

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
STROJNÍ**



**ZÁVĚREČNÁ  
PRÁCE**

**2017**

**Vojtěch  
Dlouhý**

**Čestné prohlášení:**

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Praze, 8.června 2017

.....

Vojtěch Dlouhý

## Anotační list

---

<b>Jméno autora</b>	Vojtěch Dlouhý
<b>Název BP/DP</b>	Návrh elektrárny se sušením biomasy
<b>Anglický název:</b>	Design of power plant with biomas drying
<b>Akademický rok:</b>	2016/2017
<b>Ústav/Odbor:</b>	Ústav energetiky/Energetika a procesní technika
<b>Vedoucí BP/DP:</b>	doc. Ing. Tomáš Dlouhý CSc.
<b>Konzultant:</b>	
<b>Bibliografické údaje:</b>	Počet stran: 44 Počet obrázků: 10 Počet tabulek: 5 Počet příloh: 0
<b>Klíčová slova:</b>	biomasa, typy sušení biomasy, návrh elektráren
<b>Keyword:</b>	biomass, types of drying biomass, design of power stations
<b>Anotace:</b>	Tato práce se zabývá návrhy elektráren spalujících biomasu. Uvádí také různé metody sušení. V práci jsou porovnány návrhy dvou elektráren. Jedna elektrárna využívá ke spalování nevysušené palivo, druhá palivo vysušené ze sušárny, která je vytápěna odběrovou parou. V závěrečné části práce je energetické porovnání obou návrhů elektráren a zhodnocení přínosu sušení.
<b>Abstract:</b>	This thesis deals with the design of biomass burning plants. It also lists various drying methods. The work of the two power plants is compared. One plant uses unspent fuel for combustion, the second fuel is dried from an oven that is heated by steam. The final part of the thesis is the energy comparison of both power plant designs and the appreciation of drying benefits.

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Tomáši Dlouhému, CSc. za cenné rady, připomínky a přínosné konzultace v průběhu přípravy celé bakalářské práce.

## **Obsah**

<b>1. Seznam použitých symbolů</b>	8
<b>2. Úvod</b>	10
<b>3. Biomasa</b>	11
<b>3.1 Definice biomasy</b>	11
<b>3.2 Rozdělení biomasy</b>	12
<b>4. Biomasa jako palivo</b>	13
<b>4.1 Základní parametry</b>	13
<b>4.2 Výhřevnost</b>	13
<b>4.3 Vlhkost</b>	13
<b>4.4 Elementární složení hořlaviny</b>	14
<b>4.5 Obsah popela</b>	14
<b>5. Metody sušení biomasy</b>	15
<b>5.1 Proč sušit biomasu</b>	15
<b>5.2 Metody sušení po sklizení</b>	16
5.2.1 Pasivní sušení	16
5.2.2 Sušení dřeva	16
5.2.3 Aktivní sušení	16
5.2.4 Sušení mísením	17
<b>5.3 Metody aktivního sušení</b>	17
5.3.1 Metoda kompresního sušení	17
5.3.2 Metoda pásového sušení	17
5.3.3 Metoda šnekového sušení	19
5.3.4 Metoda rourového sušení	20
5.3.5 Metoda bubnového sušení	21
<b>6. Elektrárny a teplárny spalující biomasu</b>	22
<b>6.1 Plzeňská teplárenská</b>	22
<b>6.2 Kutná hora</b>	24
<b>7. Návrh tepelných oběhů</b>	24
<b>7.1 Návrh tepelného oběhu elektrárny bez sušení biomasy</b>	27

<b>7.2 Návrh tepelného oběhu elektrárny se sušením biomasy</b>	34
<b>8. Porovnání oběhů a vyhodnocení přínosu sušení</b>	39
<b>9. Závěr</b>	42
<b>10. Seznam použité literatury</b>	43

## 1. Seznam použitých symbolů

$A^d$	Hmotnostní podíl popelovin v sušině	[kg/kg]
$A^r$	Hmotnostní podíl popelovin v palivu	[kg/kg]
$C^{daf}$	Hmotnostní podíl uhlíku v hořlavině	[kg/kg]
$C^r$	Hmotnostní podíl uhlíku v palivu	[kg/kg]
$H^{daf}$	Hmotnostní podíl vodíku v hořlavině	[kg/kg]
$H^r$	Hmotnostní podíl vodíku v palivu	[kg/kg]
$i$	Entalpie páry na vstupu do turbíny	[kJ/kg]
$i_{NV}$	Entalpie napájecí vody	[kJ/kg]
$i'$	Entalpie páry na výstupu z turbíny	[kJ/kg]
$i_o$	Entalpie páry v odběru	[kJ/kg]
$m_b$	1 kg paliva s vlhkostí 38 %	[kg]
$m_p$	Hmotnost pevné části v 1 kg paliva	[kg]
$m_{ps}$	Hmotnost paliva s 20% vlhkostí	[kg]
$M_o$	Množství páry v odluhu 1 %	[kg/hod]
$M_p$	Množství páry, které projde kotlem za 1 hodinu	[kg/hod]
$M_{pal}$	Množství paliva	[kg/hod]
$M_{sušení}$	Množství vlhkého paliva vstupující do sušárny	[kg/hod]
$N^{daf}$	Hmotnostní podíl dusíku v hořlavině	[kg/kg]
$N^r$	Hmotnostní podíl dusíku v palivu	[kg/kg]
$O^{daf}$	Hmotnostní podíl kyslíku v hořlavině	[kg/kg]
$O^r$	Hmotnostní podíl kyslíku v palivu	[kg/kg]
$P$	Výkon generovaný turbínou	[MW]
$P_{nt}$	Výkon generován nízkotlakým dílem parní turbíny	[MW]
$P_{vt}$	Výkon generován vysokotlakým dílem parní turbíny	[MW]
$Q_i^f$	Výhřevnost paliva	[MJ/kg]
$Q_s^{daf}$	Spalné teplo hořlaviny	[MJ/kg]
$Q_s^r$	Spalné teplo paliva	[MJ/kg]
$Q_{vyr}$	Množství vyrobeného tepla v kotli s odluhem 1 %	[MW]
$S^{daf}$	Hmotnostní podíl síry v hořlavině	[kg/kg]

$S^r$	Hmotnostní podíl síry v palivu	[kg/kg]
$V_{Ar}$	Objemový podíl argonu	[Nm <sup>3</sup> /Nm <sup>3</sup> ]
$V_{CO_2}$	Objemový podíl oxidu uhličitého	[Nm <sup>3</sup> /Nm <sup>3</sup> ]
$V_{H_2O^s}$	Objem vodní páry ve spalinách	[Nm <sup>3</sup> /kg]
$V_{H_2O^v}$	Objem vodní páry ve vzduchu	[Nm <sup>3</sup> /kg]
$V_{N_2}$	Objemový podíl dusíku	[Nm <sup>3</sup> /Nm <sup>3</sup> ]
$V_{O_2 \text{ min}}$	Min. objem kyslíku, potřebný pro dokonalé spálení 1 kg paliva	[Nm <sup>3</sup> /kg]
$V_{SO_2}$	Objemový podíl oxidu siřičitého	[Nm <sup>3</sup> /Nm <sup>3</sup> ]
$V_{SS \text{ min}}$	Min. objem suchých spalin potřebných k dokonalému spálení 1 kg paliva [Nm <sup>3</sup> /kg]	
$V_{SV \text{ min}}$	Min. objem vlhkých spalin potřebných k dokonalému spálení 1 kg paliva [Nm <sup>3</sup> /kg]	
$V_{VS \text{ min}}$	Min. objem suchého vzduchu potřebného k dokonalému spálení 1 kg paliva [Nm <sup>3</sup> /kg]	
$V_{VV \text{ min}}$	Min. objem vlhkého vzduchu potřebného k dokonalému spálení 1 kg paliva [Nm <sup>3</sup> /kg]	
$W^r$	Hmotnostní podíl vody v hořlavině	[kg/kg]
$W_0$	Obsah vody v palivu na vstupu do sušárny	[kg]
$W_1$	Obsah vody v palivu na výstupu ze sušárny	[kg]
$\Delta W$	Obsah odpařené vody	[kg]
$\kappa$	Součinitel podílu vodní páry v 1 Nm <sup>3</sup> suchého vzduchu	[-]
$\eta_c$	Celková účinnost oběhu bez sušení	[-]
$\eta_{cs}$	Celková účinnost oběhu se sušením	[-]
$\eta_g$	Účinnost generátoru	[-]
$\eta_k$	Účinnost kotle	[-]
$\eta_m$	Účinnost mechanického převodu	[-]
$\eta_{td}$	Termodynamická účinnost turbíny	[-]



## 2. Úvod

V poslední době dochází k významnému nárůstu spotřeby energií, a to díky zvyšování životního standardu na celé naší planetě. Nejvyužívanějšími zdroji energií v dnešní době jsou fosilní paliva, mezi které patří hnědé a černé uhlí, zemní plyn, ropa a její produkty. Tato paliva se řadí mezi takzvané neobnovitelné zdroje energie a je snahou nahrazovat tato paliva využíváním obnovitelných zdrojů energie. Je pro to několik důvodů. Mezi ty hlavní patří možnost brzkého vyčerpání zásob fosilních paliv a také ochrana životního prostředí. Proto je snaha navyšovat využívání obnovitelných zdrojů energie, mezi které lze zařadit biomasu, skládkový plyn, větrnou, vodní či sluneční energii a v určitých oblastech i geotermální energii.

Vlhkost biomasy z pohledu energetického využití pro výrobu elektřiny či tepla patří mezi největší problémy, se kterými se při zpracování biomasy setkáváme. Vlhkost biomasy nepatřičně ovlivňuje výhřevnost dané biomasy a tím také účinnost výroby. Tyto nežádoucí účinky lze omezit sušením, a to buď pasivním (samovolné sušení), nebo aktivním (s přívodem tepla). Metody sušení jsou dále zpracovány v této práci. Porovnáním tepelných oběhů, které pracují s nevysušenou a vysušenou biomasou, se nám ukáže vliv vlhkosti nejen na spotřebu paliva, ale také na množství vyrobeného tepla v oběhu.

### 3. Biomasa [6]

#### 3.1 Definice biomasy

V dnešní době již existuje spousta definic biomasy. Pojmem biomasa můžeme označit těla a zbytky všech organismů. Tím jsou myšleny bakterie, rostliny, houby, sinice, ale také živočichové. Lze sem také zařadit veškerou organickou hmotu, která se účastní látkových přeměn na zemi. Biomasa je považována za obnovitelný zdroj energie a jako taková je brána pouze jako materiál, který vznikl činností rostlin a živočichů. Naproti biomase stojí fosilní paliva. Ta jsou sice také z biologického materiálu, ale naakumulovaná energie je řadí do neobnovitelných zdrojů energie. V legislativě můžeme najít celou řadu definic biomasy. Tyto definice se liší podle účelu, pro který je biomasa používána. Níže vypracovaný seznam vychází z české legislativy (zákon č.180/2005, vyhláška č. 502/2005 Sb., a vyhláška č. 482/2005 Sb.) a obsahuje ucelený výčet definic biomasy jako:

- a) rostlinná hmota, a to včetně zbytků rostlin, produktů z výroby a zpracování,
- b) další tuhá, kapalná i plynná paliva, která jsou výhradně vyráběna z rostlin či jejich částí. Nezahrnuje se zde rašelina a další rostliny uvedené ve vyhlášce č. 485/2005 Sb.,
- c) zemědělské meziprodukty vznikající v živočišné výrobě, čímž je myšlen chov zvířat a jejich exkrementy,
- d) biopaliva v plynné a kapalně formě, která jsou vyrobena termickým zplynováním, pyrolýzou nebo jinými procesy. Zahrnují se zde všechny meziprodukty a produkty, které lze použít jako palivo,
- e) alkoholy, které se vyrábějí z biomasy, s vyloučením dřeva,
- f) biopalivo, které lze získat z biologicky rozložitelného odpadu. Zahrnuje také kaly z čistíren odpadních vod, či z papírenského průmyslu,
- g) papír, karton či lepenku, které již nemohou být využity, a z těchto materiálů vytvořené pelety či brikety
- h) neošetřené dřevo, které je bráno jako palivové, či už bylo použito,
- i) biologicky rozložitelný komunální odpad, který prošel tříděním, a biomasa, kterou získáme vyráběním bioplynu anaerobní digescí,
- j) živočišná hmota či další živočišné produkty, které již nejsou vhodné k lidské spotřebě, pokud je tato hmota využita na výrobu bioplynu anaerobní digescí,
- k) biologicky nevytříděný rozložitelný odpad, který se přemění při skladovacích procesech na bioplyn.

### 3.2 Rozdělení biomasy:

V kapitole 3.1 jsem uvedl několik různých druhů biomasy rozdělených z pohledu legislativy. Pokud budu chtít rozdělit jednotlivé druhy do samostatných kategorií, nabízí se celá řada parametrů, podle kterých můžeme provést rozdělení.

Základní rozdělení veškeré biomasy lze určit jednoduchou klasifikací. Ta v sobě zahrnuje veškeré druhy, které můžeme dle legislativy považovat z biomasu:

- dendromasa (dřevní biomasa)
- fytomasa (biomasa rostlinného původu a zemědělská biomasa)
- biomasa živočišného původu
- biologicky rozložitelný odpad.

Rozdělit biomasu lze také podle obsahu vody:

- **suchá biomasa** – hlavní složkou je dřevo, dřevní odpady a sláma. Tuto biomasu lze spalovat přímo nebo po vysušení.
- **mokrý biomasa** – především odpady, které pocházejí z živočišné výroby. Například kejda či tekoucí komunální odpad. Využívá se v bioplynových stanicích.
- **speciální biomasa** – biomasa, která pochází z různých plodin, například škrobové a cukernaté plodiny; vyrábí se z ní líh nebo bionafta.

## **4. Biomasa jako palivo [1], [6]**

### **4.1 Základní kvalitativní parametry**

Pokud se rozhodneme pro hodnocení biomasy z pohledu energetiky, můžeme pro posouzení její kvality používat stejná měřítka jako na tradiční paliva. Mezi hlavní veličiny patří výhřevnost, obsah popelovin či vlhkost. Při posuzování kvality biomasy jako paliva je nutné také uvést další vlastnosti, které nepřímo ovlivňují kvalitu hoření biomasy. Je na ně kladen velký důraz, jelikož mohou značně ovlivňovat cenu a dopravu paliva.

### **4.2 Výhřevnost**

Jednou ze základních a zásadních vlastností paliv je výhřevnost. Definice výhřevnosti říká, že výhřevnost je množství tepla, které vznikne dokonalým spálením jednoho kilogramu paliva při ochlazení spalin na teplotu 20°C, přičemž vzniklá vodní pára nekondenzuje. V porovnání se spalným teplem hodnoty výhřevnosti nedosahují stejných hodnot jako spalné teplo. Rozdíl určuje teplo, které by bylo nutné k přeměně vody obsažené v palivu na páru. V ideálním případě se hodnota výhřevnosti může přiblížit hodnotě spalného tepla. Při pohledu na různé dřeviny lze říci, že při stejném obsahu vody mohou mít téměř stejné chemické složení hořlaviny.

### **4.3 Vlhkost**

Při práci s biomasou jako palivem je vlhkost jednou z nejdůležitějších vlastností. Různé druhy biomasy se liší v obsahu vlhkosti, která je velmi proměnlivá. U palivového dřeva se vlhkost může pohybovat kolem 30-50 %. Není neobvyklé, že by vlhkost dosáhla i 60 %, to je většinou u čerstvě káceného dřeva. Na nižší hodnotu se dostává biomasa, která je ze zemědělských zdrojů. Vlhkost biomasy je parametr, který zásadně ovlivňuje výhřevnost paliva, jak vyplývá z předchozí kapitoly. Čím vyšší vlhkost palivo má, tím menší výhřevnosti dosahuje a naopak. Palivová vlhkost také značně ovlivňuje hoření. Může zvyšovat množství vzniklých spalin a s tím spojenou komínovou ztrátu. Pokud má biomasa vlhkost 60 %, tak výhřevnost nestačí ani na vyvinutí dostatečného množství tepla, které by stačilo k udržení teploty nutné k hoření. Vlhkost může mít za následek znehodnocení paliva vlivem plísní. Při zvyšující se vlhkosti dochází k nárůstu sypané hmotnosti a tím rostou náklady na skladování a dopravu. S přihlédnutím na tyto skutečnosti je nutné vlhkost biomasy před spalováním snižovat, a to buď přirozenou cestou, anebo v sušárnách. Snižováním vlhkosti biomasy se budou zabývat pozdější kapitoly.

#### **4.4 Elementární složení hořlaviny**

Mezi základní prvky, ze kterých se skládá hořlavina, patří vodík, uhlík, dusík, síra a kyslík. Procentuální zastoupení daných prvků lze zjistit z elementárního složení hořlaviny.

V biomase je obsaženo 75-85 % prchavé hořlaviny, která se uvolní při pyrolýze, a tím pádem neshoří na roštu, ale až ve vznosu před komínem. Tento jev způsobuje hoření dlouhým plamenem, které je charakteristické pro biomasu. Biomasa se musí spalovat v zařízeních, které jsou na to speciálně určeny. Pokud by se biomasa spalovala v zařízeních, která pro ni nejsou určeny, mohlo by dojít ke snížení účinnosti a zvýšení emisí. V porovnání s fosilními palivy je v biomase velmi malý obsah síry. Tím pádem při spalování nevznikají téměř žádné emise SO<sub>2</sub> (oxid siřičitý).

#### **4.5 Obsah popela**

Palivo je tvořeno třemi základními složkami. Jsou jimi hořlavina, voda a nespalitelná složka, tj. popel. Popel společně s vodou jsou posuzovány jako nevhodné složky v palivu, které mohou mít nepříznivý vliv na proces hoření. Při porovnání množství obsahu popela v biomase a ve fosilních palivech se dozvíme, že v biomase je popela méně. U dřeva bez kůry se množství popela pohybuje okolo 1 %, pokud má dřevo kůru, tak je množství popela do 3 %. Popel se nejen v biomase, ale také ve dřevě, vyskytuje díky přirozeným minerálům v organické hmotě. Zvýšený obsah popela v kůře způsobuje zanášení různých látek, které se nacházejí v půdě či vzduchu během růstu. Obsah popela může být ovlivněn při zpracování dřeva v lese a také při přepravě.

## **5. Metody sušení biomasy**

Následující část textu je vypracována na základě poznatků ze zdroje [5]. Výrobu pevných biopaliv lze nazvat po organizační a ekonomické stránce jako velmi náročnou záležitost. Celkové náklady spojené se sklizní, zpracováním či skladováním lze částečně snížit výběrem vhodného technologického postupu pro každou operaci. Celková bilance výroby biomasy je výrazně ovlivněna sušením. Sušením lze u biomasy docílit kvalitní skladovatelnosti, a to jak krátkodobé, tak i dlouhodobé. Sušení materiálu lze zahrnout do různých oblastí technologického procesu. V dnešní době se používají většinou dva základní postupy sušení dřeva.

Prvním způsobem je zpracovávání čerstvé suroviny, která se po vysušení používá na výrobu pelet či briket. Mezi nevýhody tohoto způsobu lze zařadit výraznou energetickou náročnost sušení a dlouhou dobu rozložitelnosti materiálu v případě pomalého vysoušení. Druhým způsobem se biomasa nechává vysoušet samovolně a veškeré technologické procesy následují až po vysušení. Obrovskou nevýhodou této metody je velká časová náročnost a s tím i spojená veškerá logistika, jelikož některé suroviny je potřeba před využitím ještě nechat dosušit. Je nutné posoudit, zda ekonomická a energetická náročnost odpovídá požadavkům ostatních operací, které na sušení navazují.

### **5.1 Proč sušit biomasu [7], [9]**

Nejen před samotným spalováním, ale už před skladováním je nutné zbavit biomasu veškeré možné vlhkosti, kterou obsahuje. Vysoká vlhkost v biomase má za následek snížení účinnosti, což je bráno jako velká nevýhoda. Téměř srovnatelně ovlivňuje vlhkost i zplyňování, při kterém jsou značné nároky na vlhkost paliva (do 10-15 %). Vlhkost způsobuje při spalování snížení spalovací teploty, a to až na hodnotu, která vede k nedokonalému spalování spojenému se zvyšováním emisí. Ke kondenzaci těchto emisí dochází v dlouhých kouřovodech. V kouřovodech může také docházet ke kondenzaci vody, a to ve spojení s kondenzací emisí může způsobovat korozi, což může vést k ucpání, a dokonce i k požáru. V dnešní době zvládá většina zařízení spalovat biomasu s vlhkostí v určitém rozmezí tak, aby byl dodáván požadovaný výkon a účinnost daného zařízení. Pokud by se do zařízení dostalo palivo, které nemá vlhkost v požadovaném rozmezí, dokáže se zařízení samo vypnout.

## **5.2 Metody sušení po sklizení [10]**

Biomasu můžeme začít sušit až poté, co je sklizena. Pokud pěstujeme dané plodiny pro energetické účely, pak lze snižovat vlhkost ještě před samotnou sklizní. Sušení biomasy po sklizni může být jak pasivní, tak i aktivní. Lze sušit také tím, že promícháme materiál s vyšší vlhkostí s materiálem s výrazně nižší vlhkostí.

**5.2.1 Pasivní sušení** – tato metoda je nejlevnější, jelikož klade nejmenší nároky na vkládanou energii a vybavení. Nevýhodou je doba trvání sušení. Při sušení touto metodou můžeme dosáhnout vlhkosti v rozmezí 25-30 %. Pokud je požadována nižší vlhkost, je nutné materiál vysušit pomocí aktivního způsobu sušení. Většina zařízení ale dokáže zpracovat takto vysušenou biomasu, ale například pro zplyňování či výrobu pelet není vhodná.

**5.2.2 Sušení dřeva** – sušené dřevo a větve by měly být uloženy na nosičích (většinou velikosti dvou délek sušených dřev), které musí zajistit to, že se sušený materiál nedostane do styku s podkladem. Sušené dřevo by mělo být umístěno na místě, které je vystaveno slunečnímu záření, a uřezané konce by měly být vystaveny proudění větru. Dřevo by mělo být stále nebo přechodně chráněno proti dešti, a to buď polopropustnou nebo voděodolnou příkryvkou. Nejdůležitějším faktorem je však dobré proudění vzduchu.

Částečné či úplně odstranění kůry napomáhá k rychlejšímu usušení. Doba sušení dřeva je značně závislá nejen na materiálu (tvar a velikost kusů, hustota dřeva a přítomnost kůry), ale také na skladovacích podmínkách (způsob skladování a stohování, proudění vzduchu, teplota, vlhkost).

**5.2.3 Aktivní sušení** – tato metoda je závislá na vstupu energie z vnějšího zdroje, aby se tím urychlil proces sušení a došlo ke snížení hodnoty celkové vlhkosti. Dodávání energie z jiného zdroje s sebou nese následky spojené s navyšováním nákladů a energií. Největší účinnosti sušení touto metodou dosáhneme při zachování ideálního poměru mezi plochou povrchu sušeného materiálu vůči jeho objemu. Toho docílíme tím, že necháme materiál sušit na co největší ploše. Pro zlepšení a zrychlení sušení lze používat ventilátory s ohřevem vzduchu. Při různém otáčení a rozprostírání materiálu napomáháme k urychlení sušení. Vzduch lze také ohřívat pomocí nevyužitého tepla z různých procesů nebo teplem, které je přivedeno z přímé vytápěcí jednotky. Pokud jsme schopni zajistit vhodné zařízení, můžeme hojně využívat solární energii.

**5.2.4 Mísení** – tato metoda spočívá ve smíchávání velmi suchého materiálu, kterým může být uměle sušené dřevo s materiálem o vyšší vlhkosti. Celková vlhkost směsi se bude snižovat. Tato metoda se nepovažuje za metodu sušení, ale pro určité spalovací procesy ji lze využít k přípravě paliva o dané vlhkosti.

## **5.3 METODY AKTIVNÍHO SUŠENÍ**

Jak je výše uvedeno, je nutné při aktivním sušení dodávat energii do sušení z vnějšího zdroje. Zásadní záležitostí je poměr dodávané energie ku energii, kterou má vysušené palivo. Nyní si můžeme představit několik technologií aktivního sušení biomasy.

### **5.3.1 Metoda kompresního sušení [4]**

Tato mechanická metoda se začala používat od konce osmdesátých let minulého století ve Spojených státech amerických, kde získala i patent. Je zde představena pouze jako příklad, jelikož zbylé metody k vysoušení využívají ohřátý vzduch. Každá kompresní sušárna obsahuje tlakovou komoru, ve které je uložena pohyblivá základna a píst či beran, který stlačuje biomasu dostatečnou silou. Ta zajistí narušení pletiva, ve kterém se nachází nejvíce vlhkosti. Speciální tvar čela beranu má zajistit odvod vody ze středu komory ke stěnám, ve kterých se nacházejí speciální drážky. Tyto drážky zajišťují odtékání vody do sběrné nádrže a zabráňují tak zpětnému vtahování vlhkosti do materiálu při uvolnění tlaku.

### **5.3.2 Metoda pásového sušení [14], [15]**

Pro sušení nejen dřevní štěpky, ale také dřevěných pilin či obilí, lze využívat pásové, šnekové či rourové sušárny. U každé z těchto metod se používá ke snížení vlhkosti v biomase vzduch, který je ohřátý na požadovanou teplotu. Odlišnosti jednotlivých metod jsou pouze způsoby manipulace s daným materiálem a také teplota a tlak vysoušecího vzduchu. V případě pásových sušáren je základním zařízením pásový dopravník, na kterém je přidělán sušící pás. Při provozu zařízení se na sušící pás nanáší vrstva biomasy o tloušťce 10 až 15 cm. Před sušením je nutné zbavit vysoušený materiál větších kusů dřeva a dalších nadbytečných částí, kterými mohou být například různé plechy či hřebíky. Tímto vytříděním lze zamezit vzniku mechanických poškození pásu. Sušení probíhá díky pomalému pohybu sušícího pásu na dopravníku, který je poháněn elektromotorem.

Pod pojmem sušící pás si můžeme představit síto, které má spirálový tvar a je vyrobeno z prodyšného plastu. Pás se pohybuje pomocí dopravníku na podpěrných válečkách a ve vodících lištách, které jsou umístěny na okraji pásu. Ventilátory, které jsou umístěny pod



pásem, mají za úkol vytvářet podtlak 1000 Pa. Vnější vzduch, který je nasáván, se díky radiátorům otopné soustavy ohřívá na teplotu mezi 50 a 70 °C. Každý materiál pro vysušení využívá jinou teplotu. Po ohřátí prochází vzduch sušeným materiálem a jeho zahřívání způsobuje vypařování vody obsažené v palivu.

Za výhodu metody pásového sušení lze považovat nízkou teplotu a značný objem proudícího vzduchu. Jelikož zde vzduch nedosahuje vysokých teplot, nedochází k přesušení, spálení či jinému znehodnocení sušeného materiálu. Za topné médium se u této metody dá považovat horká voda či pára jdoucí přes výměník. Pro výrobu tepla lze také využít ohřívání pomocí plynových hořáků či hořáků na LTO (lehký topný olej).



Obr.1: Pásová sušárna (převzato z [18])

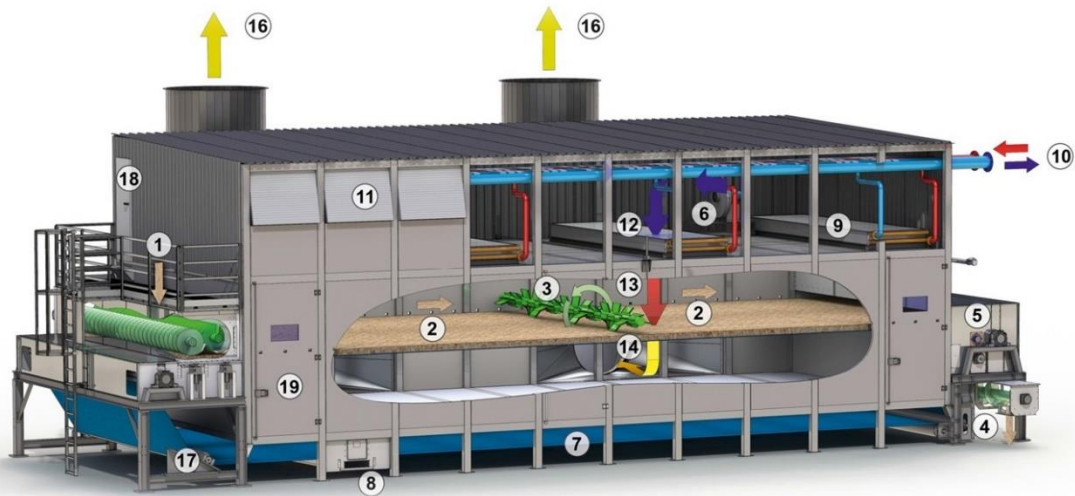
### 5.3.3 Metoda šnekového sušení [3], [13]

Metoda šnekového sušení se používá k vysoušení nejen sypkých materiálů, mezi které můžeme zařadit dřevní piliny, štěpku či uhelný prach, ale také k sušení kašovitých materiálů, jako jsou například různé kaly. Materiál může do šnekové sušičky vstupovat s vlhkostí na úrovni maximálně 50 %. Vlhkost na výstupu ze sušičky se liší podle materiálu. Dřevní biomasa může být vysušena na 20 % a například sláma až na 8 %.

Základním zařízením této metody je sušící komora, která je vyráběna ve speciálním tvaru, který je podobný písmenu „U“. Ve stěnách žlabu, které jsou umístěny na bocích, se nacházejí vzduchové difuzory. Ty jsou napojeny na rozvod vzduchu, jenž slouží k vysoušení materiálu. Sušení materiálu se docílí vháněním horkého vzduchu o teplotě v rozmezí 100 až 150 °C k materiálu. V této metodě je využíván k přepravě paliva dopravníkový šnek, kterým lze docílit nejen dopravy materiálu, ale také jeho načechrání. Nejčastější provedení v praxi je takové, že jsou v zařízení tři žlaby se šneky nad sebou. Prvním se dopravuje materiál, který na konci volně padá do vany šneku druhého. Poslední šnek má za úkol dopravit již vysušený materiál do zásobníku.

Tento technologický postup je speciální v několika směrech. Je zde použit šnekový dopravník s lopatkami a zároveň se zde používají sušící komory, ve kterých proudí ohřátý vzduch. Topné zařízení je koncipováno dvěma okruhy, na sobě nezávislými. Teplota kapaliny v okruzích nesmí přesáhnout 200 °C. Vzduch a kapalina jsou ohřívány ve společném topném zařízení, kterým většinou bývá kotel na tuhá paliva či na elektřinu nebo plyn. V zařízení se nachází rekuperační výměník tepla, který má za úkol snižovat tepelné ztráty v systému, a s tím spojenou i energetickou náročnost. Rychlost šnekového dopravníku je zde řízena pomocí frekvenčních měničů a dosahuje hodnot 8-12 ot./min. Regulace rychlosti může ovlivňovat závislost vstupní vlhkosti na výstupní.

## STELA BT/BTL



- |                                     |                             |                              |
|-------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 1 příjmová sekce                    | 7 plastový pás              | 13 ohřátý vzduch             |
| 2 vrstva sušeného produktu          | 8 mokré čištění pásu        | 14 odpadní vzduch            |
| 3 rotorový obraceč                  | 9 horkovodní výměník tepla  | 16 výstup odpadního vzduchu  |
| 4 vyskladňovací šnek                | 10 dodávka tepla            | 17 sekce zarovnání pásu      |
| 5 suché čištění pásu                | 11 přívod čerstvého vzduchu | 18 přístup do krycí kapotáže |
| 6 ventilátor pro suché čištění pásu | 12 čerstvý vzduch           | 19 inspekční dveře           |

Obr.2: Schéma šnekové sušárny STELA BT/BTL (převzato z [19])

### 5.3.4 Metoda rourového sušení [8]

Metoda rourového sušení se používá především pro vysušení dřevní drtě, pilin, slámy či kukuřice. Maximální velikost částic, které mohou být sušeny rourovou metodou, je 5 mm. Při této metodě by neměla být vstupní vlhkost výrazně vzdálena od hranice 15 %. K sušení se využívá horký vzduch, který se ohřívá v kotlích. Kotle jsou koncipovány na spalování tuhých paliv. Materiál je nasáván vstupním transportním ventilátorem, ze kterého proudí teplý vzduch. Ten nese materiál a postupně snižuje jeho vlhkost. Při výstupu ze sušárny už je materiál vysušen na požadovanou hodnotu.



Obr.3: Rourová sušárna (převzato z [20])

### 5.3.5 Metoda bubnového sušení [12], [16]

Tato metoda sušení používá, stejně jako metody předešlé, k vysoušení materiálu proudění teplého vzduchu. Největším rozdílem, oproti ostatním metodám, je teplota sušícího vzduchu. V bubnové sušárně se používají k ohřevu vzduchu spaliny vycházející z kotle, které dosahují teplot v rozmezí 300-500 °C. Mokrý materiál musí nejdříve projít přes různá síta, která se nacházejí nad zásobníkem nevysušeného materiálu. Nejhrubší kusy se využívají pro ohřev vzduchu při spalování v kotli. Ostatní drobnější kusy jsou nesený pomocí šnekového dopravníku do bubnu samotné sušárny. Celý proces je regulován řídicím systémem, který musí udržet vystupující páry ze sušárny na konstantní teplotě. V mnoha zařízeních je buben sušárny uložen mezi kladkami, které jsou schopné zajistit sklon bubnu sušárny. Tento sklon má pozitivní vliv na přesypání materiálu uvnitř bubnu a tím také na zvýšení účinku sušení. Teplý vzduch rozvádějí ventilátory. Jelikož u této metody není přímé řízení vlhkosti, neprovádí se měření vlhkosti na výstupu ze sušárny. Regulace vlhkosti probíhá optimálním dávkováním materiálu do sušárny tak, aby teplota páry odcházející ze sušárny byla stále konstantní. Odvod vysušeného materiálu zajišťuje další šnekový dopravník.





Obr.4: Buben sušárny BUS (převzato z [21])

## 6. Elektrárny a teplárny využívající biomasu

Při návrhu elektrárny, která spaluje biomasu, jsem se inspiroval u zařízení fungujících v Plzni a v Kutné Hoře. Tyto dva výrobní závody si teď představíme.

### 6.1 Plzeňská teplárenská [17]

V Plzni se nachází jeden výrobní blok, který vyrábí teplo a elektřinu pouze z biomasy. Tento blok je v provozu od roku 2010. V bloku se nachází kotel, který nese označení K7, a také parní turbína s označením TG3. Kotel je schopen během roku spálit až 115 000 tun biomasy. Tím lze ušetřit až 80 000 tun uhlí. Celý plzeňský závod spálí ročně přibližně 285 000 tun biomasy, které odpovídají skoro 40 % vyprodukované elektřiny z obnovitelných zdrojů. Hlavním palivem pro plzeňský zelený blok je dřevní štěpka. Jako pomocné palivo se zde využívají pelety tvořené ze sena či obilné slámy.

Parametry, ve kterých zařízení pracuje, jsou následující:

### Kotel K7

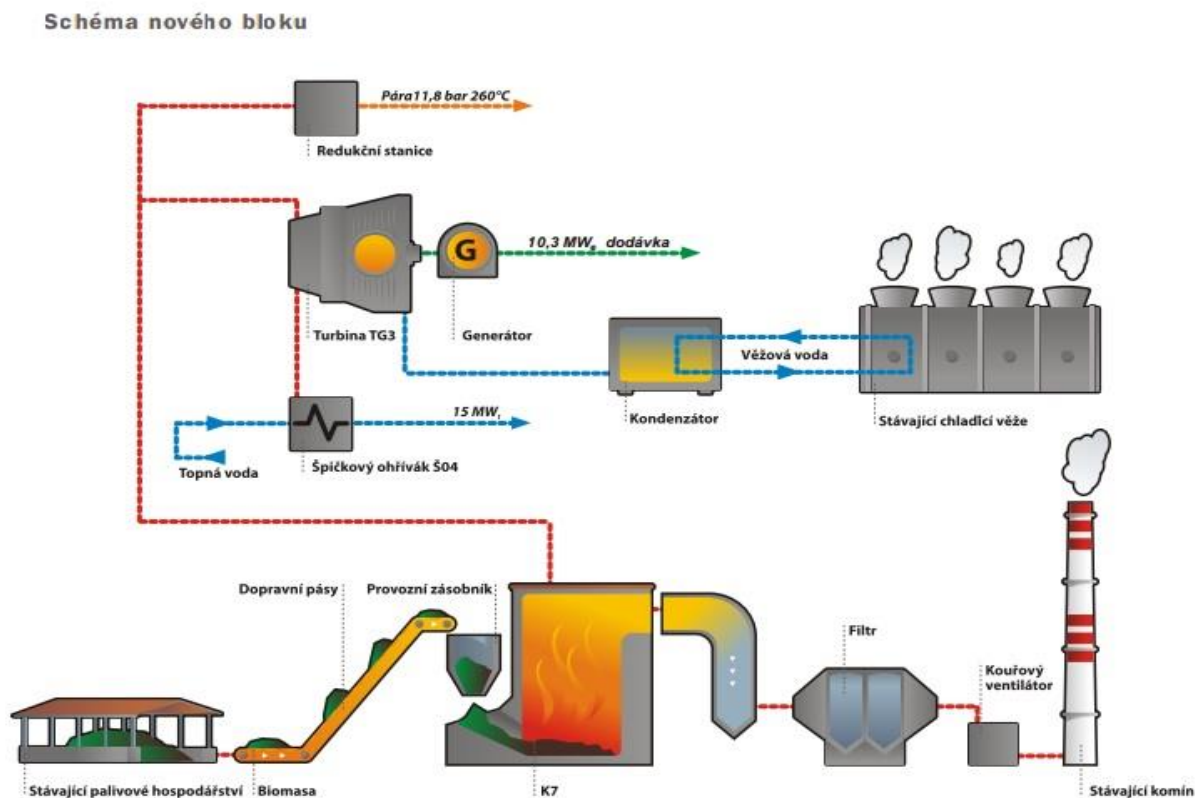
Jmenovitý parní výkon	50 t/h
Jmenovitý tlak páry před TG3	6,7 MPa
Jmenovitá teplota páry před TG3	485 °C

### Turbosoustrojí TG3

Jmenovitý výkon generátoru	13 500 kW
Elektrický výkon dodávaný do distribuční sítě	12,5 MWe

### Špičkový ohřívák topné vody

Maximální tepelný výkon	15 MWt.
-------------------------	---------



Obr.5: Schéma zeleného bloku Plzeňská teplárenská (převzato z [22])

## 6.2 Kutná Hora

V Kutné Hoře je od roku 2011 v provozu energetický systém, který využívá spalování biomasy při kombinované výrobě elektřiny a tepla. Spalování probíhá v parním kotli, který má jmenovitý výkon 23 MW tepla. Parní turbína umístěná systému má maximální výkon 7.45 MW elektřiny. Jako záloha byl v Kutné Hoře instalován kotel s výkonem 10 MW tepla, který byl v roce 2015 nahrazen dvěma kotli o výkonech 6,5 MW a 2,5 MW tepla. Záložní kotle slouží k vykrývání zimních maxim a díky optimalizaci pomáhají řešit i letní minima. V tomto podniku je spalovaným palivem výhradně biomasa, která pochází ze zemědělské výroby. Pod tímto pojmem si lze představit odpadní slámu z obilovin či cíleně pěstované energetické plodiny bylinného charakteru.

Zařízení pracuje s těmito parametry:

### Kotel

Jmenovitý výkon                      30 tp/h/ (23 MWt)

### Turbína

Maximální výkon                      7,45 MWe

### Záložní kotel

Jmenovitý výkon                      10 MWt.

## 7. Návrh tepelných oběhů

Pro navrhované tepelné oběhy budeme jako palivo používat dřevní štěpku, která má následující parametry:

$$W^r = 0,380$$

$$A^d = 0,0211$$

$$C^{daf} = 0,4967$$

$$H^{daf} = 0,0598$$

$$N^{daf} = 0,0050$$

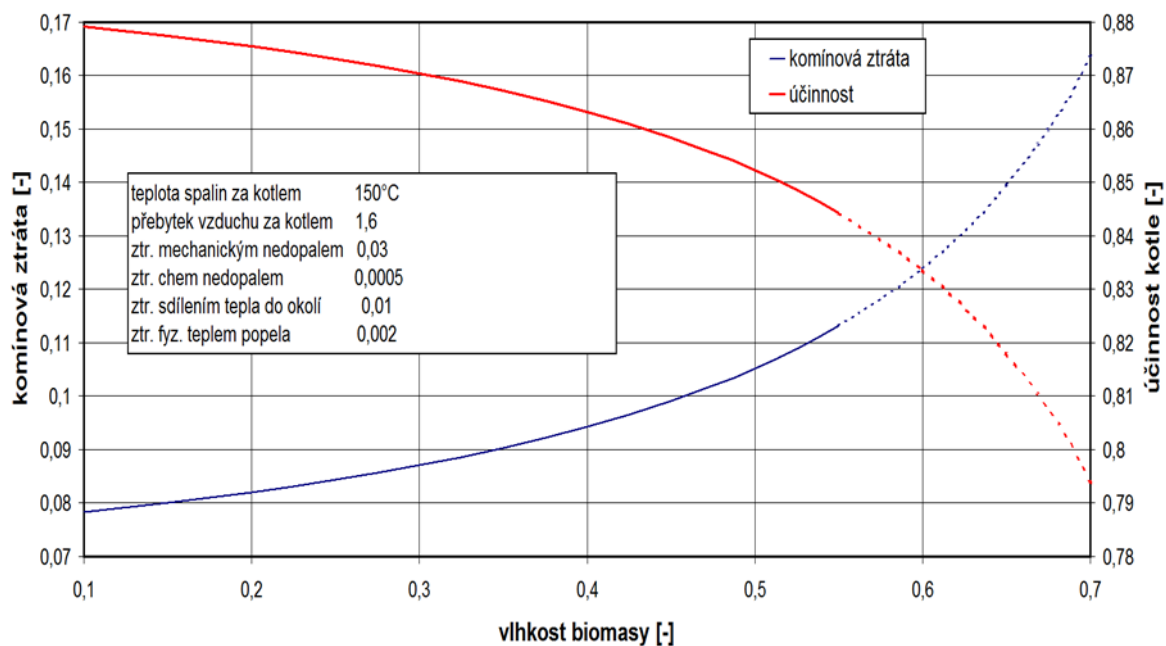
$$S^{daf} = 0,0005$$

$$O^{daf} = 0,4380$$

$$Q_s^{daf} = 19580 \text{ kJ/kg} = 19,580 \text{ MJ/kg}$$

Při energetickém využívání biomasy se využívají parní kotle. Je nutné dávat dobrý pozor na obsah vody v palivu, jelikož ta může negativně ovlivňovat proces spalování. K řešení tohoto problému se používá sušení, které bylo popsáno v předchozích kapitolách. Nyní můžeme přistoupit k návrhu a následnému porovnání oběhů bez a se sušením paliva. Při návrhu parametrů jsem využil znalosti parametrů z plzeňského energetického bloku a také z parametrů energetického závodu v Kutné Hoře. S vedoucím mé práce jsem se nakonec dohodl na následujících parametrech.

Kotel bude pracovat s průtokem páry 30 t/h. Napájecí voda kotle bude mít teplotu 105 °C a tlak 2,6 MPa. Pomocí těchto parametrů odečtu entalpii napájecí vody, která je 442 kJ/kg. Kotel bude generovat páru pro turbínu s teplotou 430 °C při stejném tlaku 2,6 MPa. Entalpie této páry je 3305,4 kJ/kg. Zařízení bude pracovat s ohluhem 1 %. Teoretická účinnost kotle je volena podle grafu, který poskytl vedoucí práce. Její hodnota je 86 %.



Obr. 6 Graf závislosti účinnosti kotle na vlhkosti paliva

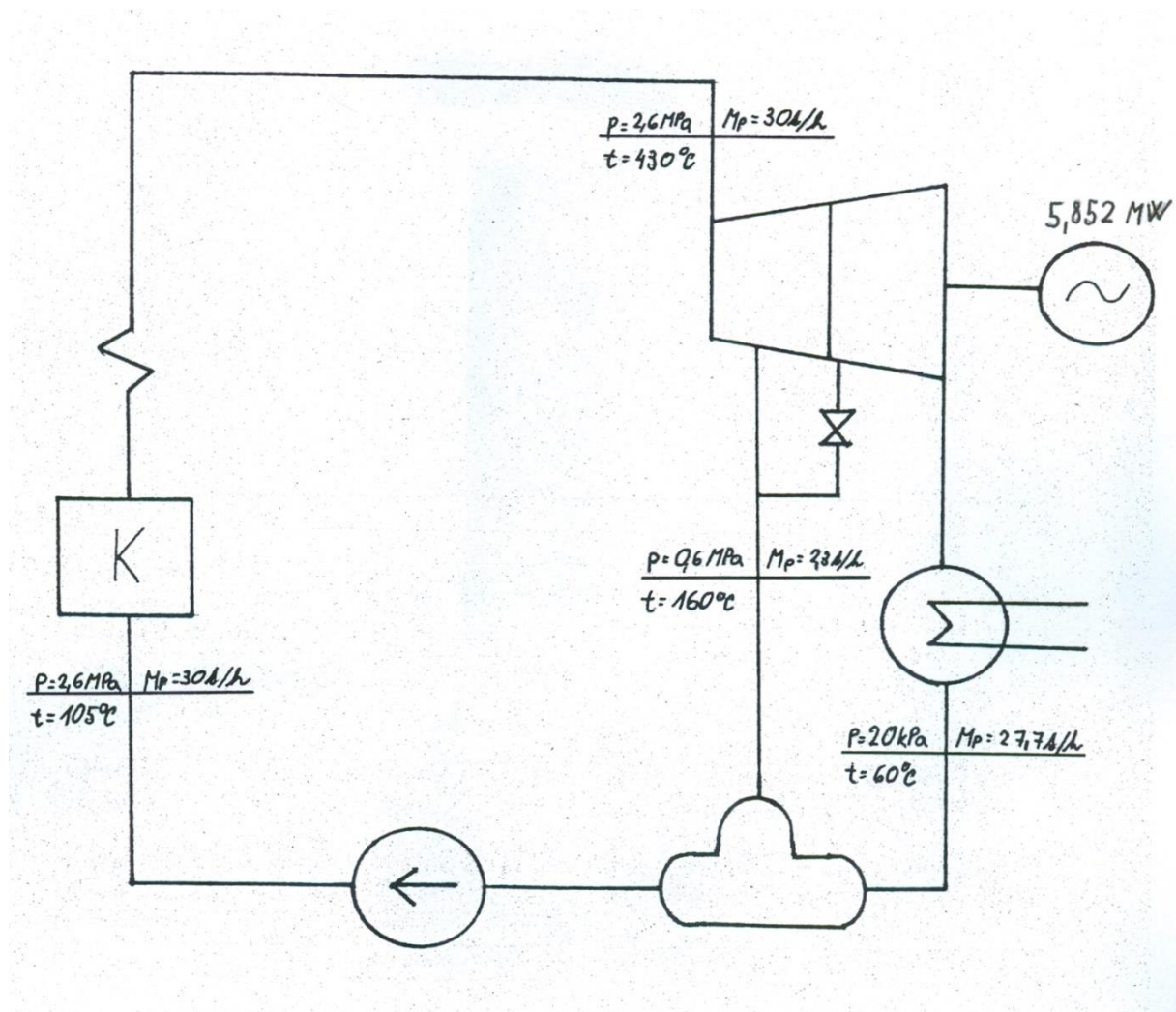
Průtok páry je navržen stejně pro kotel i pro turbínu, a to 30 t/h. Pára na výstupu z turbíny bude mít teplotu 60 °C a tlak 20 kPa. Entalpie určená z těchto parametrů je 2360 kJ/kg. V odběru, který bude sloužit pro dodání tepla potřebného na vysušení paliva v druhé metodě, bude mít pára teplotu 160 °C a tlak 0,6 MPa. Entalpie páry při těchto parametrech je 2920 kJ/kg. Termodynamickou účinnost si volím a bude mít hodnotu 82 %. Nyní budou následovat výpočty elektrárny spalující biomasu bez vysoušení paliva a poté s vysoušením paliva.



### Navrhované technické parametry zařízení:

<u>Kotel</u> : Průtok páry	30 t/h = 30 000 kg/h
Teplota napájecí vody	105 °C
Jmenovitý tlak páry	2,6 MPa = 26 bar
Teplota páry na výstupu	430 °C
Odluh	1%
Účinnost kotle	86 % = 0,86
<u>Turbína</u> : Teplota páry na vstupu	430 °C
Maximální tlak páry	2,6 MPa = 26 bar
Průtok páry	30 t/h
Odběrová pára: tlak	0,6 MPa
teplota	160 °C
Výstupní pára: tlak	20 kPa
teplota	60 °C
Termodynamická činnost turbíny	82 % = 0,82

## 7.1 Návrh elektrárny bez sušení



Obr.7 Schéma zařízení bez dosoušení

### Výpočet zařízení bez sušení

Ze zadaných parametrů paliva nejprve spočítáme složení paliva v surovém stavu a jeho výhřevnost s danou vlhkostí.

#### Složení paliva v surovém stavu

$$A^r = A^d * (1 - W^r) = 0,0211 * (1 - 0,380) = 0,01308$$

kde:  $A^r$  [kg/kg] – hmotnostní podíl popelovin v palivu

$A^d$  [kg/kg] – hmotnostní podíl popelovin v sušině

$W^r$  [kg/kg] – hmotnostní podíl vody v palivu

$$C^r = C^{daf} * (1 - A^r - W^r) = 0,4697 * (1 - 0,01308 - 0,380) = 0,285$$

kde:  $C^r$  [kg/kg] – hmotnostní podíl uhlíku v palivu  
 $C^{daf}$  [kg/kg] – hmotnostní podíl uhlíku v hořlavíně

$$H^r = H^{daf} * (1 - A^r - W^r) = 0,0598 * (1 - 0,01308 - 0,380) = 0,0362$$

kde:  $H^r$  [kg/kg] – hmotnostní podíl vodíku v palivu  
 $H^{daf}$  [kg/kg] – hmotnostní podíl vodíku v hořlavíně

$$N^r = N^{daf} * (1 - A^r - W^r) = 0,0050 * (1 - 0,01308 - 0,380) = 0,003034$$

kde:  $N^r$  [kg/kg] – hmotnostní podíl dusíku v palivu  
 $N^{daf}$  [kg/kg] – hmotnostní podíl dusíku v hořlavíně

$$S^r = S^{daf} * (1 - A^r - W^r) = 0,00050 * (1 - 0,01308 - 0,380) = 0,0003034$$

kde:  $S^r$  [kg/kg] – hmotnostní podíl síry v palivu  
 $S^{daf}$  [kg/kg] – hmotnostní podíl síry v hořlavíně

$$O^r = O^{daf} * (1 - A^r - W^r) = 0,438 * (1 - 0,01308 - 0,380) = 0,256$$

kde:  $O^r$  [kg/kg] – hmotnostní podíl kyslíku v palivu  
 $O^{daf}$  [kg/kg] – hmotnostní podíl kyslíku v hořlavíně

$$Q_s^r = Q_s^{daf} * (1 - A^r - W^r) = 19,580 * (1 - 0,01308 - 0,380) = 11,883 \text{ MJ/kg}$$

kde:  $Q_s^r$  [MJ/kg] – spalné teplo v palivu  
 $Q_s^{daf}$  [MJ/kg] – spalné teplo v hořlavíně

### Výhřevnost paliva:

$$Q_{i38\%}^r = Q_s^r - 2453 * (W^r + 8,91 * H^r) = 11,883 - 2453 * (0,380 + 8,91 * 0,0362) \\ = 10,158 \text{ MJ/kg}$$

kde:  $Q_i^f$  [MJ/kg] – výhřevnost paliva

	r	d	daf
C (uhlík)	0,285		0,4697
H (vodík)	0,0362		0,0598
N (dusík)	0,003034		0,005
S (síra)	0,0003034		0,0005
O (kyslík)	0,265		0,438
A	0,01308	0,0211	
W	0,380		
$Q_s$	11,883		19,580
$Q_i$	10,158		

Tab.1 Složení paliva s obsahem vody 38 %

Po výpočtu složení paliva v surovém stavu přistoupíme k výpočtení stechiometrie paliva, což znamená vypočítat objemy vzduchu, spalin a vodní páry obsažených v palivu.

### Stechiometrie

#### **Objemy vzduchu**

#### Minimální spotřeba kyslíku při spálení 1 kg paliva:

toto teoretické množství kyslíku na spálení určím součtem jednotlivých složek paliva.

$$V_{O_2 \min} = 22,39 * \left( \frac{C^r}{18,01} + \frac{H^r}{4,032} + \frac{S^r}{32,06} - \frac{O^r}{32} \right) \\ = 22,39 * \left( \frac{0,285}{18,01} + \frac{0,0362}{4,032} + \frac{0,0003034}{32,06} - \frac{0,265}{32} \right) = 0,37 \text{ m}_n^3/\text{kg}$$

kde:  $V_{O_2 \min}$  [Nm<sup>3</sup>/kg] – minimální objem kyslíku potřebný na dokonalé spálení 1 kg paliva

#### Minimální spotřeba suchého vzduchu při spálení 1 kg paliva:

minimální podíl suchého vzduchu se počítá z objemu kyslíku a zastoupení kyslíku v atmosféře.

$$V_{VS \min} = \frac{V_{O_2 \min}}{0,21} = \frac{0,37}{0,21} = 1,762 \text{ m}_n^3/\text{kg}$$

kde:  $V_{vs \min}$  [ $\text{Nm}^3/\text{kg}$ ] – minimální spotřeba suchého vzduchu při spálení 1 kg paliva

Minimální spotřeba vlhkého vzduchu při spálení 1 kg paliva:

minimum vlhkého vzduchu se počítá z objemu suchého vzduchu a součinitele  $\kappa$ , který určuje poměrné zvětšení suchého vzduchu s uvažovanou vodní parou. Volí se v rozmezí 1,01 až 1,05. Pro výpočet volím  $\kappa=1,016$

$$V_{VV \min} = \kappa * V_{VS \min} = 1,016 * 1,762 = 1,7902 \text{ m}_n^3/\text{kg}$$

$$\kappa = 1,016$$

kde:  $V_{VV \min}$  [ $\text{Nm}^3/\text{kg}$ ] – minimální spotřeba vlhkého vzduchu při spálení 1 kg paliva

$\kappa$  – součinitel podílu vodní páry v 1  $\text{Nm}^3$  paliva

Minimální objem vodní páry ve vzduchu:

tento objem se počítá jako rozdíl vlhkého a suchého vzduchu.

$$V_{H_2O}^v = V_{VV \min} - V_{VS \min} = 1,7902 - 1,762 = 0,0282 \text{ m}_n^3/\text{kg}$$

kde:  $V_{H_2O}^v$  [ $\text{Nm}^3/\text{kg}$ ] - minimální objem vodní páry ve vzduchu

## **Minimální objemy spalin**

Minimální množství suchých spalin:

$\text{CO}_2$  (oxid uhličitý) vznikající spálením uhlíku v hořlavině, společně s obsahem suchého vzduchu.

$$V_{CO_2} = \frac{22,26}{12,01} * C^r + 0,0003 * V_{VS \min} = \frac{22,26}{12,01} * 0,285 + 0,0003 * 1,762 = 0,528 \text{ m}_n^3/\text{kg}$$

kde:  $V_{CO_2}$  [ $\text{Nm}^3/\text{Nm}^3$ ] – objem oxidu uhličitého ve spalinách

$\text{N}_2$  (dusík), který vzniká z hořlaviny a spalovaného vzduchu.

$$V_{N_2} = \frac{22,4}{28,016} * N^r + 0,7805 * V_{VS\ min} = \frac{22,4}{28,106} * 0,003034 + 0,7805 * 1,762$$

$$= 1,378\ m_n^3/kg$$

kde:  $V_{N_2}$  [ $Nm^3/Nm^3$ ] – objem dusíku ve spalínách

**SO<sub>2</sub>** vzniklý ze síry obsažené ve spalované hořlavíně.

$$V_{SO_2} = \frac{21,89}{32,06} * S^r = \frac{21,89}{32,06} * 0,0003034 = 0,0002071\ m_n^3/kg$$

kde:  $V_{SO_2}$  [ $Nm^3/Nm^3$ ] – objem oxidu siřičitého ve spalínách

**Ar** (argon) ze spalovacího vzduchu.

$$V_{Ar} = 0,0092 * V_{VS\ min} = 0,0092 * 1,762 = 0,0162\ m_n^3/kg$$

kde:  $V_{Ar}$  [ $Nm^3/Nm^3$ ] – objem argonu ve spalínách

Celkové minimální množství suchých spalín:

součet všech suchých spalín.

$$V_{SS\ min} = V_{CO_2} + V_{N_2} + V_{SO_2} + V_{Ar} = 0,528 + 1,378 + 0,000271 + 0,0162$$

$$= 1,923\ m_n^3/kg$$

kde:  $V_{SS\ min}$  [ $Nm^3/kg$ ] – minimální objem suchých spalín

Minimální množství vodní páry ve spalínách:

voda ve formě páry, která vzniká z vodíku ve hořlavíně a vlhkosti obsažené v palivu a spalovaném vzduchu.

$$V_{H_2O}^s = \frac{44,8}{4,032} * H^r + \frac{22,4}{18,016} * W^r + V_{H_2O}^v = \frac{44,8}{4,032} * 0,0362 + \frac{22,4}{18,016} * 0,380 + 0,0282$$

$$= 0,9039\ m_n^3/kg$$

kde:  $V_{H_2O}^s$  [ $Nm^3/kg$ ] – objem vodní páry ve spalínách

### Minimální množství vlhkých spalin:

součet množství vodní páry ve spalinách a suchých spalin.

$$V_{SV \min} = V_{SS \min} + V_{H_2O} = 1,923 + 0,9039 = 2,827 \text{ m}_n^3/\text{kg}$$

kde:  $V_{SV \min}$  [ $\text{Nm}^3/\text{kg}$ ] – minimální objem vlhkých spalin

Ze zadaných parametrů průtoku, teplot a tlaků a z nich určených entalpií jsme schopni určit hmotnostní bilanci. Ta určuje celkové vyrobené teplo a množství paliva, které se spotřebuje.

### Hmotnostní bilance

#### **Výpočet spotřeby paliva**

#### Celkové vyrobené teplo:

množství vyrobeného tepla při daném průtoku a parametrech páry s odluhem 1 %.

$$\begin{aligned} Q_{vyr} &= M_p * (i - i_{NV}) + M_o * (i' - i_{NV}) \\ &= 30000 * \frac{(3305,4 - 442)}{1000} + 0,01 * 30000 * \frac{(2360 - 442)}{1000} = 86477,4 \frac{\text{MJ}}{\text{h}} \\ &= 24,02 \text{ MW} \end{aligned}$$

kde:  $Q_{vyr}$  [MW] – množství vyrobeného tepla s odluhem 1%

$M_p$  [kg/hod] – množství páry, která projde kotlem za 1 hodinu

$M_o$  [kg/hod] – množství páry v odluhu 1%

$i$  [kJ/kg] – entalpie páry na vstupu do turbíny

$i_{NV}$  [kJ/kg] – entalpie napájecí vody

$i'$  [kJ/kg] – entalpie páry na výstupu z turbíny

#### Potřebné množství paliva:

množství paliva, které se spotřebuje pro generování daného elektrického příkonu turbínou.

$$M_{pal} = \frac{Q_{vyr}}{Q_i^r} * \frac{1}{\eta_K} = \frac{86477,4}{10,158} * \frac{1}{0,86} = 9899 \text{ kg/h} = 9,899 \text{ t/h}$$

kde:  $M_{pal}$  [kg/hod] – množství paliva, které se spotřebuje za 1 hodinu

$\eta_K$  [-] – účinnost kotle

Při teplotní bilanci zjistíme, při jaké účinnosti pracuje cyklus a kolik tepla se využívá na výrobu elektřiny, nebo kolik páry spotřebovává každá část cyklu.

### **Bilance příkonů**

Z jichž známých parametrů můžeme spočítat příkony jednotlivých částí parní turbíny a určit také celkový příkon, který bude generován.

#### Příkon vysokotlakého dílu

Příkon generován vysokotlakým stupněm parní turbíny:

$$P_{vt} = M_p * (i - i_o) * \eta_{td} = 8,3 * (3305,4 - 2920) * 0,82 = 2,623 \text{ MW}$$

kde:  $P_{vt}$  [MW] – příkon generován vysokotlakým stupněm parní turbíny

$M_p$  [kg/s] – množství páry které projde turbínou

$i_o$  [kJ/kg] – entalpie odběrové páry

$\eta_{td}$  [-] – termodynamická účinnost systému

#### Příkon nízkotlakého dílu

Příkon generován nízkotlakým stupněm parní turbíny:

$$P_{nt} = M_{nt} * (i_o - i') * \eta_{td} = 7,7 * (2920 - 2360) * 0,82 = 3,535 \text{ MW}$$

kde:  $P_{nt}$  [MW] – příkon generován nízkotlakým stupněm turbíny

$M_{nt}$  [t/h] – průtok páry nízkotlakým stupněm parní turbíny

#### Celkový příkon oběhu

Celkový reálný elektrický příkon, který je v oběhu vyráběn.

$$P = (P_{vt} + P_{nt}) * \eta_m * \eta_g = (2,623 + 3,535) * 0,99 * 0,96 = 5,852 \text{ MW}$$

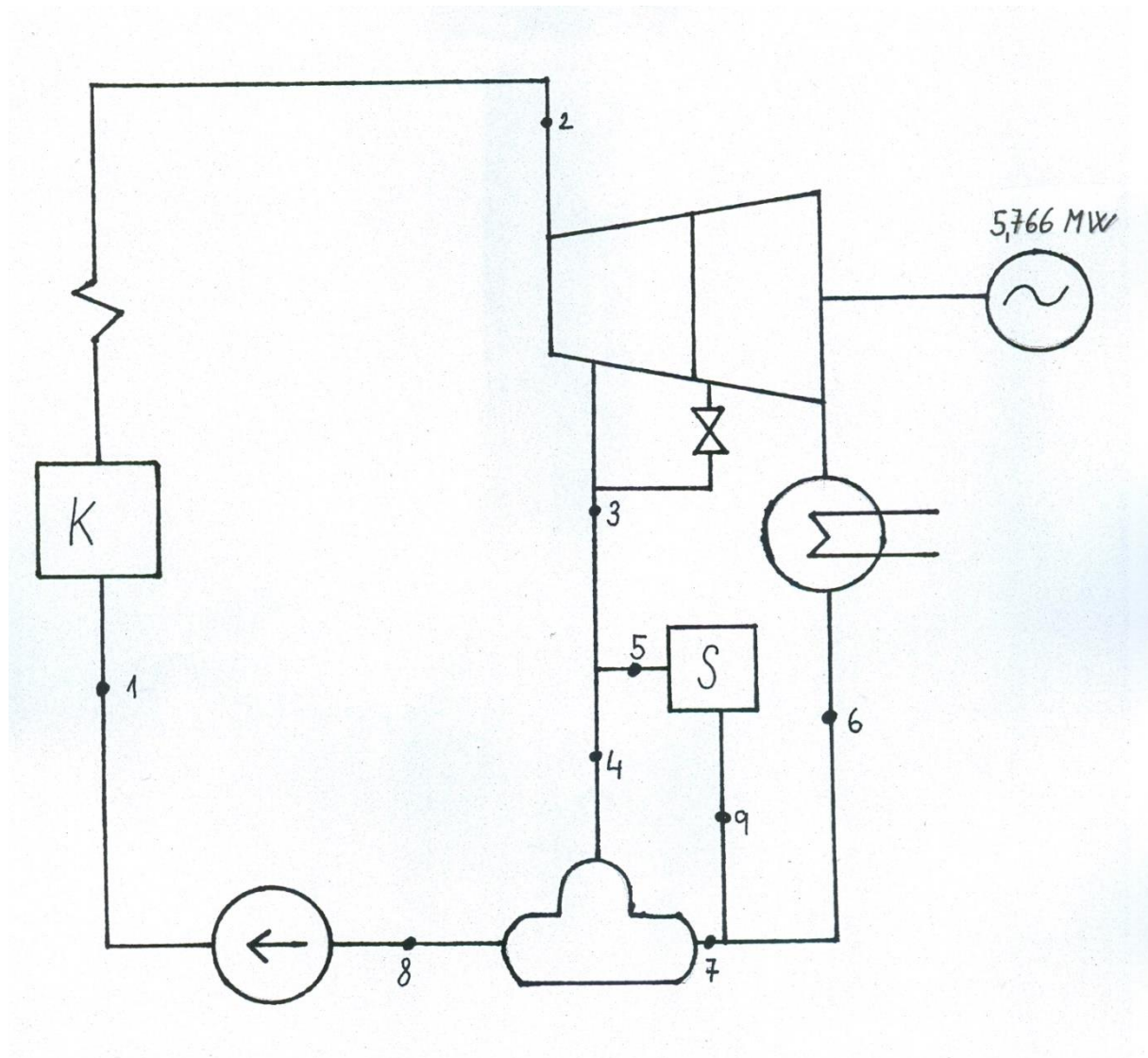
kde:  $P$  [MW] – celkový reálný generovaný příkon zařízení

$\eta_m$  [-] – účinnost mechanického převodu

$\eta_g$  [-] – účinnost generátoru



## 7.2 Návrh elektrárny se sušením



Obr.8 Schéma zařízení se sušením

Bod ve schématu	P[MPa]	T[°C]	Mp[t/h]
1	2,6	105	30
2	2,6	430	30
3	0,6	160	3
4	0,6	160	0,6
5	0,6	160	2,4
6	0,02	60	27
7	0,06	86	29,4
8	0,3	105	30
9	0,1	100	2,4

Tab. 2: Parametry páry jednotlivých oblastí schématu se sušením(obr.8)

## Výpočet zařízení se sušením

Parametry paliva jsou stejné jako u metody výpočtu bez sušení. Jediná změna je v obsahu vody. Ta se z 38 % změní na 20 %.

### Složení paliva v surovém stavu:

$$A^r = A^d * (1 - W^r) = 0,0211 * (1 - 0,200) = 0,0168$$

$$C^r = C^{daf} * (1 - A^r - W^r) = 0,4697 * (1 - 0,0168 - 0,200) = 0,367$$

$$H^r = H^{daf} * (1 - A^r - W^r) = 0,0598 * (1 - 0,0168 - 0,200) = 0,0468$$

$$N^r = N^{daf} * (1 - A^r - W^r) = 0,0050 * (1 - 0,0168 - 0,200) = 0,00391$$

$$S^r = S^{daf} * (1 - A^r - W^r) = 0,00050 * (1 - 0,0168 - 0,200) = 0,000391$$

$$O^r = O^{daf} * (1 - A^r - W^r) = 0,438 * (1 - 0,0168 - 0,200) = 0,343$$

$$Q_s^r = Q_s^{daf} * (1 - A^r - W^r) = 19,580 * (1 - 0,0168 - 0,200) = 15,333 \text{ MJ/kg}$$

### Výhřevnost paliva:

$$Q_{i20\%}^r = Q_s^r - 2453 * (W^r + 8,91 * H^r) = 15,333 - 2453 * (0,200 + 8,91 * 0,0468) \\ = 13,819 \text{ MJ/kg}$$

prvky	r	d	daf
C	0,367		0,4697
H	0,0468		0,0598
N	0,00391		0,005
S	0,000391		0,0005
O	0,343		0,438
A	0,0168	0,0211	
W	0,200		
Q <sub>s</sub>	15,333		19,580
Q <sub>i</sub>	13,819		

Tab.3 Složení paliva s obsahem vody 20%

## Stechiometrie

### **Objemy vzduchu**

#### Minimální spotřeba kyslíku při spálení 1 kg paliva:

toto teoretické množství kyslíku na spálení určíme součty jednotlivých složek paliva.

$$V_{O_2 \min} = 22,39 * \left( \frac{C^r}{18,01} + \frac{H^r}{4,032} + \frac{S^r}{32,06} - \frac{O^r}{32} \right) \\ = 22,39 * \left( \frac{0,367}{18,01} + \frac{0,0468}{4,032} + \frac{0,000391}{32,06} - \frac{0,343}{32} \right) = 0,47 \text{ m}_n^3/\text{kg}$$

### Minimální spotřeba suchého vzduchu při spálení 1 kg paliva:

minimální podíl suchého vzduchu se počítá z objemu kyslíku a zastoupení kyslíku v atmosféře.

$$V_{VS \min} = \frac{V_{O_2 \min}}{0,21} = \frac{0,47}{0,21} = 2,274 \text{ m}_n^3/\text{kg}$$

### Minimální spotřeba vlhkého vzduchu při spálení 1 kg paliva:

minimum vlhkého vzduchu se počítá z objemu suchého vzduchu a součinitele  $\kappa$ , který určuje poměrné zvětšení suchého vzduchu s uvažovanou vodní parou. Volí se v rozmezí 1,01 až 1,05. Pro výpočet volím  $\kappa=1,016$

$$V_{VV \min} = \kappa * V_{VS \min} = 1,016 * 2,274 = 2,310 \text{ m}_n^3/\text{kg}$$

$$\kappa = 1,016$$

### Minimální objem vodní páry ve vzduchu:

tento objem se počítá jako rozdíl vlhkého a suchého vzduchu.

$$V_{H_2O}^v = V_{VV \min} - V_{VS \min} = 2,310 - 2,274 = 0,0363 \text{ m}_n^3/\text{kg}$$

### **Minimální objemy spalin**

#### Minimální množství suchých spalin:

**CO<sub>2</sub>** vznikající spálením uhlíku v hořlavině, společně s obsahem suchého vzduchu.

$$V_{CO_2} = \frac{22,26}{12,01} * C^r + 0,0003 * V_{VS \min} = \frac{22,26}{12,01} * 0,367 + 0,0003 * 2,274 = 0,682 \text{ m}_n^3/\text{kg}$$

**N<sub>2</sub>** který vzniká z hořlaviny a spalovaného vzduchu.

$$V_{N_2} = \frac{22,4}{28,016} * N^r + 0,7805 * V_{VS \min} = \frac{22,4}{28,106} * 0,00391 + 0,7805 * 2,274 \\ = 1,778 \text{ m}_n^3/\text{kg}$$

**SO<sub>2</sub>** vzniklý ze síry obsažené ve spalované hořlavině.

$$V_{SO_2} = \frac{21,89}{32,06} * S^r = \frac{21,89}{32,06} * 0,000391 = 0,000267 \text{ m}_n^3/\text{kg}$$

**Ar** ze spalovacího vzduchu.

$$V_{Ar} = 0,0092 * V_{VS \min} = 0,0092 * 2,274 = 0,02092 \text{ m}_n^3/\text{kg}$$

#### Celkové minimální množství suchých spalin:

součet všech suchých spalin.

$$V_{SS \min} = V_{CO_2} + V_{N_2} + V_{SO_2} + V_{Ar} = 0,682 + 1,778 + 0,000267 + 0,0209 \\ = 2,481 \text{ m}_n^3/\text{kg}$$

### Minimální množství vodní páry ve spalinách:

voda ve formě páry, která vzniká z vodíku ve hořlavině a vlhkosti obsažené v palivu a spalovaném vzduchu.

$$V_{H_2O}^s = \frac{44,8}{4,032} * H^r + \frac{22,4}{18,016} * W^r + V_{H_2O}^v = \frac{44,8}{4,032} * 0,0486 + \frac{22,4}{18,016} * 0,200 + 0,0363$$
$$= 0,8054 \text{ m}_n^3/\text{kg}$$

### Minimální množství vlhkých spalin:

součet množství vodní páry ve spalinách a suchých spalin.

$$V_{SV \text{ min}} = V_{SS \text{ min}} + V_{H_2O} = 2,481 + 0,8054 = 3,287 \text{ m}_n^3/\text{kg}$$

### Hmotnostní bilance

#### **Výpočet spotřeby paliva**

##### Celkové vyrobené teplo:

množství vyrobeného tepla při daném průtoku a parametrech páry s odluhem 1 %.

$$Q_{vyr} = M_p * (i - i_{NV}) + M_o * (i' - i_{NV})$$
$$= 30000 * \frac{(3305,4 - 442)}{1000} + 0,01 * 30000 * \frac{(2360 - 442)}{1000} = 86477,4 \frac{\text{MJ}}{\text{h}}$$
$$= 24,02 \text{ MW}$$

##### Potřebné množství paliva:

množství paliva, které se spotřebuje pro generování daného elektrického příkonu turbínou.

$$M_{pal} = \frac{Q_{vyr}}{Q_i^r} * \frac{1}{\eta_K} = \frac{86477,4}{13,819} * \frac{1}{0,87} = 7153 \text{ kg/h} = 7,153 \text{ t/h}$$

### Bilance příkonů

Z jichž známých parametrů můžeme spočítat příkony jednotlivých částí parní turbíny a určit také celkový příkon, který bude generován.

#### Příkon vysokotlakého dílu

Příkon generován vysokotlakým stupněm parní turbíny:

$$P_{vt} = M_p * (i - i_o) * \eta_{td} = 8,3 * (3305,4 - 2920) * 0,82 = 2,623 \text{ MW}$$

#### Příkon nízkotlakého dílu

Příkon generován nízkotlakým stupněm parní turbíny:

$$P_{nt} = M_{nt} * (i_o - i') * \eta_{td} = 7,5 * (2920 - 2360) * 0,82 = 3,444 \text{ MW}$$

### Celkový příkon oběhu

Celkový reálný elektrický příkon, který je v oběhu vyráběn.

$$P = (P_{vt} + P_{nt}) * \eta_m * \eta_g = (2,623 + 3,444) * 0,99 * 0,96 = 5,766 \text{ MW}$$

### Bilance průtoků páry

Pro zjištění průtoků páry jsme museli zbilancovat 1 kg paliva jak nevysušené, tak vysušené biomasy. Nejprve jsme rozdělili 1 kg nevysušeného paliva na pevnou složku a vodu:  $m_p=0,620$  kg a  $m_{v38\%}=0,380$  kg. Poté jsme vypočítali množství vody, která se odpaří v sušárně, aby palivo vstupující do kotle mělo 20 % vlhkost.

$$\Delta W = \frac{W_0 - W_1}{1 - W_1} = \frac{0,38 - 0,2}{1 - 0,2} = 0,225$$

kde:  $\Delta W$  [kg] – množství opařené vody

$W_0$  [kg] - obsah vody v palivu na vstupu do sušárny

$W_1$  [kg] – obsah vody v palivu na výstupu ze sušárny.

Ze znalosti množství opařené vody můžeme určit množství vysušeného paliva, které bude vstupovat do kotle ze sušárny:

$$m_{ps} = m_p + (W_0 - \Delta W) = 0,620 + (0,380 - 0,225) = 0,775 \text{ kg}$$

kde:  $m_{ps}$  [kg] – množství vysušeného paliva s obsahem vody 20 %.

Pro určení množství paliva, které bude vstupovat do sušárny již známe všechny potřebné hodnoty. Množství paliva, které bude vysušeno, se určí z potřebného množství paliva  $M_{pal}$  a poměru množství nevysušeného paliva s vlhkostí 38 % ku množství vysušeného paliva s vlhkostí 20 %.

$$M_{sušení} = M_{pal} * \frac{m_b}{m_{ps}} = 7153 * \frac{1}{0,775} = 9229 \text{ kg/h}$$

kde:  $M_{sušení}$  [kg/h] – množství vlhkého paliva vstupující do sušárny

$m_b$  [kg] – 1 kg paliva s vlhkostí 38 %

Z této hodnoty jsme zjistíme teplo, které je nutné dodat palivu, aby se pevná složka i voda ohřály z 20°C na 100°C a poté aby se odpařila voda, jejíž obsah se musí snížit z 38 % na 20 %. Toto množství tepla dodává pára v odběru (bod 3) viz obr. 8. Potřebný průtok páry, která

zajistí požadované množství tepla pro sušárnu je 3 t/h. Z tohoto průtoku si odebere sušárna 2,4 t/h. Díky tomuto zjištění jsme dopočítali hodnoty průtoků páry ve zbylých částech oběhu.

Použili jsme k tomu tyto bilanční rovnice:

$$M_6 = M_2 - M_3 = 30 - 3 = 27 \frac{t}{h}$$

$$M_4 = M_3 - M_5 = 3 - 2,4 = 0,6 \frac{t}{h}$$

$$M_7 = M_6 + M_9 = 27 + 2,4 = 29,4 \frac{t}{h}$$

$$M_8 = M_7 + M_4 = 29,4 + 0,6 = 30 \frac{t}{h}$$

### 8. Porovnání obou návrhů oběhu.

V této kapitole porovnáme oba navrhované oběhy a ukážeme si jaký vliv má zařazení sušárny do oběhu. Díky bilanci 1 kg paliva z předchozí kapitoly si můžeme ukázat první výhodu sušení paliva. Tato výhoda se projevuje menší spotřebou paliva při vyšší výrobě tepla. To je způsobenou změnou výhřevnosti paliva při různé vlhkosti:

$$Q_{38\%} = m_b * Q_{i\ 38\%}^r = 1 * 10,158 = 10,158 \text{ MJ}$$

kde:  $Q_{38\%}$  [MJ]- množství tepla z nevysušeného paliva s danou výhřevností,

$$Q_{20\%} = m_{ps} * Q_{i\ 20\%}^r = 0,775 * 13,819 = 10,709 \text{ MJ}$$

kde:  $Q_{20\%}$  [MJ]- množství tepla z vysušeného paliva s danou výhřevností.

Lze vidět že i přes menší spotřebu paliva vyrobíme více tepla. Díky tomu se sníží spotřeba paliva, jak je vidět z Tab. 4. Spotřeba paliva se snižuje se snižující se vlhkostí, jak je znázorněno v grafu (Obr. 9).

Obsah vody [%]	Spotřeba paliva [kg/h]
0,5	13 106
0,38	9899
0,35	9300
0,3	8434
0,25	7764
0,2	7153

Tab. 4: Vliv vlhkosti na spotřebu paliva



Obr. 9 Graf závislosti spotřeby paliva na stupni vysušení

Dále lze výhody sušení paliva ukázat při porovnání účinností oběhů. Účinnost elektrárny bez sušení lze určit z poměru výkonu turbíny a příkonu v nevysušeném palivu, který se určí součinem potřebného množství paliva a výhřevnosti paliva pro danou vlhkost:

$$\eta_c = \frac{P}{M_{pat} * Q_i^r} = \frac{5,852}{2,749 * 10,158} = 0,2099 = 20,99 \%$$

kde:  $\eta_c$  [-] – celková účinnost oběhu bez sušení.

Pro určení účinnosti oběhu se sušením použijeme obdobný vztah, ve kterém jsou použity hodnoty výkonu z oběhu se sušením. Příkon v palivu se v tomto případě určí z množství nevysušeného paliva vstupujícího do sušárny a výhřevnosti tohoto nevysušeného paliva:

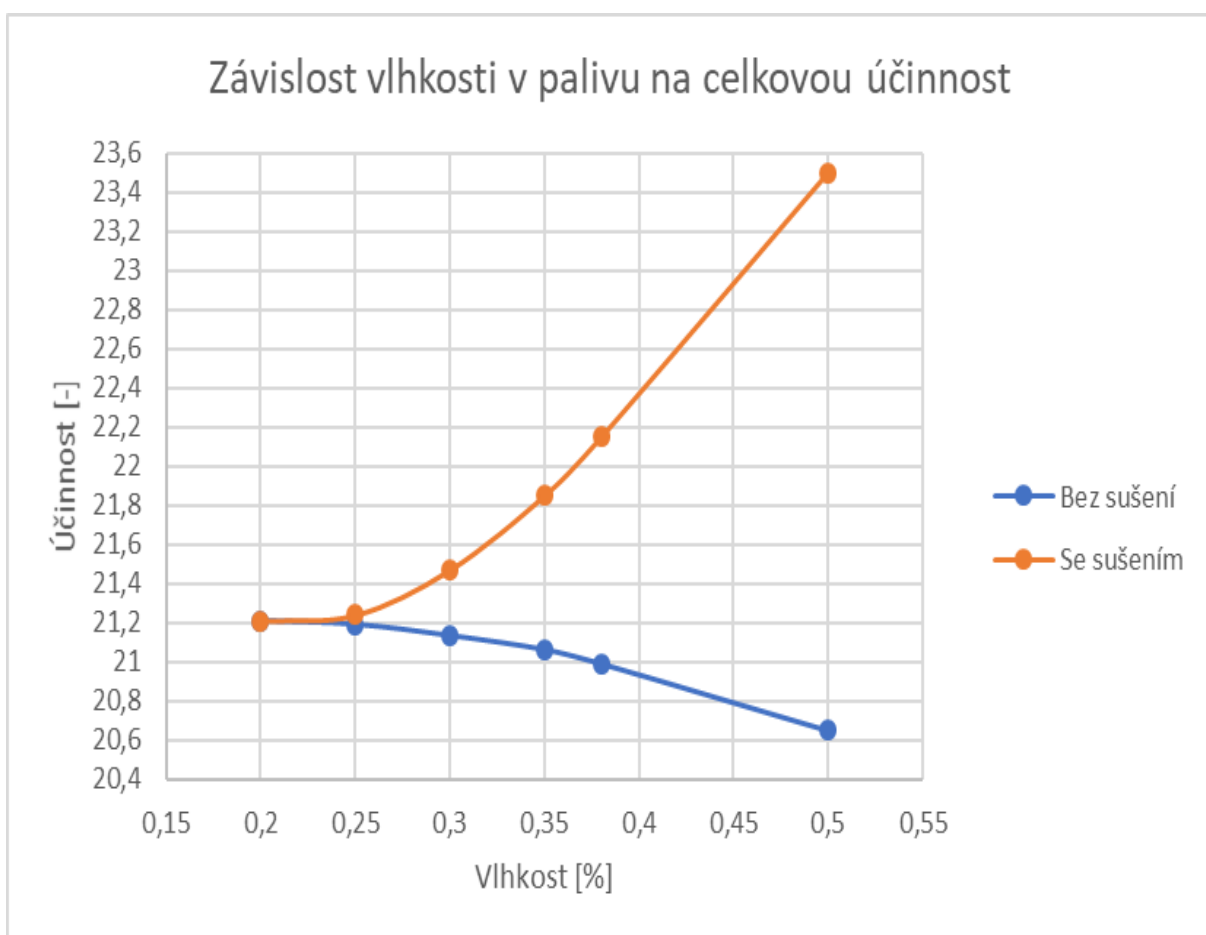
$$\eta_{cs} = \frac{P}{M_{sušení} * Q_i^r} = \frac{5,766}{2,563 * 10,158} = 0,2215 = 22,15 \%$$

kde:  $\eta_{cs}$  [-] – celková účinnost oběhu se sušením.

Jak je patrné z tabulky (Tab. 5), účinnost oběhu bez vysoušení paliva se bude s klesající vlhkostí v palivu zvyšovat. Oproti tomu, účinnost oběhu se sušením bude s klesající vlhkostí klesat. Při kontaktním sušení paliva se hodnota účinnosti využití paliva zvyšuje, a to tím více, čím vyšší bude stupeň jejího vysoušení či hodnota vstupní vlhkosti v palivu. To je znázorněno v grafu (Obr. 10)

Vlhkost [%]	Účinnost bez vysoušení [%]	Účinnost s vysoušením [%]
0,5	20,65	23,5
0,38	20,99	22,15
0,35	21,063	21,85
0,3	21,135	21,47
0,25	21,192	21,24
0,2	21,21	21,21

Tab. 5: Vliv snižování vlhkosti v palivu na celkovou účinnost



Obr. 10: Graf závislosti celkové účinnosti na stupni vysoušení



## 9. Závěr

Tato práce porovnává návrh elektráren na spalování biomasy, přičemž jedna pracuje bez sušení paliva a druhá se sušením. V první části se práce zaměřuje na rozdělení a popsání pojmu biomasa. Jsou zde popsány důležité vlastnosti, které ovlivňují spalování biomasy. Následující kapitola popisuje jednotlivé druhy sušení biomasy. Pro navrhovanou elektrárnu, která využívá sušení paliva, bych volil bubnovou sušárnu. V kapitole po typech sušení jsou shrnuty vzorové podniky, podle kterých jsou navrhovány vypočítávané elektrárny. Dále následuje výpočet elektrárny bez sušení ze zadaných parametrů a poté elektrárny se sušením. Jsou zde bilance hmotnostní ale také bilance příkonů. Provedl jsem také bilanci průtoku páry, abych zjistil, jaké množství páry prochází odběrem a kolik páry budu potřebovat na vysušení paliva na požadovanou vstupní vlhkost. Díky těmto bilancím mohou být v další kapitole porovnány oba návrhy a určení zařízení, které by bylo výhodnější realizovat. Dle mého názoru je lepší využít možnosti sušení odběrovou parou za cenu nižší účinnosti výroby elektrické energie v turbíně, ale díky zvýšení účinnosti kotle zapříčiněné vysušeným palivem dosáhneme zvýšení celkové účinnosti při menší spotřebě paliva. V mé práci jsem se nezabýval ekonomickým zhodnocením návrhů. Toto ekonomické hodnocení by mohlo pomoci určit, zda je lepší nedosoušet palivo a mít větší spotřebu či investovat do sušárny a tím snížit spotřebu paliva.

## Seznam použité literatury:

- [1] PASTOREK Zdeněk, KÁRA Jaroslav, JEVIČ Petr, *Biomasa: obnovitelný zdroj energie*, FCC PUBLIC 2004, ISBN 80-86534-06-5.
- [2] GRUBER, J. *Sušení biomasy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 62 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
- [3] HRABÁNEK, R., *Metody sušení biomasy*, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 30 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Michal Jaroš, Dr.
- [4] HAYGREEN, JOHN G. (Roseville, MN), *Method and apparatus for de-watering biomass materials in a compression drying process*, [cit. 2017-04-22], Dostupné z [www: http://www.freepatentsonline.com/4630535.html](http://www.freepatentsonline.com/4630535.html)
- [5] MOTLÍK, Jan, VÁŇA, Jaroslav: *Biomasa pro energii (1) Zdroje*. *Biom.cz* [online]. 2002-02-01 [cit. 2010-04-12]. Dostupné z [www: http://biom.cz/cz/odborneclanky/biomasa-pro-energii-1](http://biom.cz/cz/odborneclanky/biomasa-pro-energii-1). ISSN: 1801-2655.
- [6] OCHODEK, Tadeáš, Jan KOLONIČNÝ a Pavel JANÁSEK. *Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy* [online]., 7-187 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z [www: http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/bio.pdf](http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/bio.pdf)
- [7] SOUČEK, Jiří, KROULÍK, Milan: *Parametry sušení energetických dřevin v experimentální sušárně*. *Biom.cz* [online]. 2010-04-19 [cit. 2017-04-22]. Dostupné z [www: http://biom.cz/czp/odborne-clanky/parametry-suseni-energetickych-drevin-vexperimentalni-susarne](http://biom.cz/czp/odborne-clanky/parametry-suseni-energetickych-drevin-vexperimentalni-susarne) ISSN: 1801-2655.
- [8] BALLBRNO.CZ [online]. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z [www: http://www.ballbrno.cz/html\\_cz/ceniky-susicky.html](http://www.ballbrno.cz/html_cz/ceniky-susicky.html).
- [9] BIOMASS ENERGY CENTER. *Drying biomass material*. [on line]. March 2008, [cit.2017-04-22]. Dostupné z [www: http://www.biomasenergycentre.org.uk/portal/page?\\_pageid=75,17305&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://www.biomasenergycentre.org.uk/portal/page?_pageid=75,17305&_dad=portal&_schema=PORTAL)
- [10] BIOMASS ENERGY CENTER. *Effect of moisture content in biomass material*. [on line]. March 2008, [cit. 2017-04-22]. Dostupné z [www: http://www.biomasenergycentre.org.uk/portal/page?\\_pageid=75,17656&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://www.biomasenergycentre.org.uk/portal/page?_pageid=75,17656&_dad=portal&_schema=PORTAL)

- [11] BRIKLIS.CZ [online]. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z www:  
<http://www.briklis.cz/produkty/na-drevo/susarny-pilin/bus.html>
- [12] BRIKLIS SPOL. S.R.O., *Bubnová sušička BUS* [cit. 2017-04-22]. Dostupné z www:  
<http://www.briklis.cz/produkty/na-drevo/susarny-pilin/bus.html>
- [13] CYBERNA S.R.O. *Sušičky dřevní štěpky*. [online]. 2013 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z www: <http://www.cyberma.cz/susicky-drevni-stepky>
- [14] KATRES spol. s.r.o., *Pásová sušárna pilin a štěpek* [cit. 2017-04-22]. Dostupné z www: <http://www.katres.cz/produkty/pasove-susarny-pilin-a-stepek>
- [15] PAWLICA s.r.o., *Sušičky na piliny a štěpky* [cit. 2017-04-22]. Dostupné z www:  
<http://www.pawlica.cz/produkty/susicky-susarny-obili-komodit/pasove-susickysusarny/susicky-na-piliny-a-drevni-stepku>
- [16] TŮMA CZ. S.R.O., *Sušička biomasy SBT* [cit. 2017-04-22]. Dostupné z www:  
<http://www.tumacz.cz/vyrobní-linky/susicka-biomasy-sbt>
- [17] PLZEŇSKÁ TEPLÁRENSKÁ – zelená energie. [cit. 2017-05-28]. Dostupné z www:  
<http://www.pltep.cz/index.php?goto=text&sekce=Ar5bXRIQ&tid=V8TSTGNc&lng=cz>
- [18] NEUVEDEN, Autor. *Centrivit.cz* [online]. [cit. 18.5.2017]. Dostupný na www:  
<http://www.centrivit.cz/cz/pasova-susarna-bds/>
- [19] NEUVEDEN, Autor. *Pawlica.cz* [online]. [cit. 18.5.2017]. Dostupný na www:  
<http://www.pawlica.cz/produkty/prumyslove-susicky/pasove-susarny-stela/susicky-na-piliny-a-drevni-stepku/susarny-stela-bt.html>
- [20] NEUVEDEN, Autor. *Cronimo.cz* [online]. [cit. 18.5.2017]. Dostupný na www:  
<http://www.cronimo.cz/rourova-susicka>
- [21] NEUVEDEN, Autor. *Briklis.cz* [online]. [cit. 18.5.2017]. Dostupný na www:  
<http://www.briklis.cz/susarny-linky/susarny-pilin/>
- [22] NEUVEDEN, Autor. *pltep.cz* [online]. [cit. 28.5.2017]. Dostupný na www:  
[http://www.pltep.cz/upload/File/schema-noveho\\_bloku.pdf](http://www.pltep.cz/upload/File/schema-noveho_bloku.pdf)