozování teplárny po celý rok (palivo 0 Kč + provoz 8760hod)
- 4) Varianta s možností vlastního paliva či jeho získávání s min. náklady + provozování teplárny pouze v potřebu odběratelů tepla (palivo 0 Kč + provoz 6500hod)
- 5) Navýšení ceny za prodávané teplo odběratelům o 20Kč/GJ (320Kč/GJ)

9.3.1 Varianta (2), provozování teplárny po celý rok (8760 hodin)

Provozování teplárny je zde voleno po celý rok (8760 h), což je nepřetržitý provoz, i přes téměř veškeré maření tepla v teplých měsících v roce (2260h/rok) pomocí vzduchového chladiče. Záměrem je zde zjistit, zda se stane výhodným provoz pouze na výrobu elektrické energie (elektrárny) při tak nízké účinnosti a výhodné výkupní ceně energie. Nastává výhoda pro odběratele tepla, mohou kdykoliv odebrat teplo, v letních měsících především jako teplou užitkovou vodu.

HODNOTY PRO VÝPOČET		
ELEKTRICKÝ VÝKON	mění se	kW
ROČNÍ VÝROBA TEPLA	6409	GJ/rok
ROČNÍ DOBA VYUŽITÍ	8760	h/rok
CENA PRODÁVANÉ ELEKTIRCKÉ ENERGIE	4,58	kč/kWh
CENA PRODÁVANÉHO TEPLA	300	kč/GJ
SPOTŘEBA PALIVA	mění se	t/h
CENA BIOMASY	1700	kč/t
PROVOZNÍ NÁKLADY	50000	kč/rok
DISKONTNÍ SAZBA	0,25	%

Tab. 9.3.1-1 Vstupní hodnoty pro výpočet varianty (2) – turbína

KOTEL O NIŽŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 0,8$ MPa / sytá pára				
P_{svo} [kW]	M_{PAL} [t/h]	P_{TEP} [kWt]	N_i [Kč]	T_s [roky] (2)
13,320	0,0903	285,393	3550000	3,36
23,870	0,1355	428,089	3550000	4,40
36,000	0,1806	570,786	3550000	5,71
47,810	0,2258	713,482	3550000	8,39
57,000	0,2710	856,179	3618159	30,25
73,520	0,3387	1070,223	3778812	16,00
90,600	0,4064	1284,268	3945322	7,18
KOTEL O VYŠŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 1,3$ MPa / 210°C				
P_{svo} [kW]	M_{PAL} [t/h]	P_{TEP} [kWt]	N_i [Kč]	T_s [roky] (2)
106,26	0,3857	1218,855	4046587	10,49
111,70	0,4041	1276,896	4085535	12,36
131,96	0,4592	1451,018	4260801	13,21

Tab. 9.3.1-2 Vypočítané doby návratnosti tepelné soustavy s instalací turbíny varianty (2)

9.3.2 Varianta číslo (3), možnost vlastního paliva či jeho získávání s min. náklady + provozování teplárny po celý rok (palivo 0 Kč + provoz 8760hod)

Teplárna je zde provozována po celý rok (8760h), to je celoroční výroba elektrické energie a výroby tepelné energie, avšak s mařením nespotebovaného tepla spotřebiteli ve vzduchovém chladiči. Varianta je volena pro možnost získávání vlastního paliva či jeho ziskem s minimálními náklady (cena za palivo 0Kč).

HODNOTY PRO VÝPOČET		
ELEKTRICKÝ VÝKON	mění se	kW
ROČNÍ VÝROBA TEPLA	6409	GJ/rok
ROČNÍ DOBA VYUŽITÍ	8760	h/rok
CENA PRODÁVANÉ ELEKTIRCKÉ ENERGIE	4,58	kč/kWh
CENA PRODÁVANÉHO TEPLA	300	kč/GJ
SPOTŘEBA PALIVA	mění se	t/h
CENA BIOMASY	0	kč/t
PROVOZNÍ NÁKLADY	50000	kč/rok
DISKONTNÍ SAZBA	0,25	%

Tab. 9.3.2-1 Vstupní hodnoty pro výpočet varianty (3) – turbína

KOTEL O NIŽŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 0,8 \text{ MPa} / \text{sytá pára}$				
P_{SVO} [kW]	M_{PAL} [t/h]	P_{TEP} [kWt]	N_i [Kč]	T_s [roky] (3)
13,320	0,0903	285,393	3550000	1,48
23,870	0,1355	428,089	3550000	1,26
36,000	0,1806	570,786	3550000	1,07
47,810	0,2258	713,482	3550000	0,94
57,000	0,2710	856,179	3618159	0,87
73,520	0,3387	1070,223	3778812	0,79
90,600	0,4064	1284,268	3945322	0,72
KOTEL O VYŠŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 1,3 \text{ MPa} / 210^\circ\text{C}$				
P_{SVO} [kW]	M_{PAL} [t/h]	P_{TEP} [kWt]	N_i [Kč]	T_s [roky] (3)
106,26	0,3857	1218,855	4046587	0,66
111,70	0,4041	1276,896	4085535	0,64
131,96	0,4592	1451,018	4260801	0,60

