

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV ENERGETIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

TECHNOLOGICKÉ ŘEŠENÍ TEPLÁRNY NA BIOMASU S PÍSTOVÝM PARNÍM MOTOREM

TECHNOLOGICAL SOLUTION OF BIOMASS POWER WITH STEAM ENGINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAKUB PLEBAN

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. JIŘÍ ŠKORPÍK, PH.D.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2008/09

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Pleban Jakub

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Technologické řešení teplárny na biomasu s pístovým parním motorem.

v anglickém jazyce:

Technological solution of biomass power station with steam engine.

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

□ Účelem tohoto zadání je, aby student obecného bakalářského oboru „Strojní inženýrství“ získal základní znalosti z realizace parního oběhu.

Cíle bakalářské práce:

- (1) Parní oběh s pístovým parním motorem a principu teplotnosti.
- (2) Hlavní části teplárny a jejich funkce.
- (3) Zjednodušené technologické schéma teplárny s pístovým parním motorem.

Seznam odborné literatury:

- [1] Krbek, J., Polesný, B., Fiedler, J., Strojní zařízení tepelných centrál-Návrh a výpočet, PC-DIR Real, s.r.o., 1999, ISBN 80-214-1334-4.
- [2] Klag, J.: Parní stroje a turbíny, Vydavatelstvo ROH-PRÁCE-vydavatelství knih, 1952.
- [3] Kříž, J., Využití malých parních zdrojů pro kogeneraci, zásady projektování těchto zdrojů výroby elektřiny, 3T č. 3, ročník 2005, str. 19 až 21, ISSN 1210-6003.
- [4] Šťastný, J., Točivá redukce v parních sítích, časopis 3T, č. 6, ročník 2006, str. 11 až 13, ISSN 1210-6003.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Škorpík, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/09.

V Brně, dne 19.11.2008

L.S.



doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Technologické řešení teplárny na biomasu s parním pístovým motorem

ABSTRAKT

Předložená práce se zabývá rozbohem hlavních částí teplárny spalující biomasu a popisem její funkce. Práce je tematicky rozdělena do pěti částí. V první části jsou uvedeny možné druhy energie, ze kterých je možno čerpat jak energii elektrickou, tak tepelnou. Druhá část práce rozebírá základní funkce teplárny. Na tuto pak navazuje další třetí část, ve které je popsáno technologické schéma teplárny, jenž odpovídá zadání. Ve čtvrté části je podrobněji rozebrána funkce parního pístového motoru a jeho hlavních strojních částí. V poslední části je zhodnocen současný stav teplárenství v České republice.

ABSTRACT

This work describes function and main parts of a heat plant burning biomass. The work is thematically divided into five parts. In the first part there are presented possible sorts of energy which are suitable for generating both electric and heat energy. The second part of the work describes basic principles of the plant functioning. The third part which relates to the second one is focused on the given technologic scheme of the plant. The fourth part closely analyses a function of a steam piston engine and its main components. In the last part there is assessed the actual situation in the field of heating plants in the Czech republic.

KLÍČOVÁ SLOVA

Teplárna, biomasa, parní motor, parní cyklus, energie.

KEY WORDS

Heat plans, biomass, steam engine, steam cycle, energy.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PLEBAN, J. *Technologické řešení teplárny na biomasu s pístovým parním motorem..* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 30 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Škorpík, Ph.D.

Technologické řešení teplárny na biomasu s parním pístovým motorem

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, bez cizí pomoci. Při jejím zpracování jsem vycházel ze svých znalostí, konzultací a odborné literatury uvedené v příloženém seznamu.

V Brně dne 18.5.2009



.....
Jakub Pleban

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych tímto poděkovat Ing. Jiřímu Škorpíkovi, Ph.D za cenné připomínky a rady při vypracování této bakalářské práce.

OBSAH

1. ÚVOD.....	6
2. DRUHY ENERGIÍ A DRUHY SPALOVACÍCH ZAŘÍZENÍ	6
2.1 ZÁKLADNÍ TRANSFORMACE ENERGIE UKRYTÉ V PALIVU	6
2.1.1 Energie větru.....	6
2.1.2 Vodní energie.....	6
2.1.3 Energie fosilních paliv	7
2.1.4 Energie biomasy	7
2.1.5 Jaderná energie	7
2.2 ENERGETICKÁ ZAŘÍZENÍ.....	8
2.2.1 Elektrárny	8
2.2.2 Výtopy	8
2.2.3 Teplárny	9
3. TEPLÁRNY A PRINCIP JEJICH FUNKCÍ	9
3.1 DRUHY TEPLÁREN	9
3.2 ZVÝŠENÍ ÚČINNOSTI TEPLÁREN.....	10
4. ČÁSTI TEPLÁRNY A JEJICH FUNKCE.....	12
4.1 KOTEL.....	12
4.1.1 Dělení kotlů	13
4.1.2.1 Roštový kotel	14
4.1.2.2 Fluidní kotel	14
4.1.3 Parní cyklus.....	14
4.1.4 Spalinové hospodářství	16
4.2 KONDENZÁTOR A CHLADÍCÍ VĚŽ	16
4.3. NAPÁJECÍ NÁDRŽ.....	16
4.4. CHEMICKÁ ÚPRAVNA VODY	17
4.5. ČERPADLA	17
4.5.1 Napájecí čerpadlo	17
4.6 OSTATNÍ PŘÍSLUŠENSTVÍ.....	17
4.6.2 Uzavírací armatury.....	17
5. PARNÍ MOTOR	18
5.1 Historie parního pístového motoru.....	18
5.2 PRINCIP A FUNKCE PARNÍHO PÍSTOVÉHO MOTORU	18
5.3 ROZDĚLENÍ PARNÍCH PÍSTOVÝCH MOTORŮ.....	18
5.3.1 Primární dělení.....	18
5.3.2 Sekundární dělení	19
5.4 HLAVNÍ SOUČÁSTI PARNÍHO PÍSTOVÉHO MOTORU	21
5.4.1.1 Píst	22
5.4.1.2 Pístní tyč.....	22
5.4.1.3 Křížák.....	23
5.4.1.4 Ojnice	23
5.4.1.5. Kliková hřídel	24
5.4.1.6 Rozvody.....	24
5.4.1.7 Setrvačnick.....	24
5.4.1.8 Šoupátko	25

Technologické řešení teplárny na biomasu s parním pístovým motorem

5.4.1.9 Regulátory	25
5.5 PRACOVNÍ CYKLUS PARNÍHO MOTORU.....	26
5.5.1 Ideální a skutečný oběh	26
6. SOUČASNÝ STAV TEPLÁRENSTVÍ V ČR	27
7. ZÁVĚR	27
8. POUŽITÁ LITERATURA	29
9. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	30

1. ÚVOD

Žijeme v době, ve které si každý člověk buduje prostředí, ať už je to pracovní, domácí, kulturní či sportovní, ve kterém jsou vhodné podmínky pro zdravý a tvořivý pobyt. Prostředí, ve kterém se cítí dobře jak on sám, tak také osoby zdržující se uvnitř těchto prostor. Při návrhu musíme respektovat celou řadu faktorů, které jej ovlivňují. Mezi ně se řadí vhodně řešená budova, design interiéru, zamezení prostupu hluku, vhodné osvětlení a spoustu dalších dílčích činitelů. Mezi jedny z nejdůležitějších se však řadí tepelná pohoda. Tato bakalářská práce se věnuje výrobě tepla a elektřiny v teplárně, především z dostupných obnovitelných zdrojů, tzv. biomasy. Biomasa se v posledních letech dostává do popředí výroby tepelné energie, která se využívá jako primární zdroj tepla pro otopná tělesa bytových či průmyslových objektů.

2. DRUHY ENERGIÍ A DRUHY SPALOVACÍCH ZAŘÍZENÍ

2.1 ZÁKLADNÍ TRANSFORMACE ENERGIE UKRYTÉ V PALIVU

Základním zdrojem energie, ze kterého lidstvo čerpá, je v drtivé většině slunce. Sluneční energie je zahrnuta v naprosté většině energií, které jsou na Zemi známy a využívány. Tato energie vzniká termojadernými reakcemi uprostřed Slunce. Zásoba vodíku na Slunci je odhadována na několik miliard let, považujeme ho proto za zdroj obnovitelný. Jelikož platí zákon zachování energie, můžeme říct, že sluneční energie dopadající na naši Zemi se beze zbytku přeměňuje v jiné formy.

2.1.1 Energie větru

Jelikož se zemský povrch ohřívá nerovnoměrně, vznikají teplejší a studenější místa. Tato teplotní diference vyvolává větrné proudění, často o různých intenzitách. Toto větrné proudění zachycujeme a transformujeme na elektrickou energii pomocí větrných elektráren. Pokud vítr působí na rozlehlou vodní plochu může se tato větrná energie změnit na energii vln.

2.1.2 Vodní energie

Sluneční energie napomáhá koloběhu vody, tzv. hydrologický cyklus, kdy se voda vypařuje z oceánů, vodních toků, atd. Tato vypařená vodní pára v chladnějších vrstvách atmosféry kondenzuje a kapičky vody dopadají zpět na zemský povrch v podobě srážek nebo sněhu. Část této vody se znovu vypaří a část prosakuje pod zemský povrch tzv. infiltrace. Tato podzemní voda po určité době vystupuje znovu na povrch, jako pramen řeky. A tato energie ukrytá v pohybu stékající vody je zdrojem síly, kterou lze převádět až na energii elektrickou.

Technologické řešení teplárny na biomasu s parním pístovým motorem

2.1.3 Energie fosilních paliv

Mezi fosilní paliva řadíme: –uhlí
–ropu
–zemní plyn

Tyto suroviny vznikly v minulosti, před mnoha milióny let, z rostlinné nebo živočišné biomasy. Tato energie se hojně začala využívat na prahu průmyslové revoluce, kdy tehdejší dřevěné palivo již nevyhovovalo požadavkům co se výhřevnosti týče.

2.1.4 Energie biomasy

Do této energie můžeme počítat vše, co v přírodě roste: stromy, keře, traviny, obilí, ale také živočichy.

Energie biomasy vzniká přeměnou energie sluneční na energii chemických vazeb v organických sloučeninách. Tuto energii můžeme využít jako potravu pro živočichy nebo jako palivo.

