

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektroenergetiky a ekologie**

# Diplomová práce

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2011/2012

**ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří ZÁSTĚRA**  
Osobní číslo: **E08N0182P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Technická ekologie**  
Název tématu: **Hodnocení efektivity výtopny na biomasu**  
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište technické a provozní charakteristiky hodnocené výtopny na biomasu.
2. Analyzujte efektivitu výtopny na biomasu z hlediska energetické, environmentální a ekonomické přijatelnosti.
3. Navrhněte opatření na zvýšení efektivity výtopny na biomasu.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**


Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:


**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí diplomové práce: **Mgr. Eduard Ščerba, Ph.D.**  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**  
Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

*Název práce:* Hodnocení efektivity výtopny na biomasu

*Autor :* Jiří Zástěra

*Katedra:* Katedra elektroenergetiky a ekologie

*Vedoucí práce:* Mgr. Eduard Ščerba, PhD.

*Abstrakt:* Cílem této diplomové práce je zhodnotit efektivitu výtopny na biomasu v Kašperských Horách. Úvodní část se zaměřuje na biomasu, její rozdělení a význam pro vytápění. V další části popisuje technické a provozní charakteristiky výtopny na biomasu. V závěru jsou navrženy opatření na zvýšení efektivity výtopny, vycházející z teoretických a praktických poznatků.

*Klíčová slova:* Biomasa, spalování, obnovitelné zdroje energie, kotel, efektivita, dřevní štěrka, ztráty, vlhkost, palivo, výhřevnost

*Title:* Evaluation the effectiveness of a biomass heating plant

*Author :* Jiří Zástěra

*Department:* Department of Electric power engineering and Ecology

*Supervisor :* Mgr. Eduard Ščerba, PhD.

*Abstract:* The aim of this thesis is to evaluate the efficiency of biomass heating plant in Kašperské Hory. The introductory part focuses on biomass, its sorting and significance for heating.. The next section describes the technical and operational characteristics of the biomass heating plant. Finally, measures are designed to increase the efficiency of heating plants, based on theoretical and practical knowledge.

*Keywords:* Biomass, combustion, renewing energy sources, boiler, efficiency, wood chips, losses, humidity, fuel, calorific value

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně na základě uvedené literatury pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Plzni dne.....

.....

(podpis)

## Obsah

1. Úvod.....	9
1.1 Co je to biomasa .....	9
1.2 Význam biomasy pro vytápění měst a obcí .....	11
1.3 Přehled a porovnání výtopen na biomasu .....	12
2. Technické a provozní charakteristiky.....	13
2.1 Popis kotle a spalovacího zařízení.....	15
2.2 Energetická bilance.....	19
2.3 Palivo a jeho logistika.....	22
<b>Dřevní štěpka ze zbytků lesní těžby.....</b>	<b>23</b>
<b>Zelená štěpka (lesní) .....</b>	<b>23</b>
<b>Hnědá štěpka .....</b>	<b>24</b>
<b>Bílá štěpka .....</b>	<b>24</b>
<b>Dřevní štěpka ze zbytků z průmyslového zpracování dřeva .....</b>	<b>24</b>
<b>Využití štěpky.....</b>	<b>24</b>
<b>Skladování a manipulace se štěpkou .....</b>	<b>25</b>
<b>Doporučení při nákupu štěpky .....</b>	<b>25</b>
<b>Základní technické parametry štěpky.....</b>	<b>26</b>
<b>Specifická problematika .....</b>	<b>26</b>
<b>Zohlednit místní poměry .....</b>	<b>26</b>
<b>Spotřeba rostlinných surovin .....</b>	<b>27</b>
<b>Parametry a charakteristiky.....</b>	<b>27</b>
2.4 Provoz kotle.....	28
2.5 Distribuční síť.....	29
3. Faktory ovlivňující efektivitu a účinnost výtopny .....	30
3.1 Energetické, environmentální a ekonomické hodnocení výtopny.....	30
3.2 Palivové hospodářství.....	32
Mechanismus hoření na otevřeném ohništi.....	33
Mechanismus hoření dřeva v uzavřeném topeništi na roštu .....	35
Shrnutí.....	38
4. Návrh opatření na zvýšení efektivity výtopny.....	40

4.1 Možnosti na straně paliva .....	40
4.2 Možnosti na straně kotle .....	40
4.3 Možnosti z hlediska distribuce .....	40
4.4 Ekonomické a finanční hodnocení .....	41
5. Závěr.....	41
6. Seznam použitých zdrojů.....	42
Příloha 1 – Tabulka realizovaných projektů.....	43



## Seznam použitých symbolů

Symbol	Význam	Jednotka
$A^r$	obsah popela v palivu	[%]
$H_2$	obsah vodíku v surovém palivu	[%]
$r$	výparné teplo vody	[kJ.kg <sup>-1</sup> ]
$t_a$	teplota měknutí popele	[°C]
$t_b$	teplota tavení popele	[°C]
$t_c$	teplota tečení popele	[°C]
$i$	entalpie vody	[kJ/kg]
$M_v$	hmotnostní průtok vody	[kg/s]
$M_{pv}$	spotřeba paliva	[kg/s]
$Q$	výhřevnost	[kJ.kg <sup>-1</sup> ]
$Q_{užit}$	teplo předané vodě	[kJ/hod]
$Q_{paliva}$	teplo vnesené spalováním paliva	[kJ/hod]
$W^r$	obsah vody v palivu	[%]
$\lambda$	tepelná vodivost vzduchu	[W/m.K]
$\eta_{kot}$	účinnost kotle	[%]
$\zeta_{MN}$	ztráta mechanickým nedopalem	[%]
$\zeta_f$	ztráta citelným teplem tuhých zbytků	[%]
$\zeta_{CN}$	ztráta chemickým nedopalem	[%]
$\zeta_k$	ztráta citelným teplem spalin (ztráta komínová)	[%]
$\zeta_{SV}$	ztráta sdílením tepla do okolí	[%]

## Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
TZL	tuhé znečišťující látky
OZE	Obnovitelný zdroj energie
CZT	Centrální zdroj tepla
TUV	Teplá užitková voda

## 1. Úvod

Problémem moderního světa je potřebné zajištění zdrojů energie a tepla, které každým rokem stále stoupá. I přes předurčovanou budoucnost v jaderné energetice tvoří plyn a především obnovitelné zdroje důležitou pozici ve vytápění měst a obcí. Biomasa je v našich podmínkách nejperspektivnější obnovitelný zdroj energie. Její energetické využití má mnohostranný význam a protože se neustále rozšiřuje využití biomasy v CZT, shrnuje tato práce základní pojmy týkající se tématu do srozumitelné formy. Srovnání paliv a kotlů umožní vytvořit si správný pohled na vhodnou volbu. Jednotlivými částmi této práce jsem se snažil nastínit, jak problematická je tato problematika, ať už z hlediska plánování, nebo z hlediska provozu či v konečném důsledku zlepšování efektivnosti, kdy se nesmí zanedbat žádný detail, protože i nepatrná změna může v konečném důsledku vyvolat velkou zpětnou a v mnoha případech i zápornou reakci z hlediska efektivnosti dané výtopy na biomasu v Kašperských Horách.

### 1.1 Co je to biomasa

Biomasa obecně je veškerá organická hmota na Zemi, která se účastní koloběhu živin v biosféře. Jedná se o těla všech organismů, živých i mrtvých, od největších druhů až po mikroskopické – tj. živočichů, rostlin, hub, bakterií a sinic. Biomasu lze dnes vnímat do jisté míry jako dostupný a bezprostředně využitelný zdroj obnovitelné energie, který má ambice v určité míře nahradit rostoucí spotřebu fosilních paliv, které jsou klíčovým problémem vzrůstající koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře Země a s tím spojenými dobře známými důsledky. Biomasa je sjednocující pojem pro fytomasu a další látky biologického původu, které mají širokou škálu vlastností. Tyto vlastnosti je třeba z technického hlediska plně respektovat výběrem technologií i zařízení pro energetické využití biomasy. Z energetického hlediska je významná pouze energeticky využitelná biomasa. Biomasu můžeme považovat za akumulované sluneční záření, sice s nízkou účinností, zato v podstatě s nulovými ztrátami při dlouhodobé akumulaci. Požadavky na investice do technických zařízení mohou být malé, v extrémním případě pila a sekyra pro dřevo, respektive kosa a hrábě v případě bylin.

Biomasa ve formě dřeva, byla do poloviny 18. století prakticky jediným palivem využívaným pro získávání užitečné tepelné energie člověkem. V 19. století dřevo výrazně nahradila fosilní paliva. Na konci 20. století je patrný návrat biomasy mezi významné položky palivové bilance i v technicky vyspělých zemích, a to právě proto, že se jedná o obnovitelný zdroj energie. Ve využívání obnovitelných zdrojů energie sehrává biomasa významnou roli a je k dispozici v mnoha formách (odpadní dřevo z těžby, piliny, sláma, obilí, zbytky ze zemědělské produkce, cíleně pěstovaná biomasa apod.).

Energetickou biomasu lze zatřídit do několika kategorií, které se však mohou částečně překrývat:

- fytomasa - hmota rostlin obecně
- dendromasa - stromy speciálně
- cíleně pěstovaná (energetická) biomasa - zejména byliny a rychle rostoucí dřeviny
- biopaliva
  - pevná
  - kapalná
  - plynná

- odpadní biomasa
  - z rostlinné výroby - sláma, plevy, zbytky z čištění zrnin apod.
  - z živočišné výroby - hnůj, kejda, močůvka
  - z těžby a zpracování dřeva - nehroubí, piliny, hobliny, odřezky apod.
- biologicky rozložitelný odpad
  - komunální - zbytky potravin, papírové obaly,
  - průmyslový - odpady z výroby papíru, cukru, mouky, odpady z jatek apod.
  - splašky z kanalizace

Biomasa může být před konečným využitím zpracovávána různými technologickými procesy:

- mechanické procesy
  - řezání (těžba a zpracování dřeva na řezivo a palivo), odpadem jsou piliny, které slouží k výrobě dřevních pelet a briket
  - drcení - používá se například jako předstupeň při výrobě pelet a briket
  - štěpkování - pro následné použití k výrobě tepla, případně i elektrické energie
  - lisování pelet nebo briket - pro následné použití k výrobě tepla, případně i elektrické energie
  - lisování oleje - pomineme-li potravinářství, je olej následně esterifikován na metylester (známý jako bionafta)
- termické procesy
  - spalování - výroba tepla s následnou možností výroby elektřiny, v současnosti nejrozšířenější způsob využití biomasy, v některých zařízeních může být biomasa spoluspalována s fosilními palivy.
  - zplynování - výroba generátorového plynu, obvykle pro následné použití ve spalovacích motorech buď k pohonu vozidel, nebo k výrobě elektřiny a tepla
  - rychlá pyrolýza - produktem je kapalina podobná ropě, která je následně i podobným způsobem zpracovávána
- chemické procesy
  - esterifikace - výroba metylesteru (bionafty) z oleje
- mikrobiologické procesy
  - alkoholové kvašení - výroba metanolu, etanolu, ale i izobutanolu pro další použití, kromě spalování a přimíchávání do benzínu se uvažuje i o využití v palivových článcích
  - anaerobní digesce - výroba bioplynu s následnou možností úpravy na biometan, možnosti použití biometanu jsou shodné se zemním plynem
  - kompostování - využívá se přímo teplo produkované mikroorganismy

Nejmodernější jsou kombinované procesy, jejichž snahou je využít biomasu primárně k neenergetickým účelům. Biopalivo je jen jedním z konečných produktů. Snahou je, aby se jednalo například o čistou celulózu. Ve srovnání s celou organickou hmotou má celulóza přesněji definované spalovací charakteristiky a nižší obsah dusíku a ostatních prvků, lze proto dosáhnout nižších úrovní emisí.