Tab. 9.3.2-2 Vypočítané doby návratnosti tepelné soustavy s instalací turbíny varianty (3)

9.3.3 Varianta (4), možnost vlastního paliva či jeho získávání s min. náklady + provozování teplárny pouze v potřebu odběratelů tepla (palivo 0 Kč + provoz 6500hod)

Teplárna je provozována po dobu odběru tepelné energie (cca 6500 h/rok), provozem je tedy zastavena i výroba elektrické energie. Nespotřebované teplo spotřebiteli je opět mařeno ve vzduchovém chladiči. Varianta je volena pro možnost získávání vlastního paliva či jeho získkem s minimálními náklady (cena za palivo 0Kč).

HODNOTY PRO VÝPOČET		
ELEKTRICKÝ VÝKON	mění se	kW
ROČNÍ VÝROBA TEPLA	6409	GJ/rok
ROČNÍ DOBA VYUŽITÍ	6500	h/rok
CENA PRODÁVANÉ ELEKTIRCKÉ ENERGIE	4,58	kč/kWh
CENA PRODÁVANÉHO TEPLA	300	kč/GJ
SPOTŘEBA PALIVA	mění se	t/h
CENA BIOMASY	0	kč/t
PROVOZNÍ NÁKLADY	50000	kč/rok
DISKONTNÍ SAZBA	0,25	%

Tab. 9.3.3-1 Vstupní hodnoty pro výpočet varianty (4) – turbína

KOTEL O NIŽŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 0,8 \text{ MPa} / \text{sytá pára}$				
$P_{\text{SVO}} [\text{kW}]$	$M_{\text{PAL}} [\text{t/h}]$	$P_{\text{TEP}} [\text{kWt}]$	$N_i [\text{Kč}]$	$T_s [\text{roky}] (4)$
13,32	0,0903	285,393	3550000	1,57
23,87	0,1355	428,089	3550000	1,38
36	0,1806	570,786	3550000	1,21
47,81	0,2258	713,482	3550000	1,08
57	0,271	856,179	3618159	1,02
73,52	0,3387	1070,22	3778812	0,93
90,6	0,4064	1284,27	3945322	0,87
KOTEL O VYŠŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 1,3 \text{ MPa} / 210^\circ\text{C}$				
$P_{\text{SVO}} [\text{kW}]$	$M_{\text{PAL}} [\text{t/h}]$	$P_{\text{TEP}} [\text{kWt}]$	$N_i [\text{Kč}]$	$T_s [\text{roky}] (4)$
106,26	0,3857	1218,86	4046587	0,81
111,70	0,4041	1276,9	4085535	0,79
131,96	0,4592	1451,02	4260801	0,74

Tab. 9.3.3-2 Vypočítané doby návratnosti tepelné soustavy s instalací turbíny varianty (4)

9.3.4 Varianta (5), navýšení ceny za prodávané teplo o 20Kč/GJ (320Kč/GJ)

Provozování teplárny je zde voleno ve stejném časovém pásmu jako doposud pracovala výtopna, což je pouze po dobu potřeby tepla, (cca 6500 h/rok). V dobách nízkého odběru tepla se přebytečné množství bude mařit ve vzduchovém chladiči, aby turbína mohla stále vyrábět maximální množství elektrické energie. Prodané teplo je zde vůči ostatním výpočtům navýšeno o 20Kč/GJ, tudíž cena za prodávané teplo (320Kč/GJ).

HODNOTY PRO VÝPOČET		
ELEKTRICKÝ VÝKON	mění se	kW
ROČNÍ VÝROBA TEPLA	6409	GJ/rok
ROČNÍ DOBA VYUŽITÍ	6500	h/rok
CENA PRODÁVANÉ ELEKTIRCKÉ ENERGIE	4,58	kč/kWh
CENA PRODÁVANÉHO TEPLA	320	kč/GJ
SPOTŘEBA PALIVA	mění se	t/h
CENA BIOMASY	1700	kč/t
PROVOZNÍ NÁKLADY	50000	kč/rok
DISKONTNÍ SAZBA	0,25	%

Tab. 9.3.4-1 Vstupní hodnoty pro výpočet varianty (5) – turbína

KOTEL O NIŽŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 0,8$ MPa / sytá pára				
P_{svo} [kW]	M_{PAL} [t/h]	P_{TEP} [kWt]	N_i [Kč]	T_s [roky] (5)
13,320	0,0903	285,393	3550000	2,55
23,870	0,1355	428,089	3550000	2,94
36,000	0,1806	570,786	3550000	3,32
47,810	0,2258	713,482	3550000	3,84
57,000	0,2710	856,179	3618159	5,18
73,520	0,3387	1070,223	3778812	8,56
90,600	0,4064	1284,268	3945322	19,57
KOTEL O VYŠŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 1,3$ MPa / 210°C				
P_{svo} [kW]	M_{PAL} [t/h]	P_{TEP} [kWt]	N_i [Kč]	T_s [roky] (5)
106,26	0,3857	1218,855	4046587	4,52
111,70	0,4041	1276,896	4085535	4,78
131,96	0,4592	1451,018	4260801	5,02

Tab. 9.3.4-2 Vypočítané doby návratnosti tepelné soustavy s instalací turbíny varianty (5)

9.4 Zvážení a zkouška možných variant ročního provozu tepelné soustavy s technicko ekonomickým vyhodnocení – parní stroj

Varianty:

- 1) Uvedena v názorném výpočtu viz. kapitola 9.2
- 2) Provozování teplárny po celý rok (8760hodin)
- 3) Varianta s možností vlastního paliva či jeho získávání s min. náklady (palivo 0 Kč) + provozování teplárny po celý rok (palivo 0 Kč + provoz 8760hod)
- 4) Varianta s možností vlastního paliva či jeho získávání s min. náklady + provozování teplárny pouze v potřebu odběratelů tepla (palivo 0 Kč + provoz 6500hod)
- 5) Navýšení ceny za prodávané teplo odběratelům o 20Kč/GJ (320Kč/GJ)

9.4.1 Varianta (2), provozování teplárny po celý rok (8760 hodin)

Provozování teplárny je zde voleno po celý rok (8760 h), což je nepřetržitý provoz, i přes téměř veškeré maření tepla v teplých měsících v roce (2260h/rok) pomocí vzduchového chladiče. Záměrem je zde zjistit, zda se stane výhodným provoz pouze na výrobu elektrické energie (elektrárny) při tak nízké účinnosti a výhodné výkupní ceně energie. Nastává výhoda pro odběratele tepla, mohou kdykoliv odebírat teplo, v letních měsících především jako teplou užitkovou vodu.

HODNOTY PRO VÝPOČET		
ELEKTRICKÝ VÝKON	mění se	kW
ROČNÍ VÝROBA TEPLA	6409	GJ/rok
ROČNÍ DOBA VYUŽITÍ	8760	h/rok
CENA PRODÁVANÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE	4,58	kč/kWh
CENA PRODÁVANÉHO TEPLA	300	kč/GJ
SPOTŘEBA PALIVA	mění se	t/h
CENA BIOMASY	1700	kč/t
PROVOZNÍ NÁKLADY	50000	kč/rok
DISKONTNÍ SAZBA	0,25	%

Tab. 9.4.1-1 Vstupní hodnoty pro výpočet varianty (2) – parní stroj

KOTEL O NIŽŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 0,8 \text{ MPa} / \text{syta pára}$				
P_{svo} [kW]	M_{PAL} [t/h]	P_{TEP} [kWt]	N_i [Kč]	T_s [roky] (2)
14,021	0,057	180,983	3000000	1,9
25,126	0,103	324,329	3000000	2,24
37,895	0,155	489,142	3500000	3,24
50,326	0,206	649,608	3500000	4,28
60	0,245	774,475	3600000	5,75
77,389	0,316	998,937	3770000	14,14
95,368	0,39	1231,008	4000000	35,17

KOTEL O VYŠŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 1,3 \text{ MPa} / 210^\circ\text{C}$				
P_{svo} [kW]	M_{PAL} [t/h]	P_{TEP} [kWt]	N_i [Kč]	T_s [roky] (2)
111,853	0,372	1174,174	4120000	5,06
117,579	0,391	1234,286	4170000	5,48
138,905	0,461	1458,159	4390000	7,64

Tab. 9.4.1-2 Vypočítané doby návratnosti tepelné soustavy s instalací parního stroje varianty (2)

9.4.2 Varianta číslo (3), možnost vlastního paliva či jeho získávání s min. náklady + provozování teplárny po celý rok (palivo 0 Kč + provoz 8760hod)

Teplárna je zde provozována po celý rok (8760h), to je celoroční výroba elektrické energie a výroby tepelné energie, avšak s mařením nespotřebovaného tepla spotřebiteli ve vzduchovém chladiči. Varianta je volena pro možnost získávání vlastního paliva či jeho získkem s minimálními náklady (cena za palivo 0Kč).

HODNOTY PRO VÝPOČET		
ELEKTRICKÝ VÝKON	mění se	kW
ROČNÍ VÝROBA TEPLA	6409	GJ/rok
ROČNÍ DOBA VYUŽITÍ	8760	h/rok
CENA PRODÁVANÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE	4,58	kč/kWh
CENA PRODÁVANÉHO TEPLA	300	kč/GJ
SPOTŘEBA PALIVA	mění se	t/h
CENA BIOMASY	0	kč/t
PROVOZNÍ NÁKLADY	50000	kč/rok
DISKONTNÍ SAZBA	0,25	%

Tab. 9.4.2-1 Vstupní hodnoty pro výpočet varianty (3) – parní stroj

KOTEL O NIŽŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 0,8 \text{ MPa} / \text{sytá pára}$				
P_{svo} [kW]	M_{PAL} [t/h]	P_{TEP} [kWt]	N_i [Kč]	T_s [roky] (3)
14,021	0,057	180,983	3000000	1,24
25,126	0,103	324,329	3000000	1,04
37,895	0,155	489,142	3500000	1,03
50,326	0,206	649,608	3500000	0,9
60	0,245	774,475	3600000	0,84
77,389	0,316	998,937	3770000	0,76
95,368	0,39	1231,008	4000000	0,7
KOTEL O VYŠŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 1,3 \text{ MPa} / 210^\circ\text{C}$				
P_{svo} [kW]	M_{PAL} [t/h]	P_{TEP} [kWt]	N_i [Kč]	T_s [roky] (3)
111,853	0,372	1174,174	4120000	0,65
117,579	0,391	1234,286	4170000	0,63
138,905	0,461	1458,159	4390000	0,59

Tab. 9.4.2-2 Vypočítané doby návratnosti tepelné soustavy s instalací parního stroje varianty (3)

9.4.3 Varianta (4), možnost vlastního paliva či jeho získávání s min. náklady + provozování teplárny pouze v potřebu odběratelů tepla (palivo 0 Kč + provoz 6500hod)

Teplárna je provozována po dobu odběru tepelné energie (cca 6500 h/rok), provozem je tedy zastavena i výroba elektrické energie. Nespotřebované teplo spotřebiteli je opět mařeno ve vzduchovém chladiči. Varianta je volena pro možnost získávání vlastního paliva či jeho získkem s minimálními náklady (cena za palivo 0Kč).

HODNOTY PRO VÝPOČET		
ELEKTRICKÝ VÝKON	mění se	kW
ROČNÍ VÝROBA TEPLA	6409	GJ/rok
ROČNÍ DOBA VYUŽITÍ	6500	h/rok
CENA PRODÁVANÉ ELEKTIRCKÉ ENERGIE	4,58	kč/kWh
CENA PRODÁVANÉHO TEPLA	300	kč/GJ
SPOTŘEBA PALIVA	mění se	t/h
CENA BIOMASY	0	kč/t
PROVOZNÍ NÁKLADY	50000	kč/rok
DISKONTNÍ SAZBA	0,25	%

Tab. 9.4.3-1 Vstupní hodnoty pro výpočet varianty (4) – parní stroj

KOTEL O NIŽŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 0,8 \text{ MPa} / \text{syťá pára}$				
P_{svo} [kW]	M_{PAL} [t/h]	P_{TEP} [kWt]	N_i [Kč]	T_s [roky] (4)
14,021	0,057	180,983	3000000	1,31
25,126	0,103	324,329	3000000	1,15
37,895	0,155	489,142	3500000	1,17
50,326	0,206	649,608	3500000	1,04
60	0,245	774,475	3600000	0,99
77,389	0,316	998,937	3770000	0,9
95,368	0,39	1231,008	4000000	0,85
KOTEL O VYŠŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 1,3 \text{ MPa} / 210^\circ\text{C}$				
P_{svo} [kW]	M_{PAL} [t/h]	P_{TEP} [kWt]	N_i [Kč]	T_s [roky] (4)
111,853	0,372	1174,174	4120000	0,79
117,579	0,391	1234,286	4170000	0,78
138,905	0,461	1458,159	4390000	0,73

Tab. 9.4.3-2 Vypočítané doby návratnosti tepelné soustavy s instalací parního stroje varianty (4)

9.4.4 Varianta (5), navýšení ceny za prodávané teplo o 20Kč/GJ (320Kč/GJ)

Provozování teplárny je zde voleno ve stejném časovém pásmu jako doposud pracovala výtopna, což je pouze po dobu potřeby tepla, (cca 6500 h/rok). V dobách nízkého odběru tepla se přebytečné množství bude mařit ve vzduchovém chladiči, aby parní stroj mohl stále vyrábět maximální množství elektrické energie. Prodané teplo je zde vůči ostatním výpočtům navýšeno o 20Kč/GJ, tudíž cena za prodávané teplo (320Kč/GJ).

HODNOTY PRO VÝPOČET		
ELEKTRICKÝ VÝKON	mění se	kW
ROČNÍ VÝROBA TEPLA	6409	GJ/rok
ROČNÍ DOBA VYUŽITÍ	6500	h/rok
CENA PRODÁVANÉ ELEKTIRCKÉ ENERGIE	4,58	kč/kWh
CENA PRODÁVANÉHO TEPLA	320	kč/GJ
SPOTŘEBA PALIVA	mění se	t/h
CENA BIOMASY	1700	kč/t
PROVOZNÍ NÁKLADY	50000	kč/rok
DISKONTNÍ SAZBA	0,25	%

Tab. 9.4.4-1 Vstupní hodnoty pro výpočet varianty (5) – parní stroj

KOTEL O NIŽŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 0,8 \text{ MPa} / \text{sytá pára}$				
P_{svo} [kW]	M_{PAL} [t/h]	P_{TEP} [kWt]	N_i [Kč]	T_s [roky] (5)
14,021	0,057	180,983	3000000	1,68
25,126	0,103	324,329	3000000	1,87
37,895	0,155	489,142	3500000	2,48
50,326	0,206	649,608	3500000	2,88
60	0,245	774,475	3600000	3,35
77,389	0,316	998,937	3770000	4,67
95,368	0,39	1231,008	4000000	7,62
KOTEL O VYŠŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 1,3 \text{ MPa} / 210^\circ\text{C}$				
P_{svo} [kW]	M_{PAL} [t/h]	P_{TEP} [kWt]	N_i [Kč]	T_s [roky] (5)
111,853	0,372	1174,174	4120000	3,4
117,579	0,391	1234,286	4170000	3,55
138,905	0,461	1458,159	4390000	4,24

Tab. 9.4.4-2 Vypočítané doby návratnosti tepelné soustavy s instalací parního stroje varianty (5)

9.5 Porovnání výsledků doby návratnosti parního stroje s dobou návratnosti turbíny

9.5.1 Porovnání dob návratnosti variant 1 - 5 – parní stroj

KOTEL O NIŽŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 0,8 \text{ MPa} / \text{syťá pára}$								
P_{svo} [kW]	M_{PAL} [t/h]	P_{TEP} [kWt]	N_i [Kč]	T_s [roky] (1)	T_s [roky] (2)	T_s [roky] (3)	T_s [roky] (4)	T_s [roky] (5)
14,021	0,057	180,983	3000000	1,81	1,9	1,24	1,31	1,68
25,126	0,103	324,329	3000000	2,03	2,24	1,04	1,15	1,87
37,895	0,155	489,142	3500000	2,73	3,24	1,03	1,17	2,48
50,326	0,206	649,608	3500000	3,21	4,28	0,9	1,04	2,88
60	0,245	774,475	3600000	3,81	5,75	0,84	0,99	3,35
77,389	0,316	998,937	3770000	5,55	14,14	0,76	0,9	4,67
95,368	0,39	1231,008	4000000	10,08	35,17	0,7	0,85	7,62
KOTEL O VYŠŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 1,3 \text{ MPa} / 210^\circ\text{C}$								
P_{svo} [kW]	M_{PAL} [t/h]	P_{TEP} [kWt]	N_i [Kč]	T_s [roky] (1)	T_s [roky] (2)	T_s [roky] (3)	T_s [roky] (4)	T_s [roky] (5)
111,853	0,372	1174,174	4120000	3,8	5,06	0,65	0,79	3,4
117,579	0,391	1234,286	4170000	3,99	5,48	0,63	0,78	3,55
138,905	0,461	1458,159	4390000	4,84	7,64	0,59	0,73	4,24

Tab. 9.5.1-1 Porovnání dob návratnosti variant 1 - 5 – parní stroj

- 1) 9.2.1 Provozování teplárny voleno ve stejném časovém pásmu jako doposud pracovala výtopna, (**6500h/rok**) + cena za palivo **1700 Kč**
- 2) 9.4.1 Provozování teplárny po celý rok (**8760hod.**) + cena za palivo **1700 Kč**
- 3) 9.4.2 Varianta s možností vlastního paliva či jeho získávání s min. náklady (palivo **0 Kč**) + provozování teplárny po celý rok (palivo **0 Kč** + provoz **8760hod.**)
- 4) 9.4.3 Varianta s možností vlastního paliva či jeho získávání s min. náklady + provozování teplárny pouze v potřebu odběratelů tepla (palivo **0 Kč** + provoz **6500hod.**)
- 5) 9.4.4 Navýšení ceny za prodávané teplo odběratelům o 20Kč/GJ (**320Kč/GJ**)

HODNOTY PRO VÝPOČET		
ELEKTRICKÝ VÝKON	mění se	kW
ROČNÍ VÝROBA TEPLA	6409	GJ/rok
ROČNÍ DOBA VYUŽITÍ	6500 / 8760	h/rok
CENA PRODÁVANÉ ELEKTIRCKÉ ENERGIE	4,58	kč/kWh
CENA PRODÁVANÉHO TEPLA	300	kč/GJ
SPOTŘEBA PALIVA	mění se	t/h
CENA BIOMASY	1700 / 0	kč/t
PROVOZNÍ NÁKLADY	50000	kč/rok
DISKONTNÍ SAZBA	0,25	%

Tab. 9.5.1-2 Kombinace vstupních hodnot pro varianty 1 - 5 – parní stroj

9.5.2 Porovnání dob návratnosti variant 1- 5 – turbína

KOTEL O NIŽŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 0,8 \text{ MPa} / \text{sytá pára}$								
P_{svo} [kW]	M_{PAL} [t/h]	P_{TEP} [kWt]	N_i [Kč]	T_s [roky] (1)	T_s [roky] (2)	T_s [roky] (3)	T_s [roky] (4)	T_s [roky] (5)
13,320	0,0903	285,393	3550000	2,81	3,36	1,48	1,57	2,55
23,870	0,1355	428,089	3550000	3,29	4,4	1,26	1,38	2,94
36,000	0,1806	570,786	3550000	3,77	5,71	1,07	1,21	3,32
47,810	0,2258	713,482	3550000	4,46	8,39	0,94	1,08	3,84
57,000	0,2710	856,179	818159	6,35	30,25	0,87	1,02	5,18
73,520	0,3387	1070,223	978812	12,05	16	0,79	0,93	8,56
90,600	0,4064	1284,268	1145322	53,71	7,18	0,72	0,87	19,57
KOTEL O VYŠŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 1,3 \text{ MPa} / 210^\circ\text{C}$								
P_{svo} [kW]	M_{PAL} [t/h]	P_{TEP} [kWt]	N_i [Kč]	T_s [roky] (1)	T_s [roky] (2)	T_s [roky] (3)	T_s [roky] (4)	T_s [roky] (5)
106,26	0,3857	1218,855	1246587	5,27	10,49	0,66	0,81	4,52
111,70	0,4041	1276,896	1285535	5,62	12,36	0,64	0,79	4,78
131,96	0,4592	1451,018	1460801	5,91	13,21	0,60	0,74	5,02

Tab. 9.5.2-1 Porovnání dob návratnosti variant 1 - 5 – turbína

- 1) 9.1.2 Provozování teplárny voleno ve stejném časovém pásmu jako doposud pracovala výtopna, (**6500 h/rok**) + cena za palivo **1700 Kč**
- 2) 9.3.1 Provozování teplárny po celý rok (**8760 hod.**) + cena za palivo **1700 Kč**
- 3) 9.3.2 Varianta s možností vlastního paliva či jeho získávání s min. náklady (palivo **0 Kč**) + provozování teplárny po celý rok (palivo **0 Kč** + provoz **8760 hod.**)
- 4) 9.3.3 Varianta s možností vlastního paliva či jeho získávání s min. náklady + provozování teplárny pouze v potřebu odběratelů tepla (palivo **0 Kč** + provoz **6500hod.**)
- 5) 9.3.4 Navýšení ceny za prodávané teplo odběratelům o 20Kč/GJ (**320Kč/GJ**)

HODNOTY PRO VÝPOČET		
ELEKTRICKÝ VÝKON	mění se	kW
ROČNÍ VÝROBA TEPLA	6409	GJ/rok
ROČNÍ DOBA VYUŽITÍ	6500 / 8760	h/rok
CENA PRODÁVANÉ ELEKTIRCKÉ ENERGIE	4,58	kč/kWh
CENA PRODÁVANÉHO TEPLA	300/320	kč/GJ
SPOTŘEBA PALIVA	mění se	t/h
CENA BIOMASY	1700 / 0	kč/t
PROVOZNÍ NÁKLADY	50000	kč/rok
DISKONTNÍ SAZBA	0,25	%
NÁKLADY NA PRIPOJENÍ (REALIZACI)	300000	Kč
POŘIZOVACÍ CENA KOTLE	2500000000	Kč
POŘIZOVACÍ CENA TURBÍNY	750000	Kč

Tab. 9.5.2-2 Kombinace vstupních hodnot pro varianty 1 - 5 - turbína

10. ZÁVĚREČNÉ ŘEŠENÍ TEPLÁRNY NA BIOMASU VE VELKÉM

KARLOVĚ

Z různých vstupních parametrů byly vypočítaných taktěž rozdílné hodnoty tabulka 7, ze kterých je možno zvolit vhodný tepelný zdroj, k němuž jsou výpočtem vázány i ostatní parametry jak kotle tak i turbíny a následně i parametry parního stroje tabulka 8.3.

Dle úvahy ročního diagramu spotřeby tepla byl v návrhu kotel o základním zatížení v rozsahu 400 – 550 kW. Z výsledných hodnot v tabulce 8.3 je pro inovaci kotelny s úvahou budoucí teplárny volen kotel o tepelném výkonu 500 kW.

KOTEL O NIŽŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 0,8$ MPa / sytá pára					
P_{svo} [kW]	η_{tdi} [-]	P_{TEP} [kWt]	M_{PAL} [t/h]	Mj [kg/s]	Mj [t/h]
36,000	0,504	570,786	0,1806	0,245	0,883

Tab. 10-1 Vybrané parametry kotle a turbíny pro závěrečné řešení teplárny

Při přepočítání přes svorkové výkony turbíny, které jsou ovlivněny účinností a množstvím páry spotřebované parním strojem došlo ke změně tepelného výkonu. Tepelný výkon kotle při použití parního stroje o svorkovém výkonu $P_{sv}=37,9$ je vyhovující pro dané rozmezí.

KOTEL O NIŽŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 0,8$ MPa / sytá pára					
P_{svo} [kW]	η_{tdi} [-]	P_{TEP} [kWt]	M_{PAL} [t/h]	Mj [kg/s]	Mj [t/h]
37,895	0,6	489,142	0,155	0,210	0,757

Tabulka 10-2 Vybrané parametry kotle a parního stroje pro řešení teplárny

Parní kotle těchto výkonů se používají velmi málo, protože se jedná o velmi drahá zařízení s velkými měrnými náklady. Na trhu je sice minimum pro tyto kotle kolem 1 t/h, o parametrech cca 0,8 MPa, sytá pára, ale po konzultaci s ředitelem firmy Inteka, která se zabývá dodávkou a montáží zařízení v oblasti tepelné energetiky a jiných obdobných oblastech, je možné, aby takový kotel byl poskládán například z topeniště firmy ELBH a vlastního žárotrubného kotle od firmy Polycomp. Navíc firma Polycomp Poděbrady, která v současnosti dostala grant na vývoj parního stroje a také na výrobu s kvalitní konstrukcí kotlů menších výkonů, různých druhů paliv včetně biomasy do cca 10t/h, by byla schopna takový kotel vyrobit.

Z technicko-ekonomického vyhodnocení ročního provozu teplárny kapitola 9 je možno porovnat provozování teplárny s použitím turbíny nebo s použitím parního stroje. Vstupní hodnoty uvedeny pro turbínu v tabulce 9.1.2 a pro parní stroj v tabulce 9.2.1.

Z tabulek 10.3 pro parní turbínu a 10.4 pro parní stroj vyplývá, že při těchto tepelných výkonech a investičních nákladech pro realizaci, bude mít bližší návratnost tepelná soustava s použitím parního stroje.

KOTEL O NIŽŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 0,8$ MPa / sytá pára				
P_{SVO} [kW]	M_{PAL} [t/h]	P_{TEP} [kWt]	N_i [Kč]	T_s [roky]
36,000	0,1806	570,786	3550000	3,77

Tabulka 10-3 Vybrané parametry kotle a turbíny s dobou návratnosti

KOTEL O NIŽŠÍCH PARAMETRECH $p_0/t_0 = 0,8$ MPa / sytá pára				
P_{SVO} [kW]	M_{PAL} [t/h]	P_{TEP} [kWt]	N_i [Kč]	T_s [roky]
37,895	0,155	489,142	3500000	2,73

Tabulka 10-4 Vybrané parametry kotle a parního stroje s dobou návratnosti

Výsledný návrh pro inovaci kotelny:

Kotel o vstupních parametrech $p_0/t_0 = 0,8$ MPa / sytá pára , $P_{TEP}=500$ kW, palivo dřevní štěpka o výhřevnosti 12,5 MJ/kg

Parní stroj o svorkovém elektrickém výkonu $P_e = 37,9$ kW_e

Investiční náklady 3500000 kotel+parní stroj+realizace.

Cena za palivo 1700 Kč/t.

Provozování teplárny ve stejném časovém pásmu jako doposud, což je pouze po dobu potřeby tepla, (cca 6500h/rok).

V dobách nízkého odběru tepla se přebytečné množství bude nejdříve akumulovat ve stávajícím horkovodním akumulátoru. Jestliže bude odběr tepla dále klesat, je počítáno s mařením odpadního tepla ve vzduchovém chladiči.

Doba návratnosti při splnění těchto parametrů a podmínek $T_s = 2,73$ let.

11. ZÁVĚR

Prvotním předmětem diplomové práce bylo zpracování předpokladů spotřeby tepla v obci Velký Karlov do ročního diagramu spotřeby tepla a následné navržení výkonových parametrů pro možnost inovace stávající výtopny na teplárnu na biomasu.

Z ročního diagramu spotřeby tepla vyplynulo, že stávající tepelný zdroj základního zatížení o výkonu 1 MW je předdimenzován a v případě inovace na teplárnu je třeba jeho tepelný výkon snížit na rozmezí 400 – 550 kW.

Pomocí předběžných výpočtů turbín a následného přepočítání hodnot přes hodnoty parního stroje byl vybrán kotel na dřevní štěpku o výkonu 500 kW a vstupních parametrech $p_0/t_0=0,8\text{MPa/sytá pára}$.

V případě tak nízkých parametrů bylo třeba pomocí technicko-ekonomického vyhodnocení ročního provozu teplárny porovnat použití parní turbíny nebo parního stroje a pokusit se najít výkonovou hranici těchto strojů.

Podle technicko-ekonomických vyhodnocení se dospělo k různým závěrům. Výsledné doby návratnosti uvedených variant, které obsahují změnu ceny paliva, dobu provozu teplárny, změnu ceny za prodávané teplo, poukazují na velkou citlivost za cenu paliva. Příklad samostatné výroby elektrické energie v době, kdy není zajištěn odběr tepla, je nevýhodný. S možností nulových palivových nákladů jsou investiční náklady vždy výhodné. Pokud by se cena za prodávané teplo zvýšila o jakoukoliv částku, stane se automaticky ekonomicky výhodnějším.

Při porovnání všech variant s voleným tepelným výkonem kotle 500 kW, které byly vytvořeny jak pro parní turbínu tak i pro parní stroj, vyšel s dobou návratnosti lépe parní stroj se svorkovým výkonem 37,9 kW.

Z těchto vyhodnocení jsem dospěl k řešení, že v případě nakupování paliva a ročním provozu cca 6500 hodin, jak stávající výtopna provádí, je pro zvolené parametry kotle a parního stroje nejvhodnější provoz se stálou výrobou elektrické energie a v dobách nízkého odběru tepla se přebytečné množství bude nejdříve akumulovat ve stávajícím horkovodním akumulátoru a jestliže bude odběr tepla dále klesat, je počítáno s mařením odpadního tepla ve vzduchovém chladiči.

Po konečném řešení a návrhu teplárny na biomasu bylo navrženo tepelné schéma jak pro parní turbínu tak i pro parní stroj.

Vyhodnocení výkonové hranice výhodnosti použití parní turbíny a parního stroje za zadaných ekonomických vstupů a parametrů strojů nebyla nalezena.

Seznam použité literatury

- [1] FIEDLER, J. Parní turbíny - Návrh a výpočet CERM, s.r.o Brno, 2004
- [2] <http://energie.tzb-info.cz/t.pv?t=2&i=958>
- [3] <http://www.tzb-info.cz>
- [4] <http://www.eru.cz>
- [5] <http://www.cnb.cz>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SEZNAM SYMBOLŮ

symbol	rozměr	význam
c	m/s	absolutní rychlost páry
D	m	průměr
h	kJ/kg	tepelný spád
i	kJ/kg	entalpie
l	m	délka lopatky
M	kg/s	hmotnostní tok páry
m	kg/s, t/h	množství paliva
n	min ⁻¹	otáčky
p	Pa	tlak
P	W	výkon
s	kJ/kgK	entropie
t	°C	teplota
u	m/s	obvodová rychlost
v	m ³ /kg	měrný objem
z	kJ/kg	ztráta
α	°	úhel absolutní rychlosti
ε	-	parciální ostřik
η	-	účinnost
π	-	tlakový poměr
ξ	-	poměrná ztráta
φ	-	rychlostní součinitel
C _E	Kč/Kw	výkupní cena elektrická energie
C _T	Kč/GJ	prodejní cena tepelné energie
CF	Kč/rok	cash flow
C _R	Kč	cena realizace
d	%	diskontní sazba
E	kWh	vyrobená elektrická energie
N _E	Kč	roční tržba za elektřinu
N _Q	Kč	roční tržba za teplo
N _P	Kč/rok	roční provozní náklady
N _i	Kč	investiční náklady
Q	GJ	výroba tepla
T ₀	roky	prostá doba návratnosti
T _S	roky	doba návratnosti s uvažováním časové hodnoty peněz
τ	hodina	doba využití

SEZNAM ZKRATEK

symbol	význam
0	vstup
1,2	body expanze
E	elektřina
gen	generátor
i	vnitřní
iz	izoentropická
j	jmenovitý
k	kotel
kr	kritický
m	mechanický
opt	optimální
pal	palivo
pro	provoz
př	převodovka
r	roční
red	redukováná
sv	svorkový
T	teplo
tdi	termodynamická
teor	teoretická
tep	tepelný
u	obvodová
vst	vstupní
výs	výstupní