44%	4%	34,7%	0,9%	0,4%	4%	12%
C	H	O	N	S	A	W
organická hmota 83,6%						
hořlavina 84%						
suchá hmota 88%						
celková hmota 100%						

C-uhlík
 H-vodík
 O-kyslík
 N-dusík
 S-síra
 A-popelovina
 W-voda

Tab.1: Chemické složení biomasy [1]

2.1.5 Jaderná energie

Jaderná energie se v posledních letech uplatňuje především pro výrobu elektrické energie. U nás a v celé Evropě je nejrozšířenější tlakovodní reaktor, kde energie vzniklá štěpením těžkých prvků Uranu 235 a Plutonia 239 se předává vodě (chladiivu). Voda pod velkým tlakem (kolem 7–13 MPa) a při vysoké teplotě (okolo 300°C) se přivádí do parogenerátoru. Parogenerátor můžeme také nazvat tepelným výměníkem. Zde se předává teplo z primárního okruhu do sekundárního, kde teplonosným médiem již není voda, ale pára. Ta dále pokračuje k turbíně. Do jaderné energetiky řadíme vedle štěpení také fúzi. Jedná se o tutěž reakci, která probíhá na Slunci. V této reakci se slučují jádra lehkých prvků za současného vzniku prvku nového při uvolnění obrovského množství tepelné energie. Nejčastěji se mluví o slučování jader Vodíku za vzniku Héliu. Jaderná energie se využívá také pro pohon lodí a ponorek.

2.2 ENERGETICKÁ ZAŘÍZENÍ

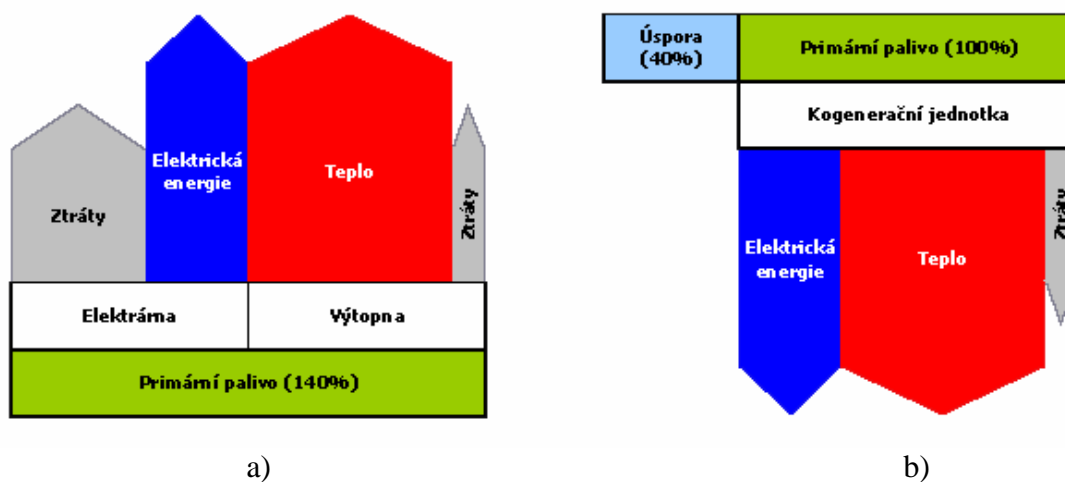
Dělní energetických zařízení je vcelku jednoduché: – elektrárny
– výtopny
– teplárny

2.2.1 Elektrárny

Primární funkcí elektrárny je výroba elektrické energie. Ovšem teplo, které se uvolní z energie paliva se v parní turbíně využije pouze zčásti. Zbylá energie bez užitku odchází ve formě nevyužité energie z turbíny a následně jde do chladiče (kondenzátoru), kde se uvolňuje do ovzduší bez užitku. Jelikož nežijeme v ideálním světě, celý proces se neobejde bez ztrát. Tuto energii nelze využít a tento jev doprovází všechny procesy přeměn. Tato ztrátová energie je přibližně stejná jako energie, které se zbavujeme ventilací do atmosféry, avšak není nezanedbatelná a při počítání celkové účinnosti elektrárny s ní musíme počítat.

2.2.2 Výtopny

Funkcí výtopny je generování užitného tepla ve formě horké vody nebo páry, které je posléze rozváděno ke spotřebitelům teplovody nebo parovody. Při dodávání tepla pomocí teplovodu je každá teplárna vybavena nejméně dvěma potrubími (obr.3). Toto potrubí musí být vybaveno čerpací stanicí, která je umístěna přímo v teplárně, nebo někde na trase. Čerpací stanice zajišťuje cirkulaci vody v potrubí. Spotřebitelé tohoto tepla mohou být jak průmyslové podniky, tak také rodinné a bytové domy. Z obr.2 a) je vidět, že energie dodaná v palivu se transformuje v výtopně na teplo s poměrně velkou účinností. Ztráty jsou podstatně menší než u elektráren.



Obr.2: Využití paliva [2], upraveno autorem

Technologické řešení teplárny na biomasu s parním pístovým motorem

2.2.3 Teplárny

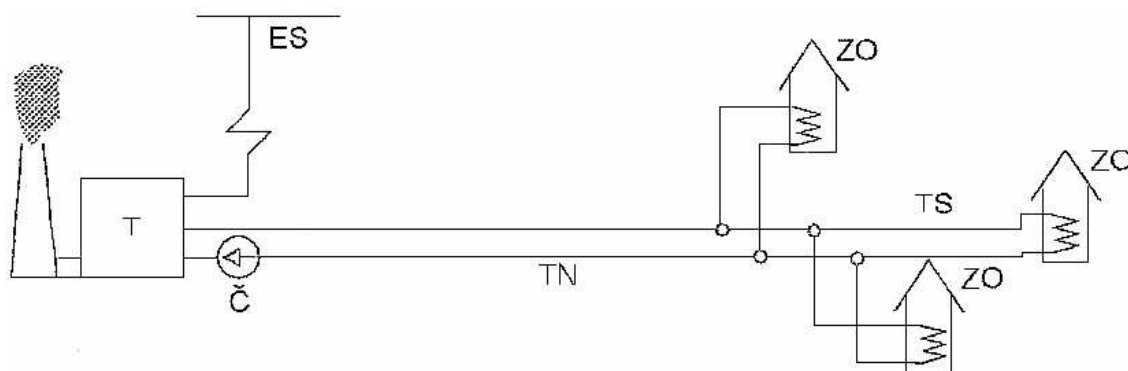
Zařazením výroby elektrické energie do systému výtopny se získá nové technologické zařízení nazývané teplárna. V dnešní době, kdy se minimalizují ztráty, je pro energetiky společně s techniky, honícími se za každým procentem navýšení účinnosti jakéhokoli energetického zařízení, teplárna výborným nástrojem. Na tuto skutečnost poukazuje obrázek 2 b), který zobrazuje výhody spojení výroby elektrické a tepelné energie do jednoho zařízení. Tento proces se nazývá kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET) a zařízení se označuje jako kogenerační jednotka. Zde využijeme mnohem více energie za stejné dodávky paliva, nebo naopak, vyrobíme stejné množství tepelné i elektrické energie při spálení mnohem menšího množství paliva. A čím méně paliva spotřebujeme při stejné produkci energie, tím vyprodukujeme mnohem méně emisí, což je přínosem především při snižování znečištění ovzduší škodlivinami plynnými a pevnými.

3. TEPLÁRNY A PRINCIP JEJICH FUNKCÍ

3.1 DRUHY TEPLÁREN

Již víme, že primární funkce teplárny je výroba teplé vody a páry. K tomu slouží spalovací kotle mnoha rozličných druhů, ať už druhem použitých paliv, tak také jejich samotnou konstrukcí. Pára na výstupu z kotle má (podle druhu kotle) nohem vyšší teplotu a tlak než je požadováno odběratelem, proto je v teplárenském cyklu umístěn parní motor. Parní motor tuto páru zpracovává a koná práci, jež je v elektrickém generátoru měněna na elektrickou energii. Pára se nechá zkondenzovat na co nejnižší možný tlak, z důvodu dosažení co největší tepelné účinnosti. Odběr páry pro spotřebitele je u turbín prováděn v jisté fázi expanze a u pístového parního motoru pomocí dělené expanze.

Obr. 3 vykresluje rozvod teplé vody a páry spotřebitelům a napojení na elektrizační soustavu.



T– teplárna, TN– tepelný napáječ, TS– tepelná síť, Č– cirkulační čerpadlo, ZO– objekt zásobovaný teplem, ES– elektrizační soustava

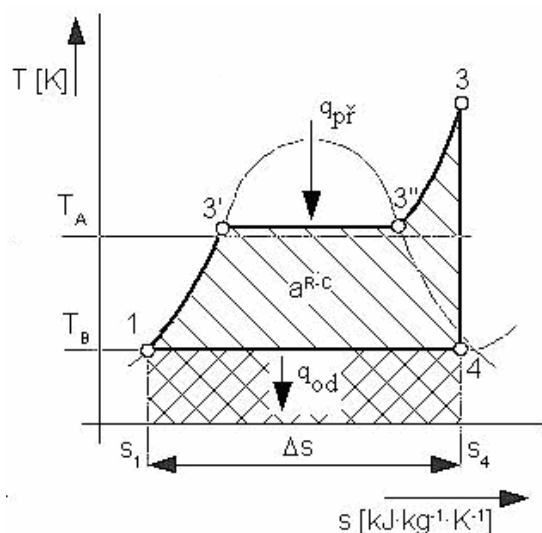
Obr. 3: Schéma jednoduché teplárenské soustavy [3]

Technologické řešení teplárny na biomasu s parním pístovým motorem

V dnešní době jsou nejrozšířenějším typem tepláren teplárny parní s parním kotlem a parním motorem (nejčastěji turbína). Ale také teplárny s plynovými turbínami, kde se spaluje plyn přímo uvnitř turbíny. V případě spalování zemního plynu v plynových turbínách je teplota spalin na výstupu okolo 400–500°C, a proto spaliny prochází výměníkem a předávají své teplo vodě, která se přemění na páru. Ta je zavedena do parního motoru, kde expanduje a koná práci. Jedná se tedy o teplárnu s paroplynovým cyklem. Dalším možným typem tepláren jsou ty, které mají jako zdroj tepla spalovací motory. Tyto teplárny jsou vhodné pro tzv. decentralizovanou zásobárnu tepla. Jde o více malých tepláren zásobujících menší spotřebitele.

3.2 ZVÝŠENÍ ÚČINNOSTI TEPLÁREN

Aby byla účinnost případné výroby elektrické energie co největší, musí být střední teplota T_A , při níž přivádíme do cyklu teplo $q_{př}$, co nejvyšší a střední teplota T_B , při které teplo q_{od} z cyklu odvádíme, co nejmenší. Ideální cyklus, který zároveň respektuje jisté termodynamické vlastnosti pracovní látky (zde voda), se nazývá Rankien-Clausiiův cyklus (R-C), obr. 4. Zde na izobare 1–3 se přivádí teplo z kotle $q_{př}$ a vzniká pára. Vzniklá pára je vedena do parního motoru. Ze stavu 3 do stavu 4 dochází k předávání práce mezi expandující párou a parním motorem. Expanze probíhá až do bodu 4, který se nazývá bod sytosti páry. Následuje kondenzátor, v něm se odvádí teplo q_{od} při konstantním tlaku do bodu sytosti kapaliny 1. A odtud celý cyklus začíná nanovo.



Obr. 4: Ideální Rankien-Clausiiův cyklus [4]

Bod 4 v obr. 4 leží v případě ideálního R–C cyklu na křivce sytosti. Ukončení expanze právě v tomto bodě se již dnes prakticky nevyužívá. V současných parních motorech se pára nechává expandovat na mnohem nižší tlak (tlak v kondenzátoru), což už je oblast pod křivkou, která se nazývá vlhká pára. Důsledkem je snížení střední odváděné teploty T_B a tím zvýšení tepelné účinnosti výroby elektrické energie, jak je patrné ze vztahu

$$\eta_t = \frac{a}{q_{př}} = \frac{T_A - T_B}{T_A} = 1 - \frac{T_B}{T_A} \quad (3.2-1)$$

Tepelná účinnost lze za použití určitých technologických vylepšení zvýšit, a to zvyšováním střední přiváděné teploty T_A . K tomuto účelu slouží mnoho nástrojů, mimo jiné i přehřívání páry (obr.4 b) úsek 3''–3). Další možností je například přehřívání páry. Technicky se to provádí tak, že pára, jež prošla expanzí ve vysokotlakém díle parního motoru, se vede do přehříváku, kde se zvýší její teplota. Pára je poté vedena znovu do parního motoru, ale tentokrát do nízkotlakého dílu, kde se expanze dokončí.

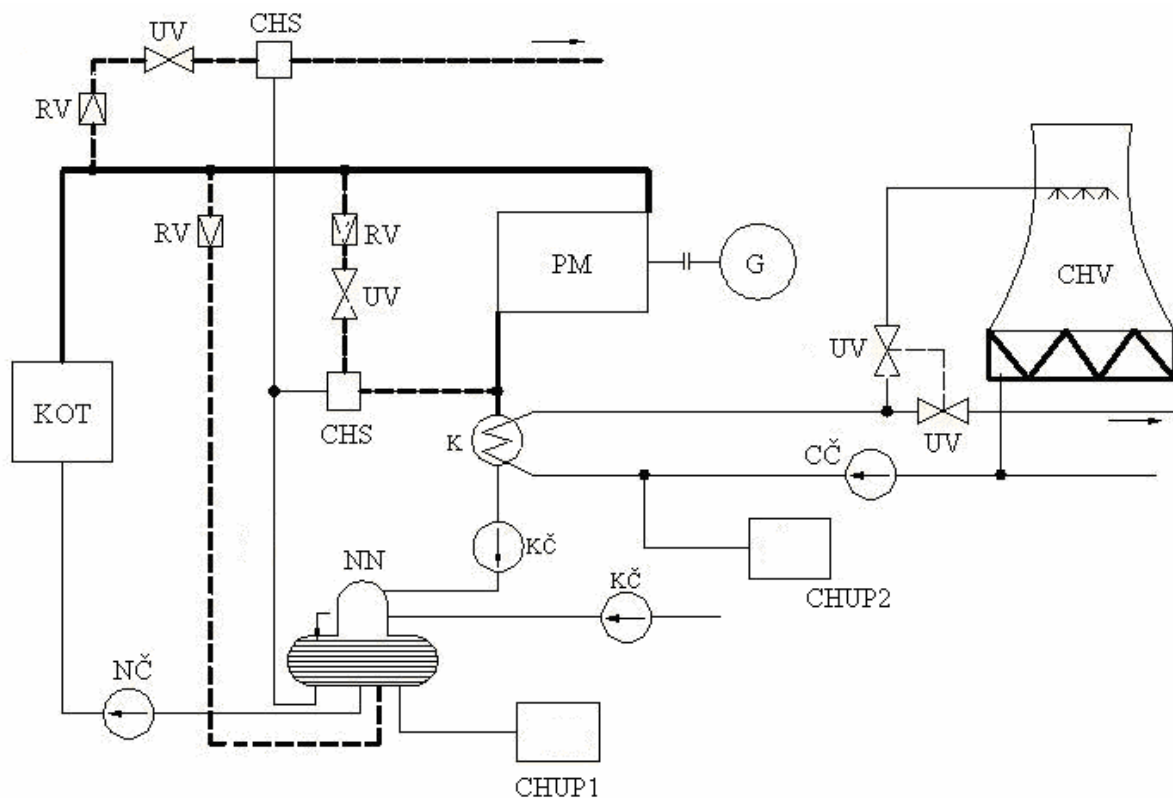
Technologické řešení teplárny na biomasu s parním pístovým motorem

Dalším nástrojem pro zvýšení střední přiváděné teploty T_A a tím také zvýšení tepelné účinnosti je použití tzv. regenerace tepla. Provádí se to tak, že u turbíny je zaveden odběr páry. Tato pára slouží k ohřevu napájecí vody. Tím se sice sníží výkon parního motoru, ale zvýší se termická účinnost.

Po konzultaci s vedoucím bakalářské práce:

Vzhledem k předpokládanému výkonu parního motoru (10–100kW) nebude nutno použít kotle vysokého výkonu. Pro tento účel postačí kotel produkující sytou páru. Tudiž kotel bude jednoduchý a levný, bez velkých technologických úprav pro přípravu přehřáté páry.

Technologické schéma celé teplárny s parním pístovým strojem je na obr. 5.



KOT– kotel, PM– parní motor, G– elektrický generátor, K– kondenzátor, KČ– kondenzační čerpadlo, NN– napájecí nádrž, NČ– napájecí čerpadlo, CČ– cirkulační čerpadlo, CHV– chladicí věž, CHS– chladicí stanice, CHUP– chemická úprava vody, RV– redukční ventil, UV– uzavírací ventil

Obr. 5: Technologické schéma teplárny

4. ČÁSTI TEPLÁRNY A JEJICH FUNKCE

4.1 KOTEL

4.1.1 Palivo

Biomasa jako taková je pevná látka. Její přesná definice není zákonem definovaná, ale můžeme si ji představit jako organickou hmotu rostlinného nebo živočišného původu, která je důsledkem průmyslové nebo zemědělské činnosti (odpad), nebo je také záměrně vyráběna (pěstování energetických dřevin a rostlin). Tuto organickou hmotu po vhodných úpravách můžeme spalovat. Musí se však respektovat i ekonomická náročnost dostupnosti paliva, neboť podle předchozí věty o popisu biomasy je zřejmé, že se dá spalovat vše, co v přírodě žije či roste. Těžko si lze představit, že někdo chová ovce jen proto, aby potom spaloval jejich vlnu. V této práci je biomasa chápána jako dřevní štěpka, kterou lze spalovat ve dvou typech kotlů, a to jak v roštovém, tak ve fluidním kotli.

Pro teplotenské účely je rozhodujícím parametrem pro posuzování kvality biomasy její výhřevnost. Jako pevné palivo se nejčastěji používá biomasa dřevin. Tabulka 1 ukazuje, že výhřevnost různých typů dřevin se od sebe, liší jen nepatrně. Jiný, často také velmi důležitý, ukazatel biomasy je jeho objemová hmotnost, kdy různé druhy dřevin mají jinou objemovou hmotnost vztahenou na 1 m^3 . Tento parametr je důležitý pro teplárny, kde jsou omezené skladovací prostory.

Druh paliva	Objemová hmotnost sušiny (kg/m ³)	Uvažovaná vlhkost paliva 25%		
		Objemová hmotnost (kg/pm)	Výhřevnost	
			(MJ/kg)	(MJ/pm)
Jedle	430	575	14	8 040
Borovice	510	680	13,6	9 250
Bříza	585	780	13,5	10 550
Dub	630	840	13,2	11 050
Smrk	430	575	13,1	7 350
Olše	480	640	12,9	8 260
Vrba	500	665	12,8	8 490
Akát	700	930	12,7	11 850
Jasan	650	865	12,7	11 010
Buk	650	865	12,5	10 830
Topol	400	530	12,3	6 540
Habr	680	905	12,1	10 970

Tab.1: Tabulka dřevěného paliva seřazena podle výhřevnosti [5]

Obecně platí, že čím sušší palivo, tím lepší výhřevnost. Výhřevnost suchého dřeva při nulovém obsahu vody je 18,5 MJ/kg.

V tabulce 2 je uvedena závislost výhřevnosti dřeva na obsahu vody. Lze pozorovat, že s vzrůstající procentuální vlhkostí úměrně klesá výhřevnost paliva. Je to dáno tím, že při spalování vlhkého dřeva se část tepla spotřebovává na sušení tohoto paliva.

Technologické řešení teplárny na biomasu s parním pístovým motorem

obsah vody	[%]	0	10	20	30	40	50	60
Výhřevnost dřeva	[MJ/kg]	18,5	16,4	14,3	12,2	10,1	8	6

Tab.2: Vliv obsahu vody na výhřevnosti paliva [5]

4.1.2 Dělení kotlů

„Kotel je zařízení sloužící k výrobě páry z vody (parní kotel), ohřevu vody (teplovodní nebo horkovodní) resp. k ohřevu jiného média, např. oleje.“[6]

Teplo se obvykle získává spalováním paliva, které se uvolňuje z chemické reakce. Toto teplo se předává sáláním nebo prouděním do teplosměnných ploch kotle a odtud přes stěnu trubky vedením do pracovní látky (voda, pára, olej).

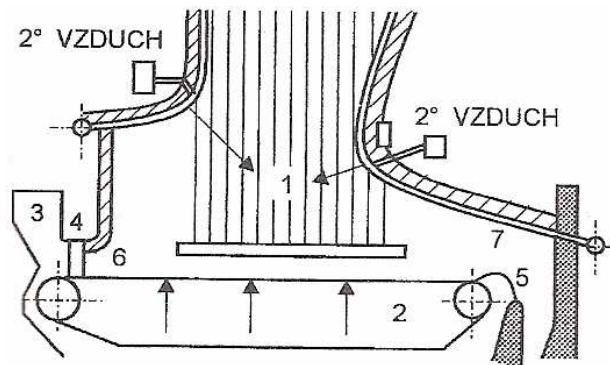
Kotle se dělí dle několika kritérií [6]:

- a) obecné rozdělení:
 - elektrárenské kotle
 - teplárenské kotle
 - výtopenské kotle
- b) podle použitého paliva:
 - tuhá paliva
 - kapalná paliva
 - plynná paliva
 - směsi paliv
- c) podle způsobu spalování:
 - roštové kotle
 - fluidní kotle
 - práškové kotle
- d) podle proudění vody:
 - s relativně velkým obsahem vody:
 - plamencové
 - žárotrubnaté
 - kombinované
 - s relativně malým obsahem vody:
 - s přirozenou cirkulací vody
 - s nucenou cirkulací vody
- e) podle přetlaku páry:
 - nízkotlaké od 0 do 0,05 MPa
 - středotlaké od 0,05 do 1,6 MPa
 - vysokotlaké od 1,6 do 16 MPa
 - velmi vysokotlaké nad 16 MPa

Technologické řešení teplárny na biomasu s parním pístovým motorem

4.1.2.1 Roštový kotel

Slouží ke spalování tuhých paliv v pevné vrstvě. Samotné spalování probíhá ve dvou vrstvách, a to uvnitř pevné vrstvy a nad touto vrstvou. Podíl hoření nad vrstvou kolísá a je dán obsahem prchavé hořlaviny v palivu. Prchavá hořlavina se uvolňuje teplem vzniklým spalováním pevné vrstvy ležící na roštu. Na obr. 6 jsou popsány základní části roštového kotle, který je vybaven řetězovým roštem umožňujícím trvale přemísťování paliva. 1 je



ohniště ohraničené roštem 2, přední a zadní klenbou 6 a 7 a stěnami ohniště. Palivo se sype na rošt ze zásobníku 3 a přes hradítko 4, které určuje výšku palivové vrstvy. Rošt se otáčí rychlostí 1–2 mm/s ve směru hodinových ručiček, a poté co palivo prohoří, je tuhý zbytek (škvára, popel) dopravován přes škvárový jížek 5 do škvárové výsypky.

Obr. 6: schéma roštového kotle [3]

Požadavky kladené na kotlový rošt [6]:

1. Umožňovat postupné vysoušení paliva, jeho zahřátí na zápalnou teplotu a hoření.
2. Podpírat kusové palivo a umožňovat vytvoření vrstvy požadované tloušťky a prodyšnosti.
3. Zajišťovat přívod spalovacího vzduchu tak, aby spalování probíhalo při optimálním přebytku vzduchu.
4. Zajišťovat shromažďování a odvod tuhých zbytků po spálení z ohniště.
5. umožňovat regulaci výkonu ohniště a tím i regulaci celého kotle.

4.1.2.2 Fluidní kotel

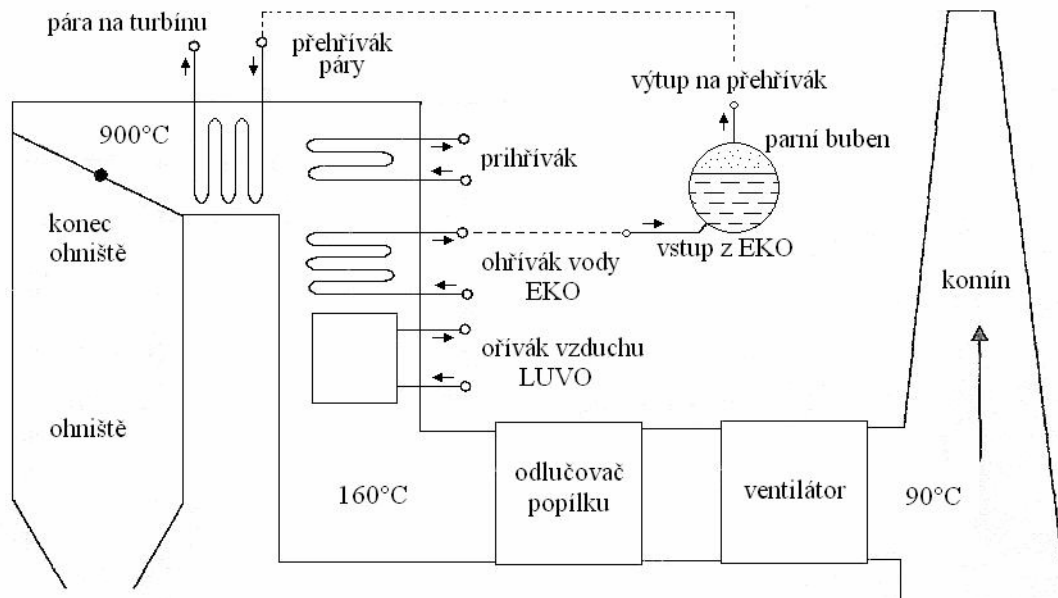
Fluidní spalování začíná v poslední době svými výhodami konkurovat klasickému roštovému spalování. Samotné spalování probíhá ve fluidní vrstvě, tedy ve vnosu paliva proudem tekutiny (spalovací vzduch). Fluidní vrstva je tedy disperzní systém, tento systém se vytváří průtokem plynu přes vrstvu paliva nasypanou nad pórovité dno, tzv. fluidní rošt. Jelikož funkce fluidního kotle je založena na vnosu paliva, ve kterém dochází k intenzivním turbulencím, což má za následek podstatně dokonalejší promíchávání disperzního systému, dochází k úletu ještě nespálených částic, proto je zde nutné zavést tzv. recirkulaci spalin. Tím se dosáhne delšího pobytu paliva v ohništi, což má za následek lepší vyhoření uhlíku. A když je vhodně dávkováno aditivo, lze dosáhnout i lepšího odsíření. Toto je jedna z předností fluidních kotlů.

4.1.3 Parní cyklus

Po spálení dřeva se vytvoří velké množství tepelné energie, toto teplo je odváděno spalinami z ohniště. Spaliny prochází několika zařízeními, které toto teplo absorbují

Technologické řešení teplárny na biomasu s parním pístovým motorem

a předávají ho páře, napájecí vodě a naposledy spalovacímu vzduchu. Na obr. 7 jsou tato zařízení seřazena a vyjmenována.



Obr. 7: Schéma spalínového traktu s parním bubnem [3], upraveno autorem

LUVU (předehříváč vzduchu): tato teplosměnná plocha slouží k předehřevu vzduchu, který je pak hnán do kotle jako vzduch spalovací, tímto technologickým zařízením se dosahuje vyšších teplot na konci ohniště.

EKO (ekonomizér): zařízení sloužící k ohřevu napájecí vody přiváděné ze zásobníku čerstvé nebo kondenzační vody, neboli z napájecí nádrže

Přihřívák a mezipřihřívák: slouží předehřevu páry již jednou expandované v parním stroji. Pára se z vysokotlakého parního stroje vrací zpět do kotle, kde je znovu přihřívána na teplotu mírně nižší než je teplota admisní páry, a ta je poté zavedena do nízkotlakého parního stroje.

Přehřívák: v tomto výměníku se pára přehřívá na velmi vysoké teploty, tím se zvyšuje termická účinnost parního cyklu.

Přehřívák, přihřívák, mezipřihřívák a parní buben nebude součástí kotle použitým v obr. 5. Pára se vytvoří v kotli a je vedena přímo na parní motor. Zde jsou uvedena pro doplnění základní stavební konstrukce pro teplárny na velké výkony.

Napájecí voda, hnána napájecím čerpadlem do kotle pod jistým tlakem, vstupuje do zařízení zvané ekonomizér. Zde se teplota vody zvýší na hodnotu blízkou bodu varu danou tlakem vody. Takto ohřátá, ale nevroucí voda je poté vedena do teplosměnné plochy umístěné blíže konce ohniště, kde je dále ohřívána. Dojde ke změně fáze a z vody se stává sytá pára. Pára je poté vedena do parního motoru. Tam vykoná práci. Potom, co pára projde parním motorem, její další cesta směřuje do kondenzátoru, kde kondenzuje na teplotu cca 105°C. Vzniklý kondenzát se odvádí do sběrné nádoby, tzv. napájecí nádrže. Tím parní cyklus končí.

Technologické řešení teplárny na biomasu s parním pístovým motorem

4.1.4 Spalinové hospodářství

Součástí spalinového cyklu je také zařízení, které se stará o to, aby vyčistilo spaliny na přípustné koncentrace dané českou legislativou. Ta stanovuje tzv. emisní limity. Jedná se především o znečišťující plynné látky, jako je SO_2 a NO_x , nebo pevné látky zvané popílek. Tyto plyny jsou nežádoucí, poškozují lidské zdraví a také znečišťují atmosféru.

Snižování koncentrace plynu SO_2 ze spalin se říká odsiřování a je možno mnoha různorodými technologiemi, podstatou však je, že plyn SO_2 se váže na tzv. absorbent, tím bývá nejčastěji vápno, vápenec či louh. Po absorpci plynu SO_2 je takováto částice odloučena v odlučovači pevných částic. Děje se tak pomocí mechanických, elektrostatických nebo filtračních odlučováků. Elektrostatické odlučovány pracují v dnešní době s více než 99% účinností, takže vypouštěného popílku do ovzduší ze spaloven, tepláren či elektráren je velice málo.

Odstraňování plynu NO_x je založeno na reakci spalinových NO_x s reagentem. Nejvhodnějšími reagenty jsou čpavek nebo močovina. Omezení tvorby plynů NO_x je možno nejlépe realizovat pomocí řízeného spalování. Až druhou metodou je čištění spalin, tzv. denitrifikace.

4.2 KONDENZÁTOR A CHLADÍCÍ VĚŽ

Téměř za každým parním motorem, jenž zpracovává páru, je umístěn tzv. kondenzátor. Kondenzátor je součástí uzavřeného okruhu společně s chladicími věžemi a tepelným výměníkem. Do kondenzátoru se přivádí chladivo (v našem případě studená teplárenská větev), která odebírá teplo zbylé v páře vystupující z parního motoru. Pokles teploty páry způsobí změnu její fáze, tzn. že pára se vrátí zpět do skupenství kapalného, a vytvoří se tzv. kondenzát. Tato změna fáze je doprovázená citelným snížením tlaku, což je přínosem pro parní motor, kdy pára může expandovat na nižší tlak. Chladná teplárenská větev se tímto ohřeje, čímž odvádí teplo z parního cyklu a předává jej spotřebiteli. Součástí kondenzačního zařízení je i chladicí věž.

Pokud je snižena poptávka po teple, zejména v teplých letních měsících, musí se teplo odvádět jinak, než přes spotřebitele. Proto je do okruhu zařazena chladicí věž. U zařízení takto malých výkonů je postačující chlazení vzduchové chlazení. Pracujícím na stejném principu jako chladič vody u automobilu.

4.3. NAPÁJECÍ NÁDRŽ

Do napájecí nádrže (NN) jsou svedeny všechny technologické teplárenské vodní a parní větve. Je to tedy sběrné místo veškeré vody používané v parostrojním cyklu a odtud je poté napájecím čerpadlem hnána zpět do kotle.

Většina NN plní také funkci, které se říká termické odplynění. Je to technologická operace zbavující používanou vodu nežádoucích plynných nečistot rozpuštěných ve vodě, jako je O_2 a CO_2 . Tyto plyny způsobují korozi na kotelním zařízení. Jelikož tyto plyny mají omezenou mísitelnost ve vodě, která má teplotu blízko bodu sytosti kapaliny, musí se voda v NN udržovat okolo této teploty. Ve schématu na obr. 5 je řešení tohoto problému vyřešeno tak, že se odebírá část páry z parovodu směřující do parního motoru a zavádí se na dno NN, kde se nechá vodou probublávat. Tím se také dosáhne intenzivního promíchání vody v NN. Takto odloučené plyny se vypouští do okolního prostředí.

4.4. CHEMICKÁ ÚPRAVNA VODY

Jelikož je část vody odváděna v podobě páry spotřebitelům (a ne všechna je v podobě kondenzátu vrácena), je nutno tuto vodu neustále doplňovat. Voda však musí splňovat jisté parametry čistoty. Voda jako taková obsahuje řadu nečistot, jak minerály, tak bakterie a také rozpuštěné plyny. To vše musí být odstraněno a k tomu slouží oddělení chemické přípravy vody. Je to takový malý chemický závod.

V obr. 5 jsou tyto chemické úpravy dvě, a to z důvodu různých požadavků na čistotu vody jak v parostrojní smyčce, tak v kondenzační smyčce.

4.5. ČERPADLA

Velmi podstatnou roli pro provoz teplárny mají zařízení, jenž zabezpečují cirkulaci vody jak v celé teplárně, tak také mimo teplárnu (zpětné větve chladné vody a vratného kondenzátu). Na obr. 5 jsou celkem 4 čerpadla. Dvě jsou součástí parostrojní smyčky a mají dominantní roli. Jsou to čerpadla kondenzační a cirkulační. Zbylá dvě čerpadla zabezpečují cirkulaci vody a vratného kondenzátu, které obstarávají dodávku tepla pro spotřebitele.

4.5.1 Napájecí čerpadlo

Je to nejdůležitější čerpadlo celého teplárenského systému a je umístěno za NN. Vzhledem k tomu, že výkon parního motoru se předpokládá ne větší než 150 kW, bude pracovat s hodinovou spotřebou páry okolo 4 tun. Cirkulační větev se osazuje čerpadly průtočného množství značně většího než 4 t/h, a proto poběží čerpadlo v přerušovaném režimu.

4.6 OSTATNÍ PŘÍSLUŠENSTVÍ

4.6.1 Regulační ventily

Regulační ventily plní funkci regulace tlaku páry na požadovanou úroveň. Prakticky se jedná o škrcení průtočného průřezu. Při průchodu páry škrceným místem dojde ke zvýšení rychlosti proudění a snížení tlaku, v určité vzdálenosti za clonou se rychlost opět sníží a tlak se zvýší. Jelikož za clonou se vytvoří řada vírů, tak původní tlak se nevrátí na původní hodnotu, ale na tlak nižší. Rozdílu tlaku se říká tlaková ztráta Δp_z .

4.6.2 Uzavírací armatury

Uzavíracími armaturami jsou osazena všechna důležitá zařízení v cirkulačních smyčkách. Je to z důvodu rychlé výměny zařízení při jeho poruše. Jednoduše se uzavřou armatury a zařízení se vymění. Výhodou je, že se nemusí vypouštět všechna voda. Ne všechny uzavírací armatury jsou za provozu otevřeny. Například uzavírací armatury v parní smyčce, která plní funkci tzv. by-pásu kolem parního motoru. V případě poruchy parního motoru, nebo když není potřeba vyrábět elektrickou energii, se otevřou uzavírací armatury a pára je vedena touto smyčkou.

5. PARNÍ MOTOR

5.1 Historie parního pístového motoru

Parní motory začaly být nedílnou součástí jakéhokoli výrobního či zpracovatelského odvětví v průmyslu až v době, kdy James Watt přišel s novinkou, která udělala z parního motoru výkonnější pohonnou jednotku než byl člověk samotný. Stalo se tak v roce 1765 [7], to již byla funkce parního motoru známa díky vynálezu Thomase Saveryho a Thomase Newcomena. Tito pánové vynalezli motor, který pracoval na principu kondenzace páry v uzavřeném válci. Po kondenzaci páry došlo k vytvoření podtlaku a toho bylo využito k čerpání vody z hlubinných dolů. James Watt toto zařízení vylepšil tím, že páru nechal kondenzovat v externím válci, tím výrazně urychlil cyklus čerpání vody a tímto krokem zvýšil pracovní výkon motoru. James Watt si nechal v druhé polovině 18. století patentovat řadu vynálezů, jako je dvojčinný parní stroj, odstředivý regulátor nebo převod posuvného pohybu pístu na otáčivý a mnoho dalších, které byly využívány po celou éru parních motorů. V průběhu 19. století se parní motor uplatňoval jak v železniční a lodní dopravě, tak v průmyslovém odvětví, jako pohon transmisní hřídele. Na polích pomáhaly zemědělcům parní oračky či buchary a povrch silnic upravovaly parní válcovačky, respektive dnes známější jako parní válce.

Na začátku 20. století začaly parní turbíny a spalovací motory vytlačovat parní pístové motory pomalu ze scény. V době současné se parní pístové motory již moc nevyužívají, neboť parní turbína má spoustu předností, které nedávají parnímu pístovému motoru šanci jakkoli konkurovat. V některých případech je parního motoru použito a to třeba na letadlových lodích, kde se zařízení, používající pro svou funkci páru, nazývá parní prak s několik metrů dlouhým válcem.

5.2 PRINCIP A FUNKCE PARNÍHO PÍSTOVÉHO MOTORU

Hlavní úlohou parního pístového motoru (PPM) je přeměna tepelné energie páry na užitečnou mechanickou práci. Z kotle se teplo dodává páře, ta se přivádí přes regulátor do šoupátkové komory a odtud je rozváděna do válce. Poté, co pára vykoná práci, je opět přes šoupátkovou komoru vypouštěna ven. Následný posuvný pohyb pístu je přes pístní tyč, křížový kloub a ojnici převeden na rotační pohyb a to díky klikové hřídeli. Součástí motoru tvoří také setrvačnick, kryty a řemenice.

5.3 ROZDĚLENÍ PARNÍCH PÍSTOVÝCH MOTORŮ

5.3.1 Primární dělení

Parní motory můžeme rozdělit podle způsobu pohybu jejich hlavních částí a to na:

- parní motory pístové (vratné)
- parní turbíny (rotační)

Parní turbíny přeměňují tlakovou energii páry na kinetickou, která se zachycuje v lopatkách turbíny a vyvádí se jako rotační pohyb pomocí hlavní hřídele ven na spojku, kde je následně připojeno odběrové zařízení (elektrický generátor, mechanický stroj, aj.)

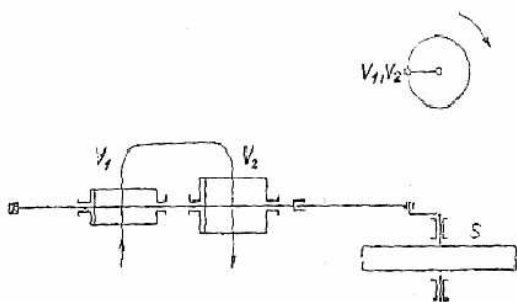
5.3.2 Sekundární dělení

a) podle polohy parních válců

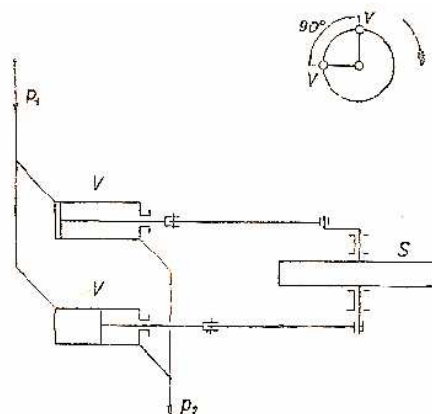
Zde se motory dělí podle toho, jakou polohu zaujímá celý parní válec, a to na horizontální (ležaté), vertikální (stojaté), šikmé. V drtivé většině se parní motory umísťují do polohy horizontální. Je to z důvodu lepší obslužnosti, přístupnosti a přehlednosti. Horizontální motory se také lépe odvodňují (zkondenzovaná pára), jsou proto levnější. Velkou nevýhodou pak je, že velké a těžké písty jednostranně namáhají vnitřek válce třením, a tím způsobují ztráty i jeho rychlejší vyběhání. Další negativní vlastností je nutná větší půdorysná zástavba.

b) podle počtu válců

Rozeznáváme motory jednoválcové a několikaválcové. Tyto motory mohou být dvojčité nebo trojčité. Podle počtu válců rozlišujeme motory, které pro expanzi páry využívají více stupňů. To znamená, že se pára nechá expandovat ve více válcích za sebou, a tím se lépe využije energie páry. Pára má tedy možnost expandovat na nižší tlak, a tím vydat ze sebe více práce. To slouží ke snížení měrné spotřeby páry se stejným výkonem na hřídeli jakou u motoru jednoválcového. U dvouválcového, nebo-li dvojexpansního motoru, se přivádí pára do prvního válce pod vysokým tlakem a teplotou. Jelikož má pára o těchto parametrech malý měrný objem, je první ze dvou válců menší. Po skončení expanze v prvním válci se pára přivádí do válce většího, též zvaného nízkotlaký, kde se expanze dokončí, možno vidět na obr. 6. Motory dvojčité a trojčité poznáme tak, že mají dva popřípadě tři naprosto stejné válce o stejném vstupním i výstupním tlaku, kde válce leží vedle sebe, obr. 7. U dvojčítých motorů jsou kliky obou válců vůči sobě natočeny o 90° . Trojčítý stroj má natočení klik o 120° . Toto natočené klik válců umožní spouštění stroje z klidu a to bez nutnosti natáčet setrvačnick v případě, že by byl píst v mrtvé poloze (úvrati). Výhodou oproti jednoválcovému motoru je tedy snadnější spouštění a klidnější chod.



Obr.6: Dvouválcový parní stroj. [7]



Obr.7: Dvojčítý parní stroj. [7]

V-válec, S-setrvačnick

Technologické řešení teplárny na biomasu s parním pístovým motorem

c) podle způsobu výfuku páry

Jestli že parní motor vyfukuje páru z parního válce přímo do atmosféry nazývá se výfukový. Pokud ji vypouští do kondenzátoru, nazývá se kondenzátorový. U výfukových motorů se pára vyfukuje s přetlakem o 10-20 kPa větším než je tlak atmosférický. Dochází tedy k nenávratnému vypuštění použité vody do okolního prostředí. Naproti tomu u kondenzátorových motorů se voda, po její kondenzaci v kondenzačních věžích, vrací zpět do parního okruhu. Druhou obrovskou výhodou těchto motorů je, že pára expanduje na mnohem menší tlak, a to díky vytvoření téměř nulového tlaku díky kondenzaci páry. To má za následek větší využití potenciálu ukrytého v páře jako tlakové energie. V některých případech průmysl požaduje, aby mu byla dodávaná pára o jistých parametrech teploty a tlaku. V takových případech se expanze ukončuje mírně před dosažením těchto parametrů ve válci, aby byly pokryty tlakové a teplotní ztráty v potrubí a zákazník dostával páru takovou jakou potřebuje. Tyto stroje jsou označovány jako protitlaké, neboť parní motor musí vyfukovat páru do výtopenkové sítě o jistém tlaku.

d) podle jakosti páry

Známe dva druhy parních stavů, a to stav syté páry a stav přehřáté páry. Označení sytá pára používáme tehdy, jestliže se právě odpařila poslední kapička vody. Motory na tento druh páry se v praxi využívaly pouze málo, vhodnější a efektivnější bylo používat motory na páru přehřátou. Tato pára má menší měrný objem a ke kondenzaci v parovodech dochází jen velmi zřídka. Tím se uvolňuje méně výparného tepla, jsou menší i ztráty v potrubí. Motor tedy může zpracovat větší tepelný spád, a tak vzroste jeho mechanická účinnost.

e) podle doby působení páry na píst

Zde se motory dělí na expanzní a plnotlaké. Plnotlaké motory jsou ty, ve kterých tlak páry působí po celý zdvih pístu, tedy probíhá tzv. 100% plnění. Tento způsob plnění bývá výjimkou a používá se pouze v případech, kdy je technologie výroby tím nejdůležitějším činitelem. Spotřeba páry tím narůstá řádově o 30–40 kg/kWh. V naprosté většině případů jsou motory vyráběny jako expanzní, kdy se využívá rozpínání páry.

f) podle stability motoru

Jsou motory stacionární a mobilní. Stacionární motory jsou připevněny k betonovým základům a jsou zpravidla masivní, velkých výkonů. Menší motory jsou potom pohonnou jednotkou různých zařízení. Tyto se dají přemísťovat, a jsou proto nazývané mobilní.

g) podle výše tlaku páry ve válci

Toto dělení je dle hlavního pracovního (kompresního) tlaku

- nízkotlaké 0,8–1 MPa
- středotlaké 1,5–2 MPa
- vysokotlaké nad 2 MPa
- nad 5 MPa motory na nejvyšší tlaky

Technologické řešení teplárny na biomasu s parním pístovým motorem

h) dělení podle rozvodu tlaku

Rozvodu tlaku byla věnována značná pozornost z hlediska tepelného namáhání celého válce. Klasický šoupátkový rozvod přestal vyhovovat zvyšujícím se nárokům na rozvodový mechanismus, proto se začal používat rozvod ventilový. Jsou to tedy šoupátkové a ventilové rozvody. Druhé zmiňované umožní pozdější plnění a jelikož jeden ventil sloužil pro přívod páry a druhý pro odvod snížila, se vnitřní ztráta z důvodu neochlazování se přívodního kanálu chladnou expandovanou parou.

i) podle počtu otáček

V této kategorii se motory dělí na dvě skupiny:

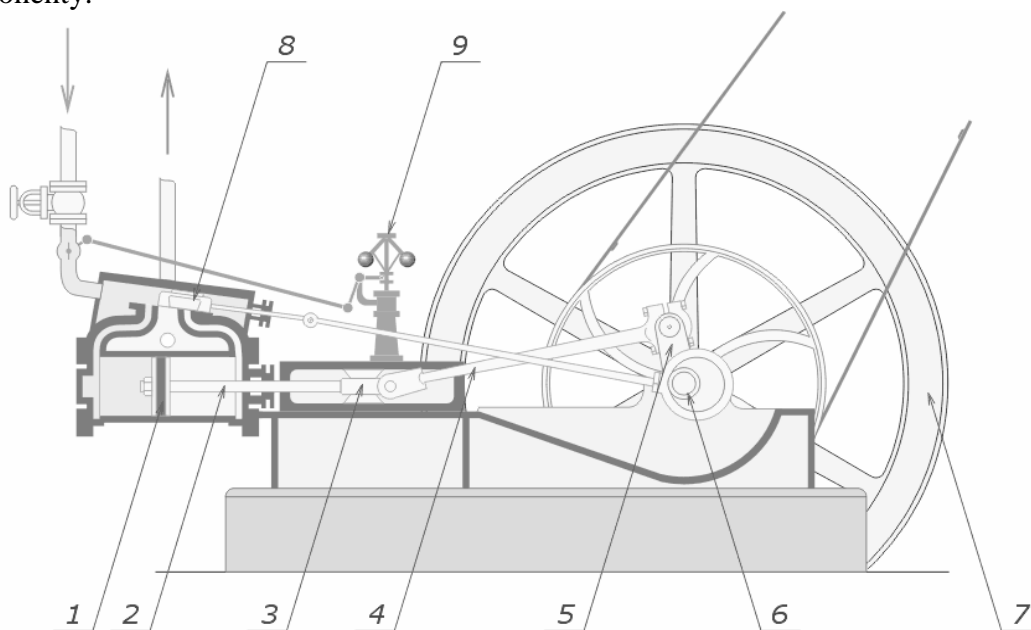
- stroje rychloběžné 200–3500 ot/min
- stroje pomaloběžné 150–200 ot/min

5.4 HLAVNÍ SOUČÁSTI PARNÍHO PÍSTOVÉHO MOTORU

Na obr. 8 lze vidět základní části parního motoru. Jako první nám padne do oka velký setrvačnick s klikovým mechanismem a posléze parní válec s rozvodem. Postupně si jednotlivé důležité části proberme.

5.4.1 Klikové ústrojí

Klikovým mechanismem se mění vratný přímočarý pohyb na rotační (spalovací a parní motory), nebo obráceně (čerpadla, pumpy). Na obr. 8 jsou vyznačené hlavní komponenty.



1-píst, 2-pístní tyč, 3-křížový čep, 4-ojnice, 5-kliková hřídel, 6-rozvod, 7-setrvačnick, 8-šoupátko s válcovou částí, 9-regulátor

Obr.8: Schéma parního motoru [7]

Technologické řešení teplárny na biomasu s parním pístovým motorem

5.4.1.1 Píst

Píst přenáší expandující tlak páry na další součásti klikového mechanismu. Požadavky kladené na parní píst jsou následující:

- dostatečná pevnost (odpovídající rozměry dle tlaku páry)
- těsnost (má vliv na velikost ztrát)
- malé setrvačné síly (váha pístu s kombinací jeho pohybu)
- malý škodný prostor

U parních motorů se převážně používá dvojčinných pístů, tzn. že na píst působí pára z obou stran. Aby se píst ve válci pohyboval snadno bez tření, dělává se o 1–2 mm menší. Další důvod je ten, že vlivem tepelného zatížení může píst dilatovat a posléze se zadřít. Po obvodu pístu je několik drážek (2–3 i více, dle přetlaku ve válci) pro pístní kroužky. Pokud motor pracuje s malými otáčkami a velkým přetlakem ve válci, tak vznikají velké ztráty vnitřní netěsností a proto se používá více pístních kroužků.

Materiál pístních kroužků musí být nutně měkčí, než je materiál válce. Je to proto, aby se provozem opotřebil pístní kroužek (součást levnější) a ne válec. Výroba pístních kroužků není složitá, obrobí se dutá roura na požadovaný průměr a poté se kroužek upíchne na potřebnou šíři a v kroužku se vyfrézuje spára (pro snadnější montáž). Poté se kroužek stáhne a spájí zase v jeden celek, obrousí se načisto, tak aby doléhal po obvodu na stěnu válce stejným tlakem, a zase se rozpájí. Při nasazování kroužků musí být obsluha opatrná, aby při jeho převlékání přes píst, který je většího průměru, nedošlo k jeho prasknutí. Jelikož je kroužek přerušovaný (ztráty netěsností), jsou kroužky vůči sobě pootočený, nejčastěji o 120°. Aby nedocházelo při provozu k jejich natačení, jsou vystředěny tzv. pojistným kolíčkem, ten je umístěn v drážce pístu.

5.4.1.2 Pístní tyč

Úkol pístnice je spojit píst s křížovým šroubem, též křížákem. Spojení s pístem se provádí tak, že se pístnice postrčí skrz náboj v pístu a stáhne se maticí. Ta se pojistí proti uvolnění závlačkou. Spoj však požaduje dvě zásadní a spolehlivé funkce. Spojení musí zajistit souosost obou součástí a musí být pevné a těsné tak, aby mezi pístem a pístnicí nepronikala pára. Oba tyto požadavky se vyřeší použitím kuželového spojení s kuželovitostí 1:10. Spojení s křížákem se obvykle provádí příčným klínem.

Při montáži pístní tyče je důležitá hloubka zasunutí středícího klínu. Kdyby se klín zatloukl příliš hluboko, došlo by k posunutí pístu vůči válci a mohlo by se stát, že píst narazí do víka válce. Tento stav nesmí nastat, proto se musí píst s pístnicí vystředit tak, že když je píst v mrtvé poloze, je mezera mezi víkem a pístem 2–5 mm. Tento prostor se nazývá škodný. Z jednoho hlediska je tento prostor žádoucí a z jiného ne. V tomto škodném prostoru se při výfukovém režimu uzavírá chladná vyexpandovaná pára a tím ochlazuje víko s okolní stěnou válce i přívodní potrubí, když se poté přivede nová teplá pára, začne ohřívat tyto chladné plochy, tím vznikají další vnitřní ztráty. Kdyby byl tento prostor nulový (píst dosedá těsně na stěnu válce), došlo by k tomu, že by na konci výfukového cyklu byl tlak 110 kPa a při následném otevření přívodního potrubí by pára s tlakem kolem 1 MPa narazila na píst a způsobila tak velké rázové otřesy. Tím by trpěly především čepy klikového ústrojí. Z tohoto důvodu je jistá velikost škodného prostoru žádoucí. Navíc se výfukový cyklus ukončí těsně

Technologické řešení teplárny na biomasu s parním pístovým motorem

před tím, než píst dosáhne mrtvé polohy. Tím se ve škodném prostoru zvýší tlak a zmenší se tlaková diference mezi tlakem uvnitř válce a tlakem čerstvé páry.

Pístní tyč koná přímočarý vratný pohyb a odděluje parní část stroje s mechanickou částí, přitom prochází tzv. ucpávkou.

Ucpávka plní funkci těsniva a má zabránit úniku páry z válce. Ta se vloží do ucpávkového hrdla kolem pístnice a mírně se přitlačuje na pístnici ucpávkovým víkem. Materiálem ucpávek jsou nejčastěji konopné nebo bavlněné provazce napuštěné tukem. Pro stroje s vyšším pracovním tlakem se ucpávky dělají z měkkých kovových slitin.

5.4.1.3 Křížák

Předávání síly z pístní tyče na ojnici má za úkol křížákový kloub (křížák). Křížák také zachycuje kolmou složku síly působící v křížákovém čepu. Vodící plochy jsou buď válcového, nebo rovinného charakteru. Výhodou válcové vodící plochy je, že je snazší na výrobu. Rovinné vodící plochy jsou sice dražší na výrobu, ale při opravách na smontovaném stroji jsou přístupnější, přehlednější a snadněji se na nich opravují vůle, které jsou důsledkem opotřebování. Vhodnější jsou také pro motory větších výkonů, neboť rovinné plochy vycházejí menší a z toho plyne úspora na váze a tím také zmenšení dynamického namáhání celého motoru. Spojení křížáku s ojnicí je realizované pomocí křížákového čepu.

Křížákový čep je nehybně uložen v křížákovém tělese. Uložení je provedeno stejným způsobem, jako je spojen píst s pístní tyčí. Zde má křížákové těleso dvě stěny, proto čep má dvě kuželové plochy, mezi kterými je válcová část, na kterou se nasadí ojniční hlava. Slabší konec křížákového čepu přechází ve šroub, na který se nasadí podložka s maticí a utáhne silou, která by neměla být příliš velká, aby nedošlo k sevření ojnice nacházející se mezi stěnami křížáku. Vznikalo by tak tření, potažmo teplo, které by se projevovalo snížením účinnosti stroje.

5.4.1.4 Ojnice

Přenáší sílu mezi křížákem a klikovou hřídelí za současné změny přímočarého vratného pohybu křížáku na otáčivý pohyb kliky. Na obou koncích ojnice jsou takzvané ojniční hlavy s otvory pro křížákové a klikové čepy. Ojniční hlavy jsou dvojího provedení, a to s otevřenou hlavou, nebo s uzavřenou hlavou. Typickým příkladem je ojnice klasického spalovacího motoru, která má oba typy hlav. Otevřená hlava se dělá z důvodu možnosti nasazení ojnice na zalomený hřídel. Víko ojnice se připevňuje dvěma šrouby. Délka ojnice bývá 4-6krát větší než je poloměr kliky. U velmi malých motorů délka ojnice bývá i 3krát větší, aby se zmenšila celková délka stroje. Díky ojnice je v průběhu pracovního cyklu namáhání střídavě na tah a tlak, proto tato část motoru musí splňovat několik předpokladů:

- mít co nejmenší hmotnost
- malou délkovou roztažnost
- dobré vlastnosti při namáhání na vzpěr

Aby byly dodrženy tyto podmínky, ojnice se nejčastěji kove či odlévá z lité oceli. Tvar dřívku se podobá převážně tvaru „I“. V ojničních hlavách jsou nalisované pánve. Ty jsou vyráběny z jiných materiálů, neboť jsou na ně kladeny jiné požadavky a to především minimální tření. Tření se zamezuje neustálým přiváděním oleje. Ten se přivádí doprostřed pánve pomocí drážky vyvrtné v osové směru uprostřed čepu. Pánve a příslušné čepy musí

Technologické řešení teplárny na biomasu s parním pístovým motorem

do sebe zapadat s chirurgickou přesností, neboť kdyby byla mezi pánví a čepem vůle, tak by při každém zdvihu na klikový mechanismus působil škodlivý ráz.

5.4.1.5. Kliková hřídel

Kliková hřídel je první funkční částí klikového mechanismu, která koná pouze rotační pohyb. Na hřídeli jsou dvě místa, která jsou opracovaná na přesný kruhovitý rozměr a slouží k uložení hřídele v rámu stroje. Klikový čep je držen pomocí ramen v jisté radiální vzdálenosti od osy klikového hřídele. Síla působící v tomto bodě v tečném směru vytváří moment, kterým se generuje rotační pohyb. Klikové čepy u několikrát zalomených hřídelů jsou vůči sobě natočeny nejčastěji o 90°, 120° nebo 180°. Hlavní hřídel, ale i všechna ložiska a pánve se musí uložit přesně vodorovně a kolmo na prodlouženou osu válce. Jinak by docházelo k jednostrannému dosedání čepů na pánve. Motor by pracoval ztuha a generovalo by se tření. Hřídel je většinou kovaná, ale také i litá. Materiálem je ocel.

5.4.1.6 Rozvody

Rozvody mají za úkol páru do válce v určitém okamžiku přivádět a zase v určitém okamžiku odvádět a požadavky na ně kladené jsou:

- tvar prostupů: proudící pára prostupuje určitými otvory. Ty musí být náležitého tvaru a velikosti v závislosti na rychlosti přiváděné páry.
- možnost změny plnění: plnění musí být plně regulovatelné v závislosti na zatížení motoru.
- vyrovnání plnění a komprese: rozvody páry mají být navrženy tak, aby koncové tlaky páry, práce a expansní a kompresní křivky byly po obou stranách válce stejné.
- možnosti seřízení za provozu: motor se používáním opotřebovává, proto je nutno provádět seřizování,
- tepelná odolnost: celý motor se po njetí na jmenovitý výkon zahřeje a tím pádem dilatuje. Šoupátka nebo ventily musí být těsné a nepropouštět páru do válce, nebo z něj ven.
- energetická náročnost: síla potřebná pro pohyb rozvodů by měla být co nejmenší, aby neklesala mechanická účinnost motoru. Rozvod má být jednoduchý a přehledný.

5.4.1.7 Setrvačnick

„Je-li klika v mrtvé poloze, nelze uvést parní motor tlakem páry do pohybu. To proto, že pracující složka hnací síly je v klikovém čepu a je rovna nule, zatímco zatěžující síla parního motoru má svoji jistou hodnotu. Teprve postaví-li se motor na zdvih, rozkročí-li se (kdy je klika mimo mrtvou polohu), rozběhne se motor působením páry. Čím více je motor rozkročen, tím snadněji se roztočí. V mrtvých polohách by motor zpomaloval, popřípadě se i zastavil“ [8].

Otáčení motoru by tak bylo velice nerovnoměrné a namáhavé pro jednotlivé součásti. Proto se na hlavní klikovou hřídel nasazuje mohutný setrvačnick. Jeho rotující hmota je tak obrovská, že hravě zvládá překlenutí mrtvých poloh a přispívá tím ke stabilizaci chodu motoru. Necháme-li roztočit setrvačnick při běhu naprázdno, akumuluje se do něj značná část

Technologické řešení teplárny na biomasu s parním pístovým motorem

energie, která může být použita jako dodávka energie při jejím náhlém nedostatku. Možnosti aplikace jsou při válcování kolejnič.

Shrnutí požadavků na setrvačnick:

- přenášet kliku přes mrtvé polohy.
- zmenšovat nerovnoměrnost otáčení motoru při každé otáčce.
- překonávat náhlé veliké změny zatížení slabého parního motoru.

5.4.1.8 Šoupátko

Šoupátko je jednou z hlavních částí, která zajišťuje správné plnění válce parou. Šoupátkový rozvod se pohybuje v šoupátkové komoře po rovinném sedle, do kterého ústí po stranách parní kanály, a uprostřed je kanál výfukový. Tomuto šoupátku uděluje pohyb tzv. výstředník (nasazen na klikovém hřídeli). Zdvih šoupátka z levé do pravé krajní polohy je roven dvěma výstřednostem. Výstředník je naklínován na klikovou hřídel a při otáčení kliky opisuje střed výstředníku jakousi kružnici a její poloměr se nazývá výstřednost.

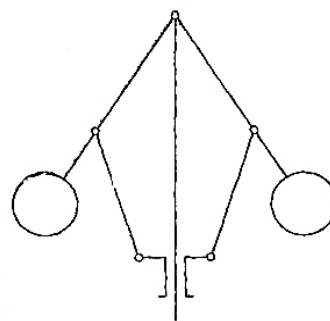
U motorů větších výkonů je použit rozvod ventilový. Ten je zpravidla dražší než šoupátkový a to z důvodu většího počtu součástí účastnících se rozvodového procesu. U ventilového rozvodu jsou 4 ventily a to jeden pár ventilů přívodního a vypouštěcího kanálu určených pro přední stranu válce a jeden pár pro zadní stranu válce. Tímto uspořádáním lze vyhovět požadavku lepšího dávkování páry a tím pozvednou účinnost motoru.

5.4.1.9 Regulátory

Rozlišujeme několik druhů regulátorů:

- Rychlostní regulátory: ty samočinně udržují konstantní otáčky při různé změně zatížení. Příkladem použití je například elektrický generátor, který vyžaduje mít stejnou frekvenci otáčení.
- Výkonové regulátory: tyto regulátory se používají tam, kde jde o konstantní dodávku výkonu, jako je například kompresor či čerpadlo.
- Tlakové regulátory: použití je tam, kde určující veličinou na výstupu ze motoru je tlak páry.
- Teplotní regulátory: podobně jako v případě c), kdežto výstupní řídicí veličina je teplota.

U parních motorů se nejčastěji využívá rychlostní regulace. Tu je možno řídit ručně nebo automaticky (samočinně). Nejznámějším regulátorem je Wattův regulátor obr. 9. Mezitím, co setrvačnick vyrovnává nerovnoměrnost běhu parního motoru jako celku, regulátor vyrovnává nerovnoměrnost chodu v průběhu každé otáčky. Pohyb regulátorových závaží se přenáší na regulační klapku pomocí objímky a soustavě táhel, jak je znázorněno v obr. 9.



Obr.9: Wattův regulátor [8]

Technologické řešení teplárny na biomasu s parním pístovým motorem

o malinko větší, než je tlak atmosférický cca 120 kPa, kdežto u motoru s kondensátorem je protitlak dle konstrukce kolem 6–10 kPa. Při zavírání výfukového kanálu, bod IV, dochází znovu ke škrcení par, dojde k mírnému nárůstu tlaku.

Pracovní cyklus tedy začíná v bodě I, kdy se otevře přívodní kanál s čerstvou admisní párou ještě před zadní mrtvou polohou. Plnění se ukončí zavřením přívodního kanálu v bodě II přibližně ve 2/3 pracovního zdvihu. Mezi body II a III probíhá samotná expanze, kdy jsou všechny kanály zavřeny. Jakmile píst dosáhne polohy III, šoupátko se překlene do polohy, kdy se otevře výfukový kanál a nastává fáze vyprazdňování páry z pracovního prostoru. Ta se ukončí, když je píst je v poloze IV, tj. zavřením výfukového kanálu. Mezi body IV a I nastává mírná komprese zbylé páry, aby se zmírnilo namáhání motoru rázy způsobenými rozdílem admisního a výfukového tlaku.

6. SOUČASNÝ STAV TEPLÁRENSTVÍ V ČR

Současná situace v ČR není pro teplárenství vůbec příznivá, na vině je český regulační úřad. Různé obnovitelné zdroje, z nichž je vyráběna elektrická energie, jsou státem vykupovaná za jinou cenou, například energie z větru je vykupovaná za 2-3 Kč/kWh_e nebo energie ze Slunce za 13 Kč/kWh_e. Problém však je, že český regulační úřad nevhodně stanovil výkupní cenu za 1 MWh_e z KVET na pouhých 10 Kč/kWh_e, v přepočtu na kWh_e to je 0,01 Kč.

Co to znamená?

Náklady na provoz + náklady na palivo + odpisy pevných nákladů – tržby z prodeje elektrické energie – tržby z prodeje tepla = zisk/ztráta. Je jasné, že malá výkupní cena elektrické energie musí být kompenzována vysokou prodejní cenou tepla. Důsledek vysoké ceny tepla vede spotřebitele k odpojování od teplárenské soustavy a k výrobě tepla v lokálních topeništích. Ty však nemají téměř žádné spalínové hospodářství a stávají se tak výraznými znečišťovateli životního prostředí. To si však odporuje s prvotním záměrem snižovat spotřebu fosilních paliv, a tím omezit produkci škodlivých emisí. Při odpojování těchto spotřebitelů od teplárenské sítě narůstá pevná složka nákladů, což vede znovu k zvýšení ceny tepla. Tento začarovaný kruh vede české teplárenství do záhuby.

7. ZÁVĚR

Z ekologického hlediska je spalování biomasy zcela v souladu s celosvětovou snahou o snižování produkovaných emisí, především CO₂. V porovnání s fosilními palivy je tato úspora citelná. Spálením dřevěné biomasy se vyprodukuje tolik CO₂, kolik bylo v průběhu jejího růstu spotřebováno. Tudíž biomasa je považovaná za neutrální vzhledem k CO₂.

Spalování biomasy je vhodné v místech, kde je její dostatečný zdroj, například dřevozpracující závody. Zde má kotelná svůj vlastní zdroj paliva, což výrazně snižuje cenu paliva. Aby byla dodržena vhodná bilance mezi náklady na palivo a maximálním výkonem celé teplárny, je třeba při návrhu teplárny počítat s tím, že výkon kotle bude dosahovat okolo 500 kW_t. Úměrně tomuto tepelnému výkonu je třeba do parního systému instalovat parní motor. Ten bude dosahovat 20-200 kW_e. Maximální termodynamická účinnost parního pístového motoru se pohybuje okolo 75%. Tam, kde není kladen požadavek na účinnost větší,

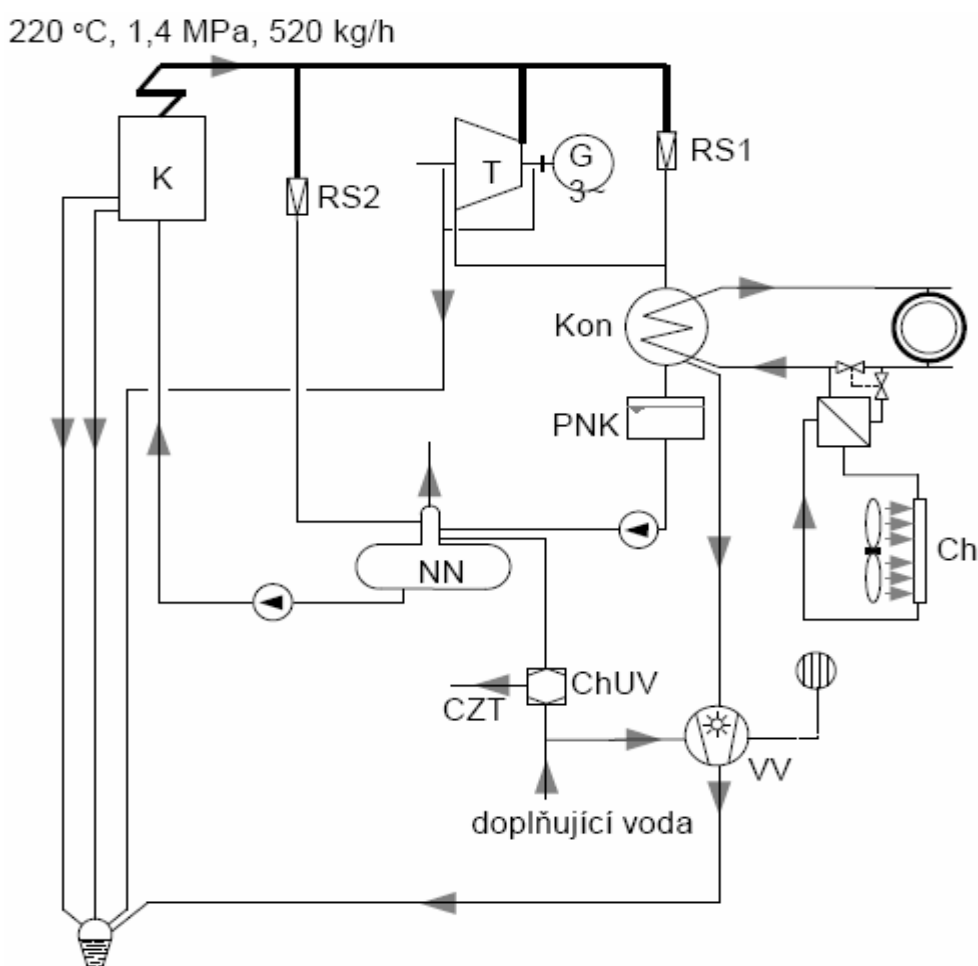
Technologické řešení teplárny na biomasu s parním pístovým motorem

je vhodné jej použít, a to vzhledem k jeho nízké pořizovací ceně. V opačném případě je vhodnější použít parní turbínu.

V průběhu zpracovávání této bakalářské práce mi byla inspirací malá teplárna na biomasu v areálu olomoucké ZOO. Tato teplárna spaluje ohlodané dřeviny zbylé po krmení zvěře, tzv. „okus“. Je navržena na zimní provoz, kdy za toto topné období spálí okolo 400 t dřevní štěpky. Provozní parametry teplárny:

-tepelný výkon	-320 kW _t
-elektrický výkon	-25 kW _e
-teplota páry	- 220°C
-tlak páry	- max 1,4 Mpa

Tato teplárna svým elektrickým výkonem pokrývá část vlastní spotřeby a vyráběným teplem jsou vytápěny administrativní budovy a část pavilónů. Technologické schéma je znázorněno na obr. 12.



K- kotel, T- turbína, Kon- kondenzátor, NN- napájecí nádrž, RS- redukční stanice, G- elektrický generátor, PNK- pomocná nádrž kondenzátoru, ChUV- chemická úprava vody, VV- vodokružná vývěva, Ch- chladič

Obr. 12: Technologické schéma teplárny v olomoucké ZOO [9]

8. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ŠKORPÍK, Jiří. *Biomasa* [online]. c2006-2009, poslední revize 25.2.2009 [cit. 2009-03-18]. Dostupné z <<http://oei.fme.vutbr.cz/jskorpik/240.html>>.
- [2] *Výroba elektřiny a tepla KVET* [online]. c2008 , 3. prosince 2008 [cit. 2009-04-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.pe.cz/upload/Image/kvet.gif>>.
- [3] KADRNOŽKA , Jaroslav, OCHRANA , Ladislav. *Teplárenství*. [s.l.] : [s.n.], 2001. 178 s.
- [4] ŠKORPÍK , Jiří. *Tepelné oběhy II* [online]. 2006-2009, poslední revize 20.3.2009 [cit. 2009-05-07]. Dostupný z WWW: <<http://oei.fme.vutbr.cz/jskorpik/125.html>>.
- [5] *Výhřevnost paliv* [online]. c2008, poslední revize 25.1.2009 [cit. 2009-03-18]. Dostupné z <http://www.pelletop.cz/vyhrevnost_paliv.html>.
- [6] OCHRANA, Ladislav. *Kotle a výměníky tepla*. [s.l.] : [s.n.], 2004. 85 s.
- [7] *Parní stroj* [online]. 2004-09-24 , 20.12.2008 [cit. 2009-03-22]. Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Parn%C3%AD_stroj>.
- [8] Klag, J.: *Parní stroje a turbíny*, Vydavatelstvo ROH-PRÁCE-vydavatelství knih, 1952.
- [9] ŠKORPÍK , Jiří. *Technologické schéma teplárny* [online]. 2006-2009 , 18.4.2009 [cit. 2009-05-19]. Dostupné z WWW: <<http://oei.fme.vutbr.cz/jskorpik/268.html>>.

9. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

a	– práce
l	– délka
p	– tlak
q	– teplo
s	– měrná entropie
T	– teplota
v	– objem
η	– účinnost