Biomasa použitelná jako palivo do kotlů podporovaných v programu Zelená úsporám a jiných dotačních programech je užší kategorie, než je výše uvedeno. Jedná se prakticky výhradně o fytomasu:

- kusové dřevo - polena obvykle o délce 300 až 500 mm, případně kusové odpady z dřevozpracujícího průmyslu

- dřevěné štěpky - zejména z odpadů při těžbě dřeva, nověji i z cíleně pěstovaných rychle rostoucích dřevin, kotle na štěpku jsou sice schopny spalovat i čerstvou biomasu, z energetického hlediska je však jednoznačně výhodnější štěpku před spalováním nechat vysušit
- pelety z dřevního odpadu - vyrábí se z pilin lisováním skrze otvory v matici (podobné jako mlýnek na maso), obvyklý průměr je kolem 5 mm, délka asi 20 mm
- pelety z alternativních surovin - vyrábí se zejména z cíleně pěstovaných energetických plodin (bylin), ale například i z pazdeří nebo kůry
- brikety z dřevního odpadu - vyrábí se z hoblin a pilin za nižších tlaků než pelety, jsou obvykle válcového tvaru o průměru kolem 100 mm a délce 200 mm a více, používají se podobně jako kusové dřevo, v průběhu hoření se však rozpadají
- brikety z energetických bylin - podobně jako předchozí
- semena plodin - používají se obvykle semena obilovin nepoužitelná pro potravinářské nebo krmivářské účely, použití je podobné jako u pelet, existují kotle schopné spalovat pelety i semena
- balíkováná sláma - jedná se obvykle o vedlejší produkt při pěstování potravinářských a průmyslových plodin, který je jinak považován za odpad
- balíkováné celé rostliny - jedná se obvykle o cíleně pěstované energetické plodiny (byliny), může se však jednat i o obilniny (například po povodni), ve srovnání s čistou obilnou slámou mají vyšší obsah dusíku a ostatních prvků a proto i horší emisní charakteristiky

## 1.2 Význam biomasy pro vytápění měst a obcí

Biomasa je v našich podmínkách nejperspektivnější obnovitelný zdroj energie. Její energetické využití má mnohostranný význam. Využijí-li se energeticky odpady, vyřeší se současně i způsob jejich likvidace. Pokud se energetická biomasa speciálně pěstuje, přispívá se tím k zachování rázu krajiny a k ekonomice zemědělských výrobců, a to zejména v oblastech méně vhodných k intenzivní zemědělské produkci. Jedná se o nahrazení spontánních úhorů, které jsou zdrojem plevelů, alergických pylů, rostlinných chorob, škůdců a příčinou kontaminace vod. Plantáže energetických rostlin mají pozitivní vliv na životní prostředí i na ekonomiku vesnického obyvatelstva a to zejména v marginálních zemědělských oblastech. Při aplikaci využívání fytopaliv se nabízí i využití oblastí s rekultivovanou půdou po důlní činnosti, využití půdy nadlimitně kontaminované cizorodými látkami, půdy v emisních oblastech a v okolí exponovaných silnic a dálničních tahů. Při přípravě fytopaliv a při investiční výstavbě, provozu a údržbě zařízení na využití vznikne mnoho pracovních míst, a to zejména v oblastech, kde je největší problém s nezaměstnaností. Není možné zapomenout ani druhý pilíř uváděný pro nasazení obnovitelných zdrojů této kategorie, kterým je nezávislost na dovozu paliv a diverzifikaci s decentralizací výroby energií. Při rozhodování o vytápění obce biomasou je naprosto zásadní zajištění dostatečného množství paliva, stejně jako zvážit, zda namísto vysokých investic do rozvodů tepla raději nespalovat biomasu v lokálních topeništích, a to např. za současného zřízení obecní výroby peletek. Toto je vhodné zejména v místech s řídkou zástavbou, případně pro doplnění systému pro vzdálenější objekty. Při rozhodování o volbě způsobu vytápění a pozdější realizaci je třeba počítat s měnícím se počtem zájemců o připojení. V první fázi panuje nedůvěra lidí v novou technologii, ve ztrátu soběstačnosti, a zejména obavy z vysoké ceny dodávaného tepla. Tato nedůvěra ovšem opadá poté, co si sousedé začnou pochvalovat pohodlí a katastrofické scénáře o vysoké ceně za teplo

nejsou naplněny. Produkce a využití biomasy vytváří nová pracovní místa a posiluje místní ekonomiku – peníze vynakládané za fosilní paliva jdou mimo obec a v případě biomasy zůstávají v obci nebo v regionu. Plantáže vytrvalých plodin a dřevin mohou při vhodném umístění sehrát pozitivní roli při ochraně proti vodní a větrné erozi. Díky kontrolovanému spalování ve větším zařízení jsou celkové emise nižší, než by byly v případě individuálních topenišť. Ke zlepšení imisní situace přispívá i to, že výtopna má vyšší komín, než mají jednotlivé domy, takže rozptyl emisí je lepší. Z hlediska globálního oteplování nemá biomasa žádný negativní vliv, na rozdíl od plynu nebo jiných fosilních paliv.

### Zemní plyn versus biomasa: výhody a nevýhody

<b>plynofikace obce</b>	<b>výstavba systému CZT z biomasy</b>
jednorázová záležitost (provede se plynofikace a pak už žádné starosti)	dlouholetý provoz - údržba, nákup paliva, likvidace odpadů, případně platby za znečištění ovzduší
proinvestuje se menší objem peněz	proinvestuje se větší objem peněz (zhruba třikrát až čtyřikrát víc než u plynofikace)
vložené prostředky se nikdy přímo nevrátí - ekonomicky jasně ztrátová investice	vložené prostředky se vrátí - buď jen částečně (mírně ztrátová investice), nebo zcela (nulový zisk), nebo přinesou přímý finanční zisk pro provozovatele (obec)
občané musí sami něco vložit: plynová přípojka, nový kotel, vyvložkování komína aj.	občané nemusí vložit skoro nic (jsou připojeni zdarma nebo za malý poplatek, výměňková stanice patří k CZT, někdy je nutná úprava topení v domě)
horší rozptylové podmínky - mnoho nízkých komínů	lepší rozptylové podmínky - jeden centrální vysoký komín, kontrolované emise
peníze za energii odchází z obce pryč	peníze za energii zůstávají v obci nebo v regionu
žádné nové pracovní příležitosti	několik nových pracovních míst (obvykle částečné úvazky)

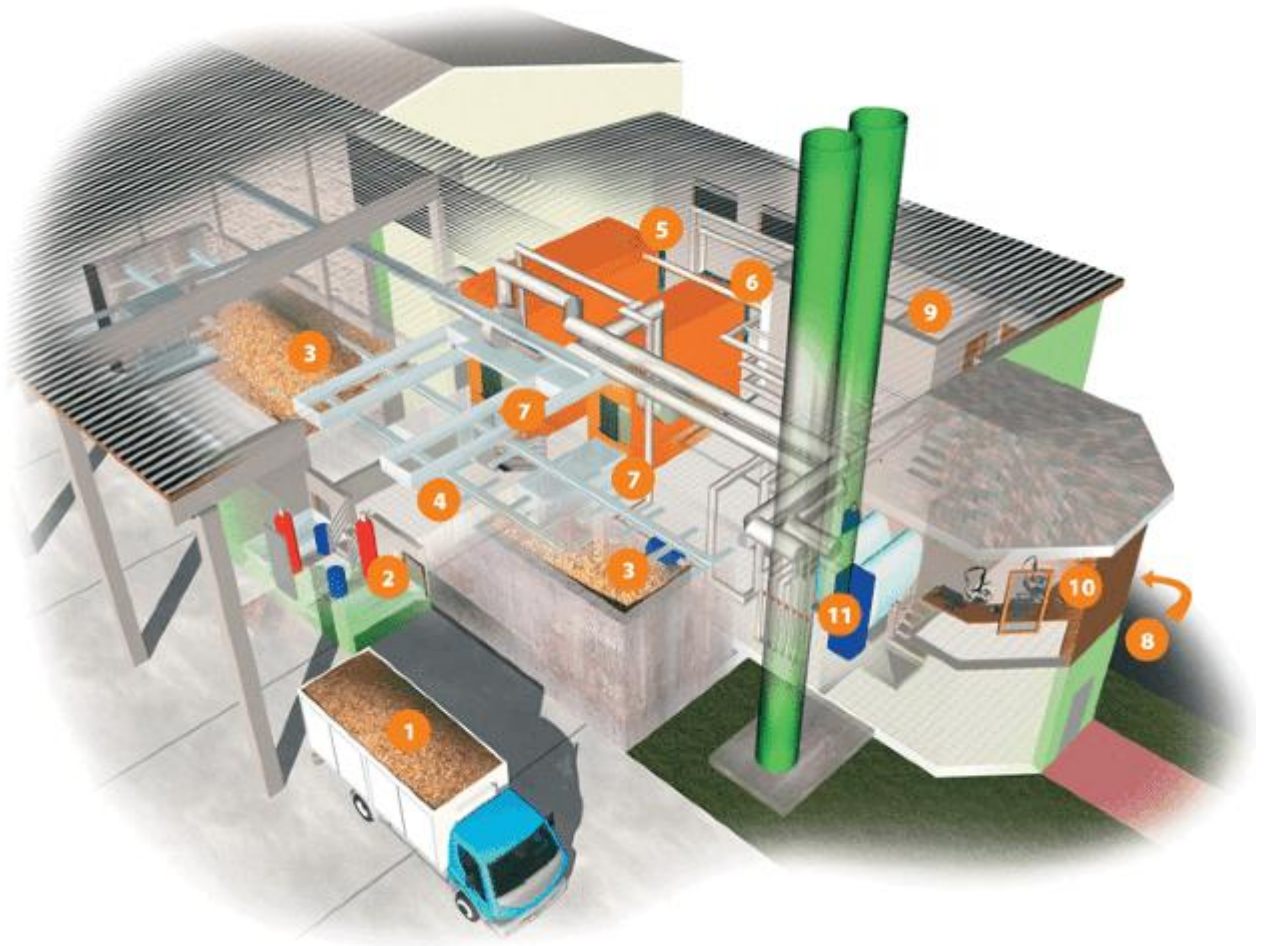
Tab. 1. Výhody a nevýhody zemního plynu vs CZT

### 1.3 Přehled a porovnání vytopen na biomasu

Tabulku zrealizovaných projektů naleznete v příloze 1.

## 2. Technické a provozní charakteristiky

Ve městě Kašperské Hory byl systém zásobování teplem tvořen lokálními topidly a kotelnami pro jednotlivé domy, bytovky a areály. Palivo pro tyto zdroje bylo různorodé (uhlí, dřevo, olej, elektřina či propan), stejně jako je různorodá kvalita a obsluha jednotlivých zdrojů s dobře známým dopadem na ovzduší ve městě. Město je převážně obklopeno kopci, což zejména při inverzní situaci znamenalo velké problémy s přízemním kouřem. Čtyřmegawattová kotelna, která začala pracovat v září 2005, přišla na 82 milionů korun, za další čtyři miliony nakoupilo město automatický jeřáb pro manipulaci s palivem. Ke stavbě patří 6,5 kilometrů tepelného potrubí a celkem je napojeno 205 předávacích stanic. Město získalo výjimečnou státní podporu formou dotace ve výši 80% od Státního fondu životního prostředí, zbytek řeší patnáctiletým úvěrem spláceným z prodeje tepla. Město má 6100 hektarů vlastních lesů. Z nich je ale 4600 hektarů v Národním parku Šumava, odkud se nesmí dřevo svážet, nebo z hodně vzdálených míst.



Obr. 1. Realizovaný projekt teplovodní výtopny 4 MW, která je součástí systému centrálního zásobování teplem v Kašperských Horách. Výtopna je osazena plně automatickými teplovodními kotli firmy Schmid AG typu UTSR:

*legenda: 1. Dovoz dřevního paliva, 2. Hydraulický agregát, 3. Denní zásobník dřevěného paliva, 4. Hydraulický přímý dopravník, 5. a 6. Kotle Schmid typu UTSR, 7. Kontejner na popílek, 8. Kontejner pro popel, 9. Řídicí skříň elektronického řízení, 10. Řídicí pracoviště, 11. Oběhová čerpadla topné vody*





Obr. 2. Hydraulický agregát



Obr. 3 .Hydraulický přímý dopravník



Obr. 4. Kotle Schmid typu UTSR



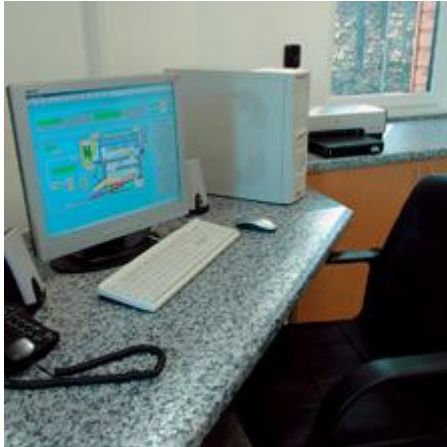
Obr. 5. Kontejner na popílek



Obr. 6. Kontejner na popel.



Obr. 7. Řídicí skříně el. řízení



Obr. 8. Řídicí pracoviště



Obr. 9. Oběhová čerpadla topné vody

## 2.1 Popis kotle a spalovacího zařízení

Kotel je zařízení sloužící k ohřevu vody, k výrobě páry z vody, resp. k ohřevu jiného média (např. oleje). Teplo se získává obvykle spalováním paliva tj. hmoty, ze které uvolňujeme teplo exotermickými chemickými reakcemi. V některých zvláštních případech odpadá spalování a k ohřevu teplotnosného média se využívá odpadního tepla (spalinový kotel) nebo elektřiny (elektrokotle).

Podle použitého paliva rozeznáváme kotle:

- na paliva tuhá,
- na paliva kapalná,
- na paliva plynná,
- na směsi paliv.

Podle způsobu spalování tuhých paliv rozeznáváme:

- kotle roštové (s klasickým roštem),
- kotle fluidní (s fluidním roštem),
- kotle práškové (granulační nebo výtavné).

Podle proudění vody rozeznáváme kotle s relativně velkým a s relativně malým vodním obsahem. Kotle s relativně velkým obsahem vody dělíme na plamencové, žárotrubné, příp. kombinované plamenco-žárotrubné. Jejich charakteristickým znakem je proudění spalin uvnitř plamenců a žárových trubek. Ohřívána voda proudí vně trubek. Kotle nemají cirkulační okruh.

Moderní kotle s relativně malým obsahem vody jsou tzv. kotle vodotrubné tj. s prouděním vody uvnitř trubek parního generátoru a prouděním spalin vně trubek.

Podle přetlaku páry se kotle dělí na kotle:



- nízkotlaké (od 0 do 0,07 MPa přetlaku vyrobené páry),
- středotlaké (od 0,07 do 6,4 MPa přetlaku vyrobené páry),
- vysokotlaké (od 6,4 MPa výše přetlaku vyrobené páry).

Zvláštním případem jsou kotle s nadkritickými parametry páry tj. tlakem páry nad 22,5 MPa. Podle způsobu zatížení rozeznáváme kotle špičkové, pološpičkové a základní.

## Paliva

Jak již bylo napsáno výše, jedno ze základních dělení kotlů je podle spalovaného paliva, které dělíme na základě skupenství paliva:

- tuhá,
- kapalná,
- plynná.

Paliva je možno také dělit podle jejich původu na fosilní (uhlí, ropa, zemní plyn), obnovitelné (především biomasa) a odpadní (odpadní plyny, komunální a průmyslové odpady, kaly z čistíren odpadních vod).

### Tuhá paliva

Základním tuhým palivem je uhlí, dále sem patří biomasa, zemědělské, průmyslové a komunální odpady. Složení tuhých paliv se určuje:

- hrubým rozbořem – při němž se stanoví poměrný obsah vody ( $W^r$ ) a popelovin ( $A^r$ ) a určí se výhřevnost paliva a prchavá a neprchavá hořlavina,
- elementárním obsahem hořlaviny, v němž se navíc ještě určují poměrné obsahy prvků hořlaviny.

Hrubý rozbor určuje poměr mezi hořlavinou ( $h$ ), popelovinou ( $A^r$ ) a vodou ( $W^r$ ) obsaženými v palivu.

### Voda v palivu

Snižuje výhřevnost paliva a je zdrojem řady potíží při dopravě paliva (způsobuje nalepování uhlí na dopravních cestách, v zimě zamrzá a způsobuje potíže při vyskladňování vagónů) i při samotném spalování. Voda odchází se spalinami ve formě vodní páry a zvětšuje tak objem spalin. Při poklesu teploty spalin pod hranici rosného bodu urychluje korozi kotle ze strany spalin. Čím je palivo geologicky starší, tím méně vázané vody obsahuje.

### Popelovina v palivu

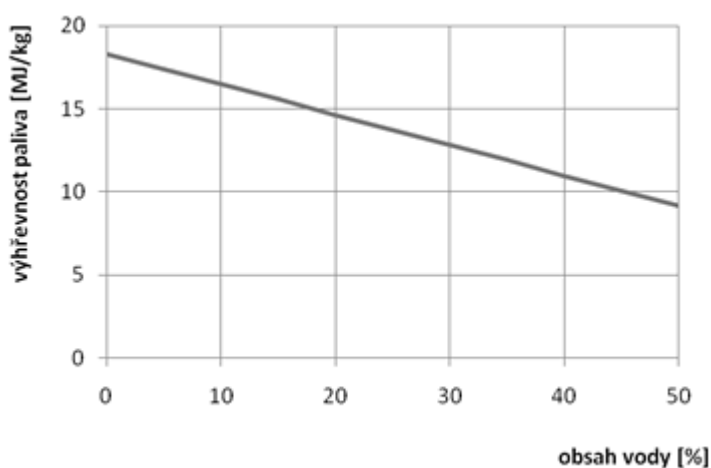
Jedná se o minerální látky (křemičitany, uhličitan, sírany a další) obsažené v tuhém palivu před jeho spálením. Spálením vzniká z popeloviny tuhý zbytek, kterému říkáme popel. Pro provoz kotlů jsou velmi důležité charakteristické teploty popele, které nám určují chování popele při různých teplotách. Jedná se o teplotu měknutí ( $t_a$ ), tavení ( $t_b$ ) a tečení ( $t_c$ ). Určování těchto teplot je dáno normou ČSN ISO 540.

Z praktického hlediska nám  $t_a$  určuje minimální teplotu, kdy začne docházet k nalepování popele na výhřevné plochy a tím ke zhoršení prostupu tepla ze spalin do media. Při překročení teploty  $t_c$  dojde k roztavení popele. Na charakteristické teploty popele má přímý vliv jeho složení (viz tab.).

<i>Prvky zvyšující charakteristické teploty popele</i>	
oxid křemičitý	SiO <sub>2</sub>
oxid hlinitý	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
<i>Prvky snižující charakteristické teploty popele</i>	
oxid železitý	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
oxid hořečnatý	MgO
oxid titaničitý	TiO <sub>2</sub>
oxid vápenatý	CaO
oxid fosforečný	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
oxid sírový	SO <sub>3</sub>
oxid manganato-manganitý	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
oxid sodný	Na <sub>2</sub> O
oxid draselný	K <sub>2</sub> O

Tab. 2. Vliv prvků na charakteristické teploty popele

### Hořlavina paliva



Obr. 10. Závislost výhřevnosti paliva na vlhkosti

Hořlavina je část paliva, která je nositelem tepla uvolněného spalováním. Jedná se o tyto prvky: uhlík, vodík a síra. Obsah síry v palivu je nežádoucí, neboť zvyšuje obsah SO<sub>2</sub> ve spalinách, výrazně zvyšuje rosný bod spalin a způsobuje snížení charakteristických teplot popele. Důležitou vlastností paliv je prchavá hořlavina. Je to část hořlaviny, která se uvolňuje při začátku spalování a v podstatě napomáhá vznícování paliva v ohništi a stabilizuje spalovací proces.

## Výhřevnost paliva

Nejdůležitější energeticko-ekonomickou vlastností paliva je informace o obsahu energie v palivu – výhřevnost. Výhřevnost ( $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) je teplo uvolněné dokonalým spálením 1 kg paliva při ochlazení spalin na  $20\text{ }^\circ\text{C}$ , přičemž voda ve spalinách zůstane v plynné fázi.

Výhřevnost se určuje výpočtem ze změřeného spalného tepla

$$Q_i^r = Q_s - r \cdot (W^r + 8,94 \cdot H_2) \quad [\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}]$$

kde

$W^r$  – obsah vody v palivu [–]

$r$  – výparné teplo vody [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]

$H_2$  – obsah vodíku v surovém palivu (z 1 kg vodíku vznikne 8,94 kg vody) [–]

Výhřevnost paliva kromě prvkového rozboru hořlaviny silně závisí na obsahu vody.

### 1.1.1 Druhy tuhých paliv

Dominantním energetickým palivem v České republice je uhlí. Základní dělení uhlí je podle stupně prouhelnění na rašelinu, lignit, hnědé uhlí, černé uhlí a antracit a uměle vyráběný koks. V našich podmínkách se nejčastěji využívá hnědé a černé uhlí. Porovnání vlastností jednotlivých typů uhlí je v tab.

	<b>dřevěné piliny</b>	<b>rašelina</b>	<b>lignit</b>	<b>hnědé uhlí</b>	<b>černé uhlí</b>	<b>antracit</b>
vlhkost[%]	16,5	20,0	33,3	23,4	5,2	7,7
prchavá hořlavina[%]	78,6	68,0	43,6	40,8	40,2	6,4
pevný uhlík[%]			45,3	54,0	50,7	83,1
popelovina[%]	5,2	12,0	11,1	5,2	9,1	10,5
spalné teplo [ $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]	9,9	21,0	16,5	21,4	29,2	34,7
teplota měknutí popele – $t_a$ [ $^\circ\text{C}$ ]		1120	1110	1149	1215	

Tab. 3. Hrubý a prvkový rozbor různých druhů uhlí

## 2.2 Energetická bilance

Obecně lze účinnost vyjádřit jako schopnost daného zařízení využít teplo uvolněné spalováním paliva k výrobě užitého tepla

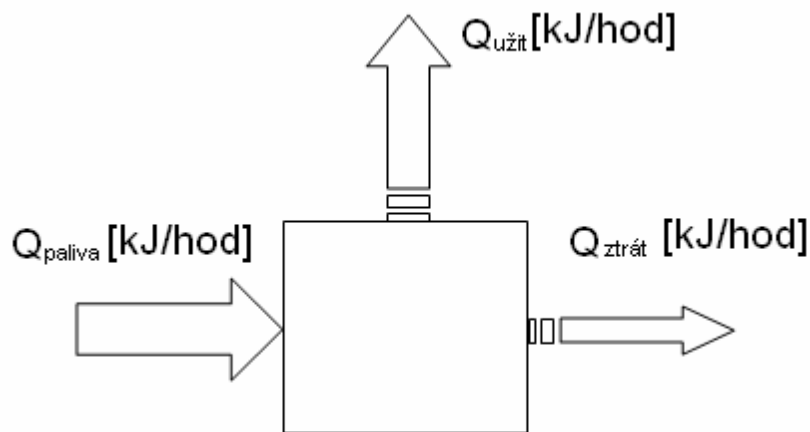
$$\eta_{\text{kot}} = \frac{Q_{\text{užit}}}{Q_{\text{paliva}}}$$

Kde  $\eta_{\text{kot}}$  je účinnost kotle [%]

$Q_{\text{užit}}$  je množství tepla dodané pro ohřev vody [kJ/hod]

$Q_{\text{paliva}}$  je teplo vnesené spalováním paliva [kJ/hod]

Účinnost zařízení ovlivňují tepelné ztráty za provozu, které vypovídají, jaké množství tepla uvolněného spalováním paliva nepřejde do výroby teplé vody, páry či jiného teplonosného média v parních nebo horkovodních kotlích (obr. 1).



Obr. 11. Schéma přestupu tepla

Pro stanovení termické účinnosti kotle lze použít metodu:

- přímou
- nepřímou

### Přímá metoda

Přímou metodu lze obecně použít pro zařízení, která spalují fyzikálně a chemicky stejnorodé palivo. Jako příklady lze zmínit kotle spalující zemní plyn, topné oleje a další produkty zpracování ropy. Účinnost se pak vypočítá ze vztahu:

$$\eta_{\text{kot}} = \frac{M_v(i_2 - i_1)}{M_{pv}Q_{nr}}$$

- Kde
- $M_v$  hmotnostní průtok vody [kg/s]
  - $i_2$  entalpie vody na výstupu [kJ/kg]
  - $i_1$  entalpie vody na vstupu [kJ/kg]
  - $M_{pv}$  spotřeba paliva [kg/s]
  - $Q_{nr}$  korigovaná výhřevnost paliva (pokud není spalovací vzduch ohříván z externího zdroje  $Q_{nr}=Q_n$ ) [kJ/kg]

$Q_n$  výhřevnost paliva [kJ/kg]

V rovnici jsou hodnoty čitatele snadno měřitelné. Při dodržení minimální požadované délky armatur před a za objemovým průtokoměrem jsou chyby měření nevýznamné. Stejně tak entalpie vody na vstupu a výstupu se určí z parních tabulek, při znalosti teplot a tlaku systému, s dostatečnou přesností. Z pohledu kotlů na biomasu velká nejistota ovšem panuje u obou hodnot ve jmenovateli. Přesné určení účinnosti touto metodou totiž vyžaduje přesné vážení vstupního materiálu a určení jeho výhřevnosti. Vážení z důvodů technologické složitosti i finanční náročnosti obvykle nebývá u zařízení instalováno. V technické praxi se často využívá objemového měření, avšak tento způsob je taktéž zatížen chybou, a to z důvodu heterogenního složení paliv. Rovněž určení výhřevnosti je problematické. Laboratorní stanovení hodnoty výhřevnosti nemusí být vždy spolehlivý údaj. Chyba může vzniknout například při odběru vzorku, jež by měl reprezentovat celý objem paliva.

### Nepřímá metoda

Problém s určením hmotnosti spáleného paliva odstraňuje nepřímá metoda. Zatím co u přímé metody byly dva parametry, jejichž hodnoty byly zatížené chybou, u metody nepřímé je nezbytná znalost pouze jednoho z parametrů, a to výhřevnosti paliva  $Q_n$  [kJ/kg]. V důsledku lze pak očekávat vyšší spolehlivost, resp. stabilitu výsledné hodnoty. Účinnost lze vyjádřit vztahem:

$$\eta_{\text{kot}} = 100 - \zeta_{MN} - \zeta_{CN} - \zeta_f - \zeta_k - \zeta_{SV}$$

Kde	$\zeta_{MN}$	ztráta mechanickým nedopalem [%]
	$\zeta_f$	ztráta citelným teplem tuhých zbytků [%]
	$\zeta_{CN}$	ztráta chemickým nedopalem [%]
	$\zeta_k$	ztráta citelným teplem spalin (ztráta komínová) [%]
	$\zeta_{SV}$	ztráta sdílením tepla do okolí [%]

### Ztráta mechanickým nedopalem $\zeta_{MN}$

Tato ztráta zohledňuje neúplné vyhoření uhlíku. Při spalování se z paliva uvolní prchavá hořlavina a následně odplyněný pevný zbytek, který je tvořen popelem a koksem (čistým uhlíkem). Spalování by mělo být voleno tak, aby nedocházelo k předčasnému vypadávání odplyněného zbytku z konce roštu a tím tak došlo k maximálnímu vyhoření uhlíku. Faktor značně ovlivňující tuto ztrátu je tedy obsah hořlaviny (uhlíku) v tuhých zbytcích (popelu a škváře).

### Ztráta citelným teplem tuhých zbytků $\zeta_f$

Ztráta citelným teplem tuhých zbytků zohledňuje fakt, že teplo absorbované ve škváře a popílku se při odloučení ze spalovacího prostoru již neúčastní přenosu tepla do horkovodní části kotle. Velikost této ztráty je značně závislá na množství popílku, škváry a jejich teplotách.

### Ztráta chemickým nedopalem $\zeta_{CN}$

U spalovacích procesů je požadavek na dokonalé spalování, při kterém jako výsledné produkty vznikají pouze produkty dokonalého spalování (např. oxid uhličitý, oxid siřičitý, vodní páry aj.) a značné množství tepelné energie. Ztráta chemickým nedopalem vyjadřuje

fakt, že spalovací reakce neprobíhají se 100% konverzí. Část vstupních surovin nezreaguje (vodík), popř. vzniknou produkty nedokonalého spalování, které neprodukují takové množství tepelné energie (např. oxid uhelnatý).

### **Ztráta citelným teplem spalin $\zeta_k$ (ztráta komínová)**

Tato ztráta se nejvýrazněji podílí na snižování termické účinnosti kotle. Hlavní parametry ovlivňující její velikost jsou množství spalin a jejich teplota. Nižší množství spalin je možno dosáhnout nízkým součinitelem přebytku vzduchu  $\lambda$ . Předpoklad pro dosažení nízkého součinitele  $\lambda$  je plynulá regulace otáček ventilátoru pro přívod vzduchu. Přebytek vzduchu lze rovněž snížit zavedením recyklu spalin, použitím pohyblivého roštu pro rovnoměrnou distribuci paliva a dobře nastaveným řídicím systémem. Při spalování biomasy v roštových kotlích se tento součinitel pohybuje okolo  $\lambda=2$ . Většího snížení této ztráty lze dosáhnout snížením výstupní teploty spalin (komínové teploty), a to například využitím předeřhřevu pro ohřev primárního a sekundárního vzduchu v rekuperačním výměníku. Jedním z limitujících faktorů snižování komínové teploty bývá ovšem obsah síry v palivu. Oxid sírový, jako produkt spalování, při kontaktu s kondenzující vodou ze spalin tvoří koncentrovanou kyselinu sírovou. To má za následek snížení životnosti kovového vybavení rekuperačního výměníku a komínové části.

### **Ztráta sáláním tepla do okolí $\zeta_{sv}$**

U každého energetického zařízení pracujícího v otevřeném systému dochází k přenosům tepla z povrchu zařízení do okolí. Zmírnit množství emitovaného tepla lze pouze zaizolováním jednotlivých částí kotle. Důležité je volit optimální tloušťku izolace. Se zvětšující se tloušťkou izolace roste i plocha výměny tepla, která může naopak způsobit i ztráty vyšší. Obecně se tloušťka izolací počítá tak, aby došlo k 80% úspoře tepla. Je proto zřejmé, že toto opatření vede i k vyšším pořizovacím cenám zařízení a je povětšinou nutné provést ekonomickou bilanci. Měření ztrát sdílením tepla do okolí je u průmyslových kotlů velmi obtížné.

## 2.3 Palivo a jeho logistika

Automatický mostový jeřáb s drapákovým nakladačem, zajišťuje automatickou manipulaci se štěpkou, sleduje a archivuje množství paliva i jeho teplotu. Palivo se příčným dopravníkem zavádí do zavážecího lisu, který vede do kotlů.



Obr. 12. Sklad paliva s mostovým jeřábem

V navržených zásobnících a skladech paliva v prostoru kotelny je k dispozici cca 1150 m<sup>3</sup> ve skladu (výška 4m) a dále 129 + 82 m<sup>3</sup> v denních zásobnících (výška 3m). Celkem max. 1361 m<sup>3</sup>, při hmotnosti 300 kg/m<sup>3</sup> je uskladněno max. 408 tun. Tyto maximální zásoby umožňují provoz kotelny v průměrném režimu na cca 17 dní, při trvalém špičkovém výkonu (4MW) na cca 8,5 dní, proto je nutno mít zajištěn plynulý přísun paliva z meziskladů či přímo od dodavatelů paliva.

Palivem může být nekontaminovaná dřevní hmota, vlhkost max.  $W = 50\%$ , hmotnostního podílu, měrná hmotnost 250 až  $350 \text{ kg/m}^3$ . Spalovat je možné následující dřevní palivo (samostatně i ve směsi).

<b>Kůra</b>	vlhkost	$W = 35 \div 50\%$
	velikost	průřez do $25 \text{ cm}^2$ , délka do 80 cm
	obsah popelovin	$A = 3 \div 8\%$
<b>Piliny</b>	vlhkost	$W = 35 \div 50\%$
	velikost	$1 \div 10 \text{ mm}$
	obsah popelovin	$A = 1 \div 5\%$
<b>Štěpka</b>	vlhkost	$W = 35 \div 50\%$
	velikost	$30 \div 100 \text{ mm}$
	obsah popelovin	$A = 1 \div 5\%$

Tab. 4. Druhy používaného paliva

Nevýhodou biomasy jsou především její logistické limity. Nelze ji pěstovat a spalovat na jediném místě. Naopak: její řízenou produkci je žádoucí lokalizovat co nejbližší k teplárnám, a to s ohledem na nezanedbatelné přepravní náklady obřích kvant materiálu. Při současných cenách motorových paliv do 50 km. Na fakturované ceně 1 t biomasy se „neproduktivní“ přepravní náklady mohou podílet až 40 %. Když je biomasa vypěstována a sklizena, vyžaduje bezpečné a ekologicky nezávadné skladování.

## Dřevní štěpka – zelená, hnědá, bílá

Dřevní, resp. lesní štěpka je strojně nakráčená a nadrcená dřevní hmota na částice o délce od 3 do 250 mm. Je získávána z odpadů lesní těžby a průmyslového zpracování dřeva nebo rychle rostoucích dřevin. Jedná se o velmi levné biopalivo určené pro vytápění větších budov. Podle kvality štěpky a dalších příměsí ji můžeme dělit na štěpku zelenou, hnědou a bílou.

### Dřevní štěpka ze zbytků lesní těžby

Jedná se o strojně zpracované těžební zbytky a kmínky z probírek na délku 50 až 250 mm. Obsah vody bezprostředně po těžbě dosahuje více než 55 %, objemová hmotnost se pohybuje okolo  $300 \text{ kg/m}^3$ . Obsah vody po přirozeném dosušení přes léto na slunném a větru vystaveném místě zpravidla klesá na 30 % při objemové hmotnosti kolem  $250 \text{ kg/m}^3$ . Výhřevnost je vysoce závislá na obsahu vody, její hodnotu můžeme uvažovat v rozmezí 8 až 12 MJ/kg.

Na trhu se objevuje několik druhů dřevní štěpky, především:

### Zelená štěpka (lesní)

Štěpka získaná ze zbytků po lesní těžbě. Lze v ní nalézt nejen části drobných větví, ale také listí, případně jehličí – proto zelená štěpka. Tím, že se zpracovává čerstvá hmota, je vlhkost této štěpky vysoká.



## Hnědá štěpka

Štěpka získaná ze zbytkových částí kmenů, pilařských odřezků apod. Sjednocujícím prvkem je obsah kůry. Dříví totiž nebylo před zpracováním odkorněno, lze tedy na jednotlivých štěpkách rozpoznat části kůry.

## Bílá štěpka

Štěpka získaná z odkorněného dříví, obvykle odřezků při pilařské výrobě. Ani na jednotlivých štěpkách se již nenachází kůra (na rozdíl od štěpky hnědé). Využívá se především pro výrobu dřevotřískových desek.

## Dřevní štěpka ze zbytků z průmyslového zpracování dřeva

Strojně zpracovaný odpad průmyslového zpracování dřeva na délku 3 až 15 cm. Obsah vody z pilařských odpadů bývá kolem 45 %, z truhlářské výroby kolem 15 %. Výhřevnost 9 až 16 MJ/kg.

## Využití štěpky

Štěpku lze používat ve vyšší výkonové škále kotlů a kamen v rodinných domech a ve větších budovách. Vzhledem k povaze paliva jde o zcela čistý a OZE bez přidané energie (např. na sušení nebo lisování), což se projevuje v nízké pořizovací ceně za palivo.

V kotlích na spalování dřevní štěpky je možno spalovat nestlačenou, volně loženou dřevní štěpku zpracovanou na drobnu (štěpkovačem nebo drtičem) z dřevních zbytků z lesní těžby, pil, apod. Podle velikosti a výkonu kotle a doporučení výrobce lze využívat štěpku hrubší o nestejně frakci vyrobenou v kladivových drtičích nebo jemnější štěpku vyrobenou v nožových štěpkovačích.



Obr. 13. Dřevní štěpka vyrobená nožovým štěpkovačem



Obr. 14. Dřevní štěpka vyrobená kladivovým drtičem

### **Skladování a manipulace se štěpkou**

Pro skladování dřevní štěpky potřebujeme díky její nízké objemové hmotnosti prostornější sklady, velkoobjemová síla, nebo haly. V případě instalace kotle na štěpku v rodinném domě je potřeba počítat s odpovídajícími prostorami např. ve sklepě pro min. 50 m<sup>3</sup> štěpky. Ve skladu musí být především zaručeno nezbytné provětrávání. Palivová štěpka má vyšší obsah vody, je náchylná k plesnivění a zapařování, což by mohlo v uzavřených místnostech vést k riziku samovznícení. Dostatečné provětrávání skladu nám zajistí i dosoušení štěpky během skladování. Uskladnění přímo ve vytápěných obytných budovách bez účinného provětrávání skladu se nedoporučuje, v některých zemích je přímo zakázáno. Při skladování většího objemu dřevní štěpky je potřeba dimenzovat vstup do skladu pro dopravní a manipulační techniku.

Vlastní přikládání dřevní štěpky je nejčastěji řešeno šnekovým dopravníkem, popř. pomocnými hrably z blízkého skladu paliva. V případě vytápění většího objektu je menší objem štěpky do kotle dopravován šnekovým dopravníkem z meziskladu, který je dle aktuální potřeby doplňován větším pásovým dopravníkem nebo kolovým manipulátorem z centrálního skladu štěpky.

### **Doporučení při nákupu štěpky**

Dřevní štěpku si může spotřebitel v malých objemech připravit sám vhodným drtičem, lze využívat např. biomasu rychle rostoucích dřevin nebo zbytky stromů. Při potřebě většího množství paliva je doporučeno obrátit se na dodavatele dřevní štěpky – těžářské firmy, distributory paliv, majitele lesů, pil, dřevozpracujícího průmyslu, správce státních lesů, apod. Dřevní štěpka je dodávána zpravidla podle smluvních závazků v dodacím listu, kde by měla být popsána velikostní struktura, čistota a zejména obsah vody ve štěpce.

Dřevní štěpka zatím není klasickým palivem s rozvinutou sítí dodavatelů pro malospotřebitele.

## **Základní technické parametry štěpky**

- výhřevnost : 8 až 15 MJ/kg
- váha / objem : kolem 250 kg/m<sup>3</sup>
- vlhkost : 15 - 50 %

## **Logistika při energetickém využití rostlinné biomasy**

Návrh logistických řetězců vychází ze znalosti mnoha parametrů rostlinných surovin, které jsou často odlišné od stabilních vlastností průmyslově využívaných materiálů. Z hlediska logistiky je to zejména dlouhá doba výrobního cyklu, který má sezónní charakter, schopnost rychlé degradace surovin při nevhodném způsobu nakládání s nimi a v neposlední řadě široká škála surovin, jejichž vlastnosti se vzájemně značně liší a mění v závislosti na okolních vlivech.

Energetické využívání rostlinné biomasy je souhrnný systém technických, ekonomických a ekologických aspektů. Logistika je reálnou součástí těchto provozů a přispívá významným podílem k jeho funkčnosti a efektivitě. Z hlediska logistiky je ale tato oblast poměrně specifická.

### **Specifická problematika**

Z hlediska logistického řízení je problematika využívání biologických surovin oblastí specifickou, kde některé zásady aplikovatelné v oblasti průmyslových výrobků nebo nebiologických surovin nelze uplatnit. Hlavním důvodem je dlouhá doba výrobního cyklu, který má sezónní charakter, schopnost rychlé degradace surovin při nevhodném způsobu nakládání s nimi a v neposlední řadě široká škála surovin, jejichž vlastnosti se vzájemně značně liší a mění v závislosti na okolních vlivech.

Těmto faktům musí odpovídat vlastnosti použitých technologií pro produkci a spotřebu a v potaz musí být brány i při logistickém řešení. To musí být bezpodmínečně podepřeno jednoznačně vyjasněnými vztahy mezi odběrateli a dodavateli, dostatečnou akumulací kapacitou, která vyrovná nerovnoměrnosti získávání vstupní suroviny v průběhu roku a musí být schopno reagovat na možné změny.

### **Zohlednit místní poměry**

Dále je pro návrh logistického řetězce důležité charakterizovat oblast, kde budou suroviny získávány. Z těchto vlastností je nejdůležitější znát:

- podíl zemědělské půdy
- případně podíl lesních pozemků nebo jiných důležitých zdrojů
- kapacitu surovin z jiných zdrojů (odpady, zbytkové suroviny atd.)
- množství nepoužitelné produkce (spotřeba surovin zemědělskou výrobou, spotřeba v jiných provozech, nerentabilní produkce, ztráty)

Další vlastnosti lze ze zadaných parametrů stanovit výpočtem:

- potřebu paliva
- velikost nasávací oblasti
- velikost svozové oblasti
- střední dopravní vzdálenost
- minimální skladovací kapacita

### **Spotřeba rostlinných surovin**

Pro funkční systém energetického využití rostlinných surovin musí být zajištěn bezproblémový přísun vstupních surovin v potřebném režimu (bez ohledu na to, jestli se jedná o kotelnu, bioplynovou stanici nebo jiný typ provozu) a zároveň musí být zajištěno systematické nakládání se zbytkovými surovinami (popel, digestát) za dodržení podmínek kladených platnou legislativou a zásad ochrany životního prostředí.

Termín a místo, kde je možné většinu vstupních surovin získat, se zpravidla neshoduje s termínem a místem spotřeby. Získávání většiny rostlinných surovin je sezónní záležitost, termínově umístěná v teplejší části roku, zatímco jejich využívání v lepším případě v průběhu roku mírně kolísá v závislosti na nejrůznějších faktorech, většinou však má rovněž sezónní charakter. Vyšší spotřeba ovšem termínově pokrývá studenější část roku.

### **Parametry a charakteristiky**

Při návrhu logistického řetězce pro konkrétní projekt využití rostlinné biomasy k energetickým účelům je nutné vycházet z parametrů provozovny, která bude tuto biomasu využívat, z vlastností potenciálních zdrojů a charakteristiky oblasti, kde bude projekt realizován. Přehled o základních parametrech je nutné mít již ve fázi plánování projektu. Nejdůležitější vlastnosti z hlediska spotřeby (např. spalovací zařízení) jsou:

- typ provozu (stručná charakteristika provozu, využití a typ hlavního zařízení, např. kotle)
- instalovaný výkon zařízení
- účinnost transformace
- roční provozní doba

Dále je nutné znát stručnou charakteristiku používaných surovin. Minimálně je nutné znát tyto vlastnosti:

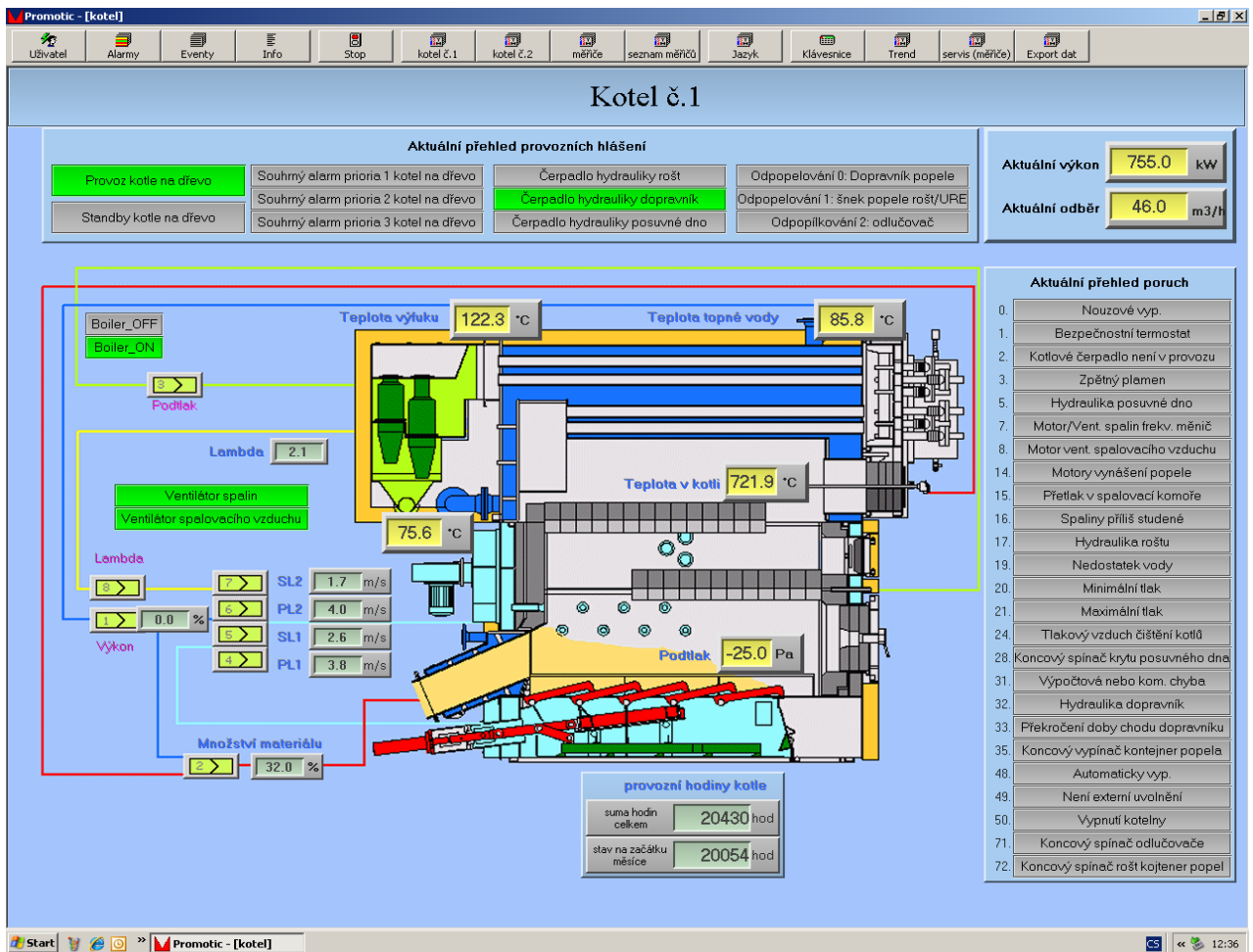
- typ surovin (stébelniny, dřeviny, odpady, kombinace)
- formy používaných surovin (balíky válcové nebo hranolové, štěpka, brikety, pelety, atd.).
- maximální přípustný obsah veškeré vody
- sypnou hmotnost, případně další dopravně-manipulační vlastnosti
- výnos (v závislosti na půdně klimatických podmínkách, charakteru udržovaných porostů, případně jiných místních vlivech)
- energetické vlastnosti

## 2.4 Provoz kotle

Kotelna se zázemím je vybudována v části areálu městské pily. V kotelně jsou instalovány dva třítahové žárotrubné kotle s přesuvným roštem Schmid na spalování biomasy, K 1 o jmenovitém instalovaném výkonu 1 600 kW, K 2 o výkonu 2 400 kW. Kotle umožňují spalovat ojedinělé kusy dřeva do průměru 100 mm, max. délky 600 mm. Každý kotel je vybaven vlastním odlučovačem tuhých znečišťujících látek (TZL) - multicyklonem. Odlučovač je upevněn na kotel jako kompaktní těleso. Odvod spalin z kotle zajišťuje spalinový ventilátor, jímž je současně regulován podtlak v kotli.



Obr. 15. Kotle UTSR



Obr. 16. Zobrazení kotle v editoru PROMOTIC

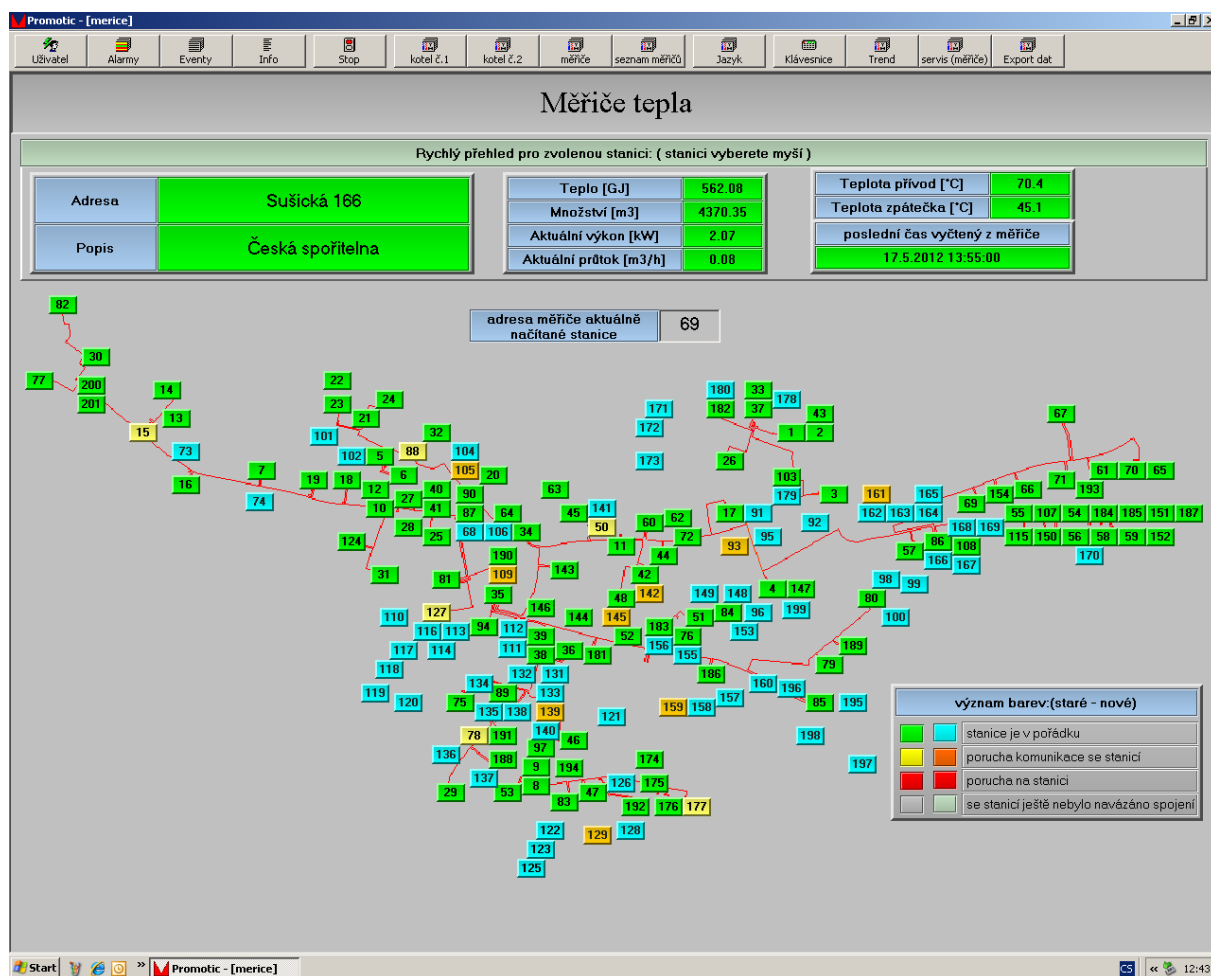
Oba dva kotle jsou řízeny z řídicího pracoviště pomocí PROMOTIC programu. PROMOTIC je komplexní SCADA objektový softwarový nástroj pro tvorbu aplikací, které monitorují, řídí a zobrazují technologické procesy v nejrůznějších oblastech průmyslu. V systému PROMOTIC jsou zabudovány všechny nezbytné komponenty pro tvorbu jednoduchých i rozsáhlých vizualizačních a řídicích systémů. Díky tomu dosahuje účinnost obou kotlů závratných 87%.

## 2.5 Distribuční síť

Tepelná síť je řešena jako předizolovaný, sružený dvoutrubkový potrubní systém ISOPLUS v bezkanálovém provedení s topným médiem (teplá voda) o parametrech 110/70 °C a max. přetlakem 1,0 MPa. Tyto parametry jsou určeny především pro zimní, tedy topné období a dle provozních podmínek kotelny je možno v letním období, tj. v případě otopu pouze TUV, snížený na 90/60 °C. Celkový počet stanic ve městě je 205 kusů a celkový instalovaný výkon cca 4 MW.

V případě kdy chceme připojit vzdálenější objekt, hraje významnou roli délka přípojky, je proto nutno zvážit, zda-li se spíše nevyplatí takto vzdálené objekty připojit na samostatné zdroje, např. kotle na pelety. U obcí, kde je nutné vést dlouhé tepelné rozvody, není CZT z důvodu významně vyšších pořizovacích nákladů na rozvody ekonomicky výhodné, přestože

zde dochází celkově k nižším emisím než u kotlů individuálního vytápění, tento rozdíl však není příliš významný. Proto lze u obcí s řídkou zástavbou, nebo pro doplnění systému CZT u vzdálenějších objektů doporučit individuální vytápění na biomasu.



Obr. 17. Schéma distribuční soustavy Kašperský Hory v editoru PROMOTIC

### 3. Faktory ovlivňující efektivitu a účinnost výtopny

#### 3.1 Energetické, environmentální a ekonomické hodnocení výtopny

Biomasa je obnovitelným zdrojem energie, tzn. při racionálním využívání nevyčerpatelný. V souvislosti s využíváním energetické biomasy se rozumí rostlinnou biomasou především dřevo a různorodý dřevní odpad, resp. jiné energetické rostliny vhodné pro spalování v různých topeništích. Pozitivní vliv biomasy na globální ekosystém je všeobecně známý. Uhlík „putuje“ globálním ekosystémem, protože je získáván fotosyntézou z atmosféry (z oxidu uhličitého) a je součástí rostlinné tkáně. Rostlinná biomasa se stává dílčím skladem uhlíku při svém růstu i po její těžbě. Pokud je biomasa využívána pro energetické účely, spálením se uhlík dostává do atmosféry a může být opět uložen do rostlinné tkáně, resp. může být také vdechnut do těl živočichů. Produkty vznikající spalováním biomasy jsou vráceny zpět do čistého koloběhu a jsou tedy vůči člověku přátelské.

Jako příklad, zde uvedu výsledky autorizovaného měření, které se konaly dne 9.2.2012, měření provedla HF – ENERGO, spol. s r.o. Analýza bylo provedena pro vztažné podmínky: suchý plyn, NP (101 320 Pa; 0°C), 11% O<sub>2</sub>.

Znečišťující látka[mg/m <sup>3</sup> ]	Průměrná hodnota [mg/m <sup>3</sup> ]	Emisní limit [mg/m <sup>3</sup> ]
CO	34	650
NO <sub>x</sub>	151	650
SO <sub>2</sub>	1	2500
TZL	56	250

Tab. 5. Stanovení vyprodukovaných emisí pro kotel K 1

Znečišťující látka[mg/m <sup>3</sup> ]	Průměrná hodnota [mg/m <sup>3</sup> ]	Emisní limit [mg/m <sup>3</sup> ]
CO	29	650
NO <sub>x</sub>	139	650
SO <sub>2</sub>	1	2500
TZL	77	250

Tab. 6. Stanovení vyprodukovaných emisí pro kotel K 2

Jak můžeme vidět, výtopna v Kašperských Horách splňuje emisní limity víc než dostatečně. V případě oxidu siřičitého až 2500krát méně než vyžaduje norma. Vzhledem k tomu, že město Kašperské Hory sídlí v údolí obklopeném ze všech stran kopci, je dobrá kvalita ovzduší velmi potřebná, protože zejména při inverzi dřív docházelo k velmi nepříjemnému tvoření přízemního kouře. Díky kontrolovanému spalování ve větším zařízení jsou celkové emise nižší, než by byly v případě individuálních topenišť. Ke zlepšení imisní situace přispívá i to, že výtopna má vyšší komín, než mají jednotlivé domy, takže rozptyl emisí je lepší. Z hlediska globálního oteplování nemá biomasa žádný negativní vliv, na rozdíl od plynu nebo jiných fosilních paliv.

Nejcitlivějším faktorem, který ovlivňuje cenu vyráběného tepla je cena, resp. dostupnost paliva. Dále se projevuje faktor, kdy dochází postupem času k zateplování napojených objektů s dopadem na snížení dodávaného množství tepla a menšímu využití zdroje, tento faktor se projevuje u větších instalací, kde je napojeno více rozsáhlých objektů pro bydlení, které je jednoznačně ekonomické zateplit. Je proto velmi žádoucí věnovat pozornost při dimenzování zdroje i stavu napojených konstrukcí a předpokládanému vývoji.

K dostupnosti paliva lze říci, že kromě využití místních zdrojů většinou z pilařských závodů, truhláren, případně odpadní biomasy z prořezávek, většina provozovatelů nakupuje biomasu, zejména štěpku od dopravců, kteří takto vytěžují kamiony. Některá CZT mají problém s dostupností dostatečného množství biomasy, což se pak negativně odráží na prodejní ceně vyrobeného tepla, neboť cena dopravy je pro cenu paliva rozhodující. V průměru se paliva dováží z okruhu do 20-50 km, v případě dopravců, kteří vytěžují a jsou tak schopni nabídnout i nižší cenu, je palivo dováženo i z větších vzdáleností. Cena nakupované štěpky se přímo odvíjí od její vlhkosti. Vyspělý systém plateb aplikuje společnost TEZA Brno, kdy je za palivo placeno v závislosti na množství vyrobeného tepla, které se přímo odvíjí od kvality dodané biomasy.

Produkce a využití biomasy vytváří nová pracovní místa a posiluje místní ekonomiku – peníze vynakládané za fosilní paliva jdou mimo obec a v případě biomasy zůstávají v obci



nebo v regionu. Plantáže vytrvalých plodin a dřevin mohou při vhodném umístění sehrát pozitivní roli při ochraně proti vodní a větrné erozi.

### 3.2 Palivové hospodářství

Je zcela zřejmé, že pro efektivní využití biomasy procesem spalování nelze akceptovat nějaké univerzální zařízení. Je třeba respektovat specifika, kterými se biomasa vyznačuje, zejména vysoký podíl prchavé hořlaviny, nízká teplota tavení popelovin nebo struktura která bez mechanického narušení pomalu odhořívá. Dle výkonové kategorie, typu spalovacího zařízení, úrovně komfortu pro uživatele a druhu použité suroviny je nutné, zejména pro zařízení s nižšími výkony, biomasu dále upravit na palivo se zaručenými vlastnostmi (obsah vody, mechanické vlastnosti, zrnitost, apod.) do podoby pelet, briket, štěpky, balíků apod. V případě větších výkonů se logicky vzhledem k nákladům na dopravu volí spalovací zařízení dle dostupnosti konkrétní suroviny v místě spotřeby.

Biomasa je produktem fotosyntézy rostlin, při kterém nabývá různých forem. Pro energetické využití jsou vhodné hlavně dřevnatějící a vláknité tkáně a obaly (dřevo, stonky, listy). Emise z biomasy jsou výrazně nižší než u fosilních paliv. Obsah těžkých kovů v palivech z biomasy je téměř nulový. Energie obsažená v biomase je 8 -16 MJ/kg. Biomasu lze podle typu využít buď pro spalování, nebo ji biochemicky přeměnit (kvašením) na další ušlechtilá biopaliva jako je bioplyn, bionafta nebo etanol.

V současnosti je u nás nejlépe dosažitelná tzv. zbytková biomasa, což jsou sklizňové zbytky v zemědělství a dřevní odpad v lesnictví. Dalším zdrojem biomasy jsou plantáže energetických plodin (topoly, vrby, příp. rostliny), které mohou být zakládány i na nevyužitých zemědělských půdách nebo na půdách devastovaných lidskou činností (sklárky, výsypky, kontaminované půdy). Popel ze spalování biomasy je použitelný jako hnojivo.

<b>Druh paliva</b>	<b>Charakteristika paliva</b>
Dřevo	nejlevnější palivo, podmíněno velkou pracností, nutnost velkých skladovacích ploch, vlhkost
Obilí	dobrá alternativa, nízký stupeň obsluhy, závisí na aktuální úrodě a cenách obilí pro potravinářské účely
Rostlinné pelety	velmi dobrá alternativa, nízký stupeň obsluhy, dobrá regulovatelnost, zatím omezené zdroje rostlinných pelet, vysoká investiční náročnost kotle
Dřevěné pelety	dobrá alternativa, nízký stupeň obsluhy, vynikající regulovatelnost, vysoká investiční náročnost kotle
Dřevěné brikety	vyšší podíl obsluhy, vyšší cena - použití spíše k přitápění v kamnech nebo v krbech
Štěpka	nutnost větších skladovacích prostor, investičně náročnější technologie, ekonomicky výhodnější až pro větší instalace (od 50 kW)

Tab. 7. Přehled paliv a jejich charakteristika

## **Mechanismus a podmínky dokonalého spalování biomasy**

Mechanismus hoření dřeva (obecněji biomasy) začíná ohřevem paliva a jeho vysoušením za zvýšené teploty v ohništi. Dřevo obsahuje při těžbě 40 % (zimní) až 60 % (letní těžba) vlhkosti, která se odparuje při zahřívání na vyšší teplotu až po teplotu bodu varu. Teplota bodu varu při normálním tlaku je 100 °C, ve vnitřních vrstvách polen však musí vznikající pára překonávat odpor kompaktní dřevní hmoty než-li se dostane na povrch polena. Potřebný zvýšený tlak páry však současně zvyšuje bod varu vody, takže ve vnitřních vrstvách polen dojde k odpaření až při teplotách téměř 150 °C. Stoupající teplota přehřáté vody, která je vyšším tlakem udržována v kapalném stavu i během pokračujícího ohřevu v topeništi neustále zvyšuje tlak až do porušení soudržnosti dřeva vznikem trhliny. Právě vzniklou trhlinou však unikne malá část přehřáté vody, která se však při expanzi do nižšího tlaku explozivně vyparuje. Objem páry je totiž 1250krát větší než objem vody. Tím se však sníží tlak a veškerá přehřátá voda se velmi rychlým explozivním způsobem přejmenuje na páru. Tento jev je doprovázen výraznými zvukovými efekty, které známe jako praskání dřeva při spalování. Má-li dřevo jemnou granulaci např. piliny nebo pórovitou strukturu jako pelety a brikety, jsou tlakové a zvukové efekty výrazně potlačeny, takže při spalování pelet neuslyšíme praskání typické pro spalování polen.

Voda obsažená ve vlhkosti paliva je uvnitř buněk dřeva však nedovolí další ohřev nad teplotu aktuálního bodu varu. To je významné pro pokračování mechanismu hoření, který vyžaduje další postupné zvyšování teploty. Teplotní prodleva na bodu varu v intervalu 100 – 150 °C proto bude probíhat až do úplného odpaření vlhkosti paliva. Jelikož množství tepla na odpaření vody je relativně velké ( $2500 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) a je přibližně 5× větší než-li teplo potřebné pro ohřev vody z 0 °C na 100 °C, bude odparování vlhkosti spotřebou tepla účinně blokovat další postup mechanismu hoření, který začíná při 150 °C uvolňováním prchavé hořlaviny označované symbolem V (Volatils). Prchavá hořlavina je směsí plyných lehkých uhlovodíků uvolňovaných při teplotě přesahující 150 °C z tuhé hmoty dřeva. Jelikož objem prchavé hořlaviny je výrazně vyšší než-li objem dřeva, uniká prchavá hořlavina jednotlivými póry povrchu dřeva vysokou rychlostí, mísí se s okolním vzduchem a vytváří hořlavou směs. Po vznícení směsi aktivační teplotou přibližně 500 °C dochází vznikem tepla při hoření k zapálení celého objemu vzniklé směsi hořící plamenem o teplotě 500 – 1000 °C. Ohřevem hořících plynů na teplotu plamene však dochází k expanzi plynů související s objemovou roztažností. Při teplotě 1000 °C je objem hořících plynů téměř 5× větší, což vyvolá vztlakovým prouděním intenzivní „šlehání“ plamenů směrem vzhůru. Tímto vztlakem však dojde současně k nasávání dalšího okolního vzduchu k prchavé hořlavině unikající z polen intenzivně ohříváných plamenem. Tím dochází k trvalé tvorbě hořlavé směsi a stabilnímu hoření dřeva.

### **Mechanismus hoření na otevřeném ohništi**

Jednotlivé proudy prchavé hořlaviny unikající z povrchu polen dřeva splývají v souvislý plyný proud stoupající vzhůru, do něhož se z vnějšího okolí mísí vzduch. Tento difúzní mechanismus vytváří turbulentní difúzní plamen kuželovitého tvaru s hořícím povrchem a nehořícím středovým kuželem, kam se vnější vzduch dostává až postupně s narůstající výškou plamene. Při nedostatku vzduchu však prchavá hořlavina ve formě hořkých plynů uvnitř plamene nehoří, ale termicky se rozkládá na lehcí uhlovodíky až vodík a tuhou fázi uhlíku velmi jemně dispegevanou.

Velmi jemné částičky uhlíku se prakticky okamžitě ohřívají na vysokou teplotu plamene a protože mají přibližně 10x větší emisivitu než-li plyny v plameni, vytvoří svítivý plamen. Podle teploty plamene a uhlíkových částiček je příslušná barva temně rudá (600 °C), oranžová (800 °C) až oslnivě bílá (nad 1000 °C). Hoření tuhého uhlíku probíhá daleko pomaleji než-li hoření plynu, neboť musí probíhat protisměrná difúze kyslíku směrem dovnitř uhlíku a po reakci difúze oxidu uhelnatého směrem ven. Teprve vně, mimo uhlíkové částičky, dochází k dokonalému spálení oxidu uhelnatého na oxid uhličitý. Tento popsaný mechanismus je relativně pomalý a jeho logickým důsledkem je dlouhý a svítivý plamen typický pro fázi hoření prchavé hořlaviny na otevřeném ohništi. V radě případů je tento dlouhý a svítivý plamen např. v případě táboráku žádoucí, méně žádoucí je však v krbu nebo topeništi, neboť dokonalost hoření a účinnost spalování přísáváním okolního vzduchu a ochlazováním dlouhého svítivého plamene rychle klesá.

Po vyhoření prchavé hořlaviny, která tvoří až 80 % hořlaviny dřeva zbývá tuhý zbytek paliva. V případě dřeva je to v podstatě dřevené uhlí, v případě uhlí koks. Tuhý zbytek hoří zcela odlišným způsobem od prchavé hořlaviny. K tuhému zbytku ve vrstvě je přiváděn kyslík ze vzduchu, který reaguje s uhlíkem na oxid uhelnatý hořící nad tuhým zbytkem. I když se jedná o obdobný difúzní mechanismus jako při spalování prchavé hořlaviny, probíhá v zásadě odlišným měřítku, neboť tuhý zbytek má relativně hrubou kusovost. V důsledku rychlého mísení oxidu uhelnatého se vzduchem je hoření na oxid uhličitý rychlé. Důsledkem je krátký modravě průhledný plamen. Jelikož v plameni nevznikají svítící uhlíkové částičky je tento plamen nesvítivý. Právě tento modravě průhledný krátký nesvítivý plamen nad vrstvou žhnoucího tuhého zbytku je typickým projevem této fáze hoření.

Rychlost hoření je v uvedeném mechanismu určována difúzními jevy přívodu kyslíku k tuhému zbytku. Jelikož na otevřeném ohništi je přiváděn vzduch z bočních stran, je tato fáze pomalá a hoření nedokonalé. V závěrečné fázi hoření vznikne v důsledku ochlazení plamene a nízké teploty již jen omezeně reagující temná povrchová vrstva tuhého zbytku kryjící vnitřní ještě žhavé vrstvy tuhého zbytku s dostatečně vysokou teplotou. V obou případech však dochází k nedokonalému hoření s nízkou účinností, neboť v povrchové vrstvě s dostatečným přívodem kyslíku je nízká teplota, ve vnitřních vrstvách s vysokou teplotou však schází potřebný kyslík. Z vnějšího pohledu hoří v této fázi dohořívání otevřený oheň nestabilně a přechází ve fázi nízkoteplotních reakcí formou „doutnání“.

Z popsaného mechanismu hoření dřeva na otevřeném ohništi je zřejmé proč dokonalost a účinnost hoření na tomto typu spalovacího zařízení je velmi nízká a nepřesahuje optimistických 20 %. Složitost a náročnost jednotlivých postupných fází hoření jednoho paliva (vysoušení s vysokou energetickou spotřebou bez vlastní generace tepla), intenzivní hoření prchavé hořlaviny dlouhým a svítivým plamenem zásobující energií i fázi vysoušení a závěrečné dohořívání tuhého zbytku krátkým nesvítivým plamenem. Všechny 3 děje však zajišťujeme jediným přiložením palivového dřeva a vlastní průběh jednotlivých fází hoření již probíhá samovolně.

Konstrukce topeniště vyhovující všem popsaným fázím hoření v radě případů s protichůdnými požadavky je proto náročným problémem podmiňujícím efektivní energetické využívání dřeva, neboť nízká účinnost a dokonalost hoření na otevřených ohništích je v současné době ve větším měřítku nepřijatelná jak energeticky (vysokou spotřebou paliva při nízké účinnosti), tak ekonomicky (vysoké náklady na palivo) i ekologicky (nepřijatelné emise nespálených polycyklických aromatických uhlovodíků a oxidu uhelnatého). Souhrnně lze konstatovat, že nízká účinnost hoření na otevřených ohništích by neumožnila dynamický

rozvoj průmyslové revoluce, která by neměla dostatek paliva pro kotle a tím ani páry pro parní stroje. Výrazné 3 – 5 násobné zvýšení účinnosti hoření v uzavřeném topeništi s roštem jako primární energetická transformace nejen snížila spotřebu nedostatkového palivového dřeva, ale dokonalejším hořením při vyšší reakční teplotě plamene umožnila využití dalších paliv a z nich především uhlí. Za názornou dokumentaci slouží skutečnost, že do průmyslové oblasti Kutnohorska (těžba rud, produkce stříbra a ražba mincí) bylo dřevo pracně a náročně dopravováno plavením po řekách až ze 100 km vzdálených Krkonoš a Orlických hoř. Rovněž vyšší produkce dřeva v uměle vysazovaných lesích jak je dnes běžné, započala v závěru 18. století, což znamená, že při těžebním stáří 100 – 120 let tehdy nově vysazovaných smrků jsou současné smrkové lesy druhou až třetí generací stromu, listnaté lesy s těžebním stářím 200 let jsou v první až druhé generaci stromu.

### **Mechanismus hoření dřeva v uzavřeném topeništi na roštu**

Litínový rošt jako jeden z prvních produktů rozbíhající se průmyslové revoluce ve svém důsledku umožnil její úspěšný start. Vynález uzavřeného topeniště s roštem zásadním způsobem změnil ne mechanismus, ale podmínky hoření paliva na roštu. Omezením spalovacího vzduchu z minimálně pětinasobku přebytku spalovacího vzduchu typického pro otevřená ohniště na pouhý dvojnásobek výrazně zvýšil praktickou spalovací teplotu plamene. Oxidační reakce hoření při zvýšené teplotě probíhaly rychleji a tím i dokonaleji. Rovněž rovnoměrnější přívod vzduchu přes rošt pod celou vrstvu hořícího paliva (nikoli pouze po obvodě) zlepšil podmínky mísení. Tato skutečnost je významná především pro zlepšení koncentrační podmínky hoření, neboť část spalovacího vzduchu přiváděná pod rošt umožní mísení prchavé hořlaviny se vzduchem v celé vrstvě paliva, čímž omezí termickou disociaci za vzniku tuhé fáze uhlíku ve prospěch plynné fáze.

Praktický důsledek je výrazně rychlejší průběh hoření homogenní směsi plynu oxidu uhelnatého, vodíku a uhlovodíků ve směsi se vzduchem, která se projeví nižší svítivostí plamene, a dokonalejším hořením s vyšší účinností a teplotou plamene. Důsledkem změněných a dokonalejších podmínek hoření byl nárůst účinnosti na 60 – 65 %, což je přibližně 5× více než u otevřených ohnišť. I při komplikovanějším přestupu tepla při vaření potravin na plotně z litinových tálů bez přímého styku varných nádob s plamenem, typickým pro otevřená ohniště černých kuchyní, došlo k úspoře 50–60 % dřeva (paliva), což dalo vznik názvu sporák.

Tyto nové bezesporu na tehdejší dobu převratné podmínky hoření však byly stále daleko k dokonalému hoření, jak dokumentují kouřící komíny obrazů a kreseb z průmyslové revoluce.

Pro zdokonalené hoření v uzavřeném topeništi na roštu je však nutné respektovat určité podmínky odpovídající mechanismu hoření. Vlhké a studené palivo nesmí být přikládáno na vrstvu paliva na roštu, neboť hořící plynná směs se na studeném a vlhkém palivu ochladí pod 500 °C, čímž se zpomalí rychlost reakce, která se při výraznějším ochlazení zastaví a plamen uhasne. Prchavá hořlavina a oxid uhelnatý uvolňovaný hořícím palivem po ochlazení studeným vlhkým přiloženým palivem zhasne a z kondenzuje na mlhovinu, která se v odtahu topeniště a komínu s nižší teplotou již nevznítí.

Při přikládání je nutné respektovat postupné fáze hoření a přiložit vlhké a studené palivo na kraj roštu, vysušené palivo z předcházející dávky přiložení již předehřáté a vysušené posunout do střední části roštu, kde bude hořet uvolňovanou prchavou hořlavinou dlouhým a svítivým

plamenem. Tuhý zbytek prakticky bez prchavé hořlaviny musí být posunut ze střední části roštu na zadní závěrečnou část roštu, kde bude hořet krátkým a nesvítivým plamenem. Ze spodní strany tak bude ohřívat dlouhý a svítivý plamen prchavé hořlaviny probíhající nad ním do odtahu a komína. Praktické provedení pomocí pohrabáče a lopatky musí samozřejmě probíhat od poslední fáze, což znamená posunutí tuhého zbytku s již vyhořelou prchavou hořlavinou ze střední části na konec roštu, odkud vyhořelý tuhý zbytek již unikl do komína a popel propadl roštem do popelníku. Na uvolněné místo ve střední části roštu bude posunuto vysušené a předeřtávané palivo z přední části roštu a na tuto uvolněnou část bude přiloženo nové palivo. Na pevném roštu jsou popsány operace náročné na čas, frekvenci přikládání a kusovost paliva, neboť např. u velkých polen přikládání ve směru podélné osy roštu je popsán způsob přikládání prakticky nereálný. Při příčné orientaci polen je však možné jednotlivé fáze hoření oddělit postupným přikládáním a popsanou manipulací. Ve všech případech však mají být polena přikládána tak, aby vytvářela na roštu zhruba rovnoměrnou vrstvu, nikoli tedy chaoticky přeložená polena umožňující nerovnoměrné proudění vzduchu roštem a vrstvou paliva.

V popsáních příkladech přikládání však dochází zcela zákonitě a periodicky k jednorázovému přikládání zcela určitého množství paliva. Tento periodický a z hlediska času nerovnoměrný způsob dodávky paliva vyvolává i nerovnoměrný průběh hoření způsobený periodicky se měnící teplotou plamene a koncentračních podmínkách odpovídajících postupnému vysoušení vlhkosti, turbulentnímu hoření prchavé hořlaviny v dlouhém a svítivém plameni a relativně klidnému dohořívání žhnoucího tuhého zbytku krátkým nesvítivým plamenem. Periodicky měnícím se podmínkám odpovídá i aktuální potřeba spalovacího vzduchu prakticky nepotřebného pro vysoušení paliva, s maximální potřebou při hoření prchavé hořlaviny navíc rozdělovaného na primární a sekundární vzduch (pro dokonalou tvorbu hořlavé směsi bez intenzivní disociace vyšších uhlovodíků na tuhý uhlík a úplné spálení hořlavé směsi). Pro dohoření tuhého zbytku potřeba spalovacího vzduchu opět klesá.

Regulace potřebného v čase nerovnoměrného množství spalovacího vzduchu v popsáném mechanismu hoření dřeva je velmi náročná, přičemž význam přebytku vzduchu je ve svém důsledku velmi důležitý. Zbytečně velký přebytek vzduchu ochlazuje plamen, čímž zpomaluje, až zastavuje rychlost hoření. Při nedostatku spalovacího vzduchu nemůže vůbec dojít k dokonalému spálení uvolněné prchavé hořlaviny. I přes náročnost tohoto problému je nutné věnovat této otázce stálou pozornost.

Snaha o časové ustálení a zrovnomenění procesu hoření nutně vede k průběžnému přivádění dřeva, v širším pojmu paliva. V tomto případě dojde k ustavení dynamické rovnováhy tepelné bilance v jednotlivých fázích hoření nutně vedoucí k teplotní stabilizaci v jednotlivých částech topeniště. Průběžná dodávka paliva však vyžaduje jeho jemnou granulaci ve formě štěpky nebo pelet, což vyžaduje náročnější operace úpravy paliva před spalováním spočívající jak v úpravě kusovosti na štěpku nebo pelety, tak v případném umělém vysoušení nebo zrychleném volném vysoušení jemné granulace paliva.

Takto upravené palivo má výrazně sníženou vlhkost (polenové dřevo a štěpka 20 %, brikety 10 %, pelety 5 % vlhkosti) a větší kontaktní i reakční povrch. Tím se výrazně mění jeho spalovací vlastnosti. Nezanedbatelnou předností je rovněž možnost přímé regulace výkonu spalovacího zařízení řízením přívodu paliva, což u hrubé kusovosti polen je prakticky nemožné.

Z praktického hlediska je rovněž významná možnost zrychleného umělého vysoušení jemně granulovaného paliva, kde lze s výhodou využít citelného tepla spalín a zvýšit tak celkovou účinnost procesu. Při umělém vysoušení má značný význam i výrazné snížení zásob volně

vysychajícího paliva (v polenech cca 2 roky). Pro 1 kW výkonu spalovacího zařízení je nutné uvažovat se sezónní topnou potřebou 1 prostorového metru kulatiny nebo polen (prn), což při dvouletém obnovovacím cyklu přirozeně vysoušeného paliva vyžaduje pro výkon 10 – 20 kW prostor větraného dřevníku 20 – 40 m<sup>3</sup>. Tento nárok je zřejmý i z dispozice starých chalup vytápěných dřevem, kde součástí hospodářských budov byl i dřevník s potřebnou kubaturou objemu.

Popsaný jev nabývá na významu především u spalovacích zařízení velkých výkonů, kdy sklady palivového dřeva v dvouletém cyklu přirozeného vysoušení by byly nejen objemově velmi náročné, ale docházelo by i k „umrtvení“ prostředků vynaložených na dvouletou zásobu palivového dřeva. Především jemná granulace štěpky, pilin, klestu apod. umožňuje vysušit palivo pod požadovaných 20 % vlhkosti již mezi zimní těžbou (40 % W), jarním až podzimním sušením a spalováním v příští zimní sezóně.

Přímým důsledkem spalování paliva upraveného vysušením a jemnější granulací je rovnoměrnější průběh hoření s dokonalejším řízením a vyšší účinností. Zvýšená teplota plamene v součinnosti s velkým aktivním povrchem paliva také umožňuje výrazné zvýšení výkonu spalovacího zařízení. Tato úprava paliva byla v případě uhlí primární motivací velmi dynamického rozvoje spalování vysoušeného a jemně mletého práškového uhlí v kotlích elektráren a tepláren od druhé poloviny 40. let 20. století. Tato technologie je i v současnosti dominující technologií energetiky velkých výkonů dnešních elektráren a tepláren. Kusové uhlí na roštu nelze spalovat tak rychle jako uhelný jemně rozemletý prášek navíc vysušený. Sekundárním efektem této technologie byla vysoká teplota hoření a související dokonalejší spalování, takže je radikálně omezen vznik nespálených uhlovodíků. Tento fakt názorně dokumentuje statistický údaj REZZO vykazující zhruba stejné množství nespálených polycyklických aromatických uhlovodíků a oxidu uhelnatého vzniklých spalováním přibližně 2 milionů tun hnědého tříděného uhlí (ořech + kostka) v malých a středních zdrojích na roštových topeništích a 24x většího množství uhelné průmyslové směsi (48 milionů tun) každoročně spalované po úpravě sušením a mletím v práškových topeništích kotlů elektráren a tepláren.

Problémem průběžné dodávky paliva je požadovaný malý příkon paliva pro spalovací zařízení malých (lokálních) výkonů používaných v domácnostech. Pro aktuální výkon 10 kW je nutné spálit při 80% účinnosti pouze 2,5 kg dřeva za hodinu. Stabilita hoření při tak nízkém výkonu je však problematická, neboť tepelné ztráty topeniště neumožní udržet při nízkém výkonu dostatečně vysokou teplotu plamene zajišťující dokonalé vyhoření paliva s vysokou účinností. V polenové nebo briketové kusovosti je to problém řešený periodickým přikládáním a krátkodobém vyšším výkonu, který je akumulován do vodního, kamenného nebo keramického zásobníku tepla (bojler, hypokaustický akumulární výměník). Tato konstrukce spalovacího zařízení umožňuje provozní režim v časově omezeném a přerušovaném režimu spalování při vyšším výkonu (1 – 2 hodiny) a akumulární provozní režim téměř bez hoření (11 – 10 hodin). Tímto technickým vybavením (tepelný akumulátor) a provozním režimem je zajištěno jak dokonalé spalování s vysokou účinností, tak rovnoměrný provoz při přijatelném 12-ti hodinovém intervalu přikládání.

Pouze jemná granulace pelet nebo štěpky umožňuje udržet relativně malý plamen při spalování dřeva s výkonem pod 10 kW. Tento režim však vyžaduje náročné podmínky rovnoměrného a pravidelného dávkování paliva, racionální konstrukci hořáku tak malého výkonu a systémovou kontrolu průběhu hoření měřením teploty a koncentrace kyslíku ve spalínách.

Z popsaných důvodů je běžné pro spalovací zařízení na tuhá paliva a dřevo využívat přerušovaného provozního režimu, při kterém má význam tzv. stáložárnost udržující na dně topeniště část dohořívajícího paliva ve stavu schopném vznítit a zapálit dřevo přikládané při následujícím přiložení. Periodický a časově neustálený teplotní i tepelný režim však má nepříznivé důsledky na dokonalost hoření, což se logicky projeví ve snížené účinnosti hoření.

## Shrnutí

Z provedené analýzy vyplývá, že o dokonalém hoření dřeva rozhodují termodynamické parametry teploty a koncentrace. Koncentrační podmínku splníme přívodem spalovacího vzduchu v mírném přebytku, což však při nižších přebytcích vyžaduje rovnoměrné rozdělení vstupních proudů a tím i otvorů případně štěrbinu po celém obvodu topeniště. K dobrému mísení rovněž přispívá předehřátí spalovacího vzduchu vyrovnávající velmi rozdílné (až 5×) hustoty přiváděného vzduchu (20 °C) a hořící směsi v plameni (1000 °C). Studený vzduch v hořkém prostředí topeniště padá dolů a teprve po ohřevu až následně proudí vzhůru do plamene, kde je potřebný pro spalování.

Rovněž rozdělení spalovacího vzduchu na primární, omezující intenzivní vznik tuhé fáze při termické disociaci uhlovodíků ve spodní části plamene, musí být přiváděn roštem nebo v dolní části topeniště. Aby mohl splnit svoji funkci, musí být přítomen a mísit se s prchavou hořlavinou již při jejím uvolňování z ohřivaného palivového dřeva.

Moderní biotopeniště s vysokou účinností musí co nejdokonalejší hoření zajistit dostatečně vysokou teplotou, o jejíž překročení nemusíme mít u lokálních topenišť výkonového rozsahu 5 – 30 kW obavy. Z tohoto důvodu je povrch topeniště vyžděný z keramického materiálu v radě případů i s keramickým roštem, neboť kovové součásti topeniště svojí vysokou tepelnou vodivostí odvádějí teplo mimo tento prostor již v průběhu hoření, což není žádoucí. Dokonalé hoření vyžaduje primární, co nejdokonalejší spálení paliva při vysoké teplotě s pouze mírným přebytkem vzduchu a teprve následné ochlazování spalín pro účelové využití vzniklého tepla.

Vliv teploty a přebytku vzduchu na průběh hoření lze získat názornou představu při zatápění v krbu s topeništěm uzavřeným dvířky se skleněným průhledem. Při zatápění ve studeném krbu se drobné palivo pozvolna rozhořívá a prchavá hořlavina unikající z relativně malého objemového prostoru plamene s vysokou teplotou kondenzuje již v prostoru topeniště ve formě bílého vizuálně pozorovatelného kouře. Pokud je tato kouřová mlhovina prisáta plamenem, shoří. Velmi často však plynné uhlovodíky při ochlazování na teplotu jejich bodu varu (150 – 300 °C) kondenzují na ještě chladných částech topeniště, což jsou obvykle kovové součásti a sklo, které získává hnědavý odstín. Po rozhoření paliva a vyhřátí spalovací komory, což vyžaduje přibližně 20 – 30 minut, neboť litinové nebo ocelové krby a kamna mají hmotnost 100 – 300 kg a vyžadují pro ohřev na ustálenou provozní teplotu relativně velké množství tepla se zkondenzované uhlovodíky znovu odpaří a shoří, krby a krbová kamna s uvedenou hmotností jsou určena především pro rychlé zatápění a víkendové topení na chatách a v rekreačních domech. Nejsou považovány za akumulární topeniště určená pro trvale vytápěné byty a rodinné domy, pro které jsou vhodnější akumulární kamna s výrazně

větší hmotností 1,0 – 2,5 tuny zajišťující akumulaci tepla s výrazně delším intervalem přikládání až 12 hodin proti zhruba 2 hodinovému intervalu krbu.

Pro udržení vysoké teploty ve spalovací komoře je rovněž nevhodné konstrukčně navrhnout odtaž z topeniště přímo nahoru do komína, neboť nejteplejší spaliny by okamžitě vlastním vztlakem unikaly bez jakéhokoli zdržení do komína. Vhodnější je tzv. svislý pád tvořený odtažovým kanálem za topeništěm vyvolávajícím při proudění směrem dolů proti vztlaku rozvrstvení spalin. Nejteplejší spaliny zůstanou automaticky v horní části kanálu svislého pádu a topeništi, nejchladnější spaliny jsou ve spodní části pádu odsávány do akumulčního výměníku a dále do komína.

Souhrnně lze konstatovat, že dřevo, obecně biomasa, není automaticky ekologickým palivem, ale pro dokonalé spálení s minimem škodlivých emisí vyžaduje splnění konkrétních termodynamických podmínek, vyjádřených zjednodušeně teplotou a koncentrací hořlavé směsi v plameni. Tyto podmínky lze optimalizovat jak moderní konstrukcí spalovacího zařízení, tak vhodně vedeným provozním režimem.



## 4. Návrh opatření na zvýšení efektivity výtopny

### 4.1 Možnosti na straně paliva

Výtopna v Kašperských Horách se nachází v blízkosti městské pily a je tudíž i největším a tedy i hlavním dodavatelem paliva. Potřebná logistika paliva je minimální, resp. skoro žádná a tedy odpadají i náklady na dopravu. Díky tomu, že město Kašperské Hory je vlastníkem obou objektů, stává se nákup paliva bezkonkurenční. Potřebná cesta na zvýšení efektivity výtopny tudíž spočívá v úpravě paliva před vlastním spalovacím procesem. Můj návrh spočívá v razantním rozšíření skladových prostor na palivo, díky čemuž by byla i možnost k postupnému snižování vlhkosti paliva naším sluncem, které je jako OZE relativně nekonečný a je hlavně zadarmo. Tímto by došlo k razantnímu úbytku hmotnosti sušiny před samotným spalovacím procesem a tedy i k zvýšení efektivity výtopny.

### 4.2 Možnosti na straně kotle

Řízení kotle probíhá díky systému PROMOTIC, je tedy plně automatizován a odpadají nám chyby při řízení, jež mají vliv na účinnost kotle, jako je např. nestálá teplota spalin a neadekvátní dodávání množství spalovacího vzduchu. Tedy i obsah nespálených zbytků v popelu je nízký, stejně tak tedy i obsah CO a uhlovodíků ve spalinách je minimální. To všechno zajišťuje vysokou účinnost kotle během spalování. Kvalitu paliva, která má také vliv na účinnost tepelného zařízení, z výše uvedených důvodů nelze z hlediska efektivity brát v úvahu, protože by se nenašel žádný dodavatel, který by dokázal dodávat palivo stejné kvality a stejné ceny, než jak je tomu nyní. Zbývá nám tedy jediné možné řešení a sice udržovat čistotu teplosměnných ploch obou kotlů v perfektním stavu. To znamená kdykoliv je možnost, ať už z hlediska malé nutnosti velkého výkonu, kdy je možné mít v provozu pouze jeden kotel, nebo při plánovacích odstávkách zařízení, provést okamžitou a neodkladnou revizi a údržbu kotle.

### 4.3 Možnosti z hlediska distribuce

Distribuční síť v Kašperských Horách je zejména v zimních měsících již skoro maximálně využívána a blíží se již ke svému jmenovitému výkonu. K zefektivnění distribuční sítě může být provedeno v místech DPS těch uživatelů, kteří využívají teplotnosného média jen sporadicky, kteří nemají trvalé bydliště ve městě a zástavby jim slouží jen k rekreačním účelům. Tím nedochází k maximálnímu využívání tepelné energie v primárním médiu stanice, což se negativně projevuje v efektivnosti celé soustavy CZT, neboť nedochází k maximálnímu vychlazení zpátečního toku primárního oběhu. Díky tomu pak nelze snížit oběhové množství teplotnosného média a tedy i tepelné ztráty v rozvedech tepla.

#### 4,4 Ekonomické a finanční hodnocení

Náklady na výrobu tepla za rok 2011 dosáhly celkem 6 378 640 Kč. Jednotlivé položky zodpovědné za tyto náklady činí:

Palivo	2 465 573,-
Elektřina	480 420,-
Odpady – popel	67 945,-
Voda	2 052,-
Opravy a udržování, spotřeba materiálu	371 516,-
Ostatní služby	34 312,-
Provozování	832 135,-
Poštovné, telefon+internet	9 056,-
Pojištění majetku	21 563,-
Poplatky za znečištění ovzduší	11 000,-
Splátky úvěru - kotelna	1 064 000,-
- jeřáb	472 000,-
Úroky z úvěrů (kotelna + jeřáb)	147 068,-
Plánovaný příděl do fondu oprav a rozvoje CZT	400 000,-

Naproti tomu prodané teplo za rok 2011 činilo 18 095 GJ. Výnos z prodaného tepla za rok 2011 činil 6 704 197 Kč (6 704 197 Kč : 18 095 GJ = 370,50 Kč + DPH 10 % ). Jednoduchou kalkulací zjistíme, že kladný zisk výtopny činil 325 557 Kč. O rozdělení těchto peněz rozhodne zastupitelstvo

#### 5. Závěr

Zhodnocení efektivity výtopny na biomasu v městě Kašperský Hory dopadlo velmi uspokojivě, ať už z hlediska energetického, environmentálního či ekonomického. K realizaci projektu se už od začátku přistupovalo spolehlivě, vše bylo dobře naplánováno a spočítáno. Navrhnutá opatření pro zvýšení efektivity jsou spíše už jen doplňkovým řešením již už dobře fungujícího systému a je otázka zda se řešení budou moct vůbec realizovat, protože navrhnutá opatření by k realizaci potřebovala jistý finanční kapitál a návratnost těchto opatření je dlouholetá. Je tedy otázka, zda v dnešní ekonomické situaci bude možné navrhnutá opatření uskutečnit, když již tato výtopna je zatížena ještě mnohaletým splácením úvěru, které bylo využito ke konstrukci výtopny.

## 6. Seznam použitých zdrojů

### Internetové stránky:

- [1] <http://www.tzb-info.cz/877-vytopna-na-biomasu-zdroj-energie-pro-obec>
- [2] <http://vytapani.tzb-info.cz/teorie-vytapani/8382-kotle-1-cast>
- [3] <http://www.tzb-info.cz/5641-biomasa-definice-a-cleneni>
- [4] <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/mechanismus-a-podminky-dokonaleho-spalovani-biomasy>
- [5] <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/logistika-pri-energetickem-vyuziti-rostlinne-biomasy>
- [6] <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/drevni-stepka-zelena-hneda-bila>
- [7] <http://www.tzb-info.cz/3865-biomasa-v-soustavach-mest-a-obci-projekty-a-zkusenosti-i>
- [8] <http://www.evc.cz/kotelny-na-biomasu-vcetne-vyroby-el-energie.html>
- [9] <http://www.bioenergo.cz/reference/>
- [10] <http://www.bioenergo.cz/program/centralni-zasobovani-teplem/>
- [11] <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-pro-energii-1-zdroje>
- [12] <http://www.tzb-info.cz/4061-biomasa-v-soustavach-mest-a-obci-projekty-a-zkusenosti-iii>
- [13] <http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa/Kubicek.pdf>

### Publikace:

- [14] PAVELEK, M.; JANOTKOVÁ, E.; SEKANINA, B.;. *Termomechanika*. 1.vyd. Brno: CERM, 2003.
- [15] IBLER, Zbyněk; Ibler, Zbyněk. *Možnosti rozvoje výroby tepla a elektřiny využitím biomasy v regionech a městech ČR*. Česká energetická agentura, květen 2003.
- [16] IBLER, Zbyněk a kol. *Technický průvodce energetika – 1.díl*. Praha: BEN – technická literatura, 2002.
- [17] ČSN 07 0305: 1983. *Hodnocení kotlových ztrát*. Praha: vydavatelství ÚNM.
- [18] PASTOREK, Z.; KÁRA, J.; JEVIČ, P. *Biomasa obnovitelný zdroj energie*. Praha: FCC Public. 2004.

## Příloha 1 - Tabulka realizovaných projektů

Lokalita	Rok uvedení do provozu	Instalovaný výkon	Náklady	Roční dodávka	Výrobce kotle	Počet napojených objektů	Zajímavosti, dostupnost paliva
		MW	tis. Kč	GJ			
<b>Nová Pec, o. Prachatice</b>	1996	3,3 (2,2 + 1,1)	25 600	3 700	Danstoker	48 objektů	dobrá dostupnost paliva
<b>Trhové Sviny, o. České Budějovice</b>	1999	2,5 + 3,5 + ORC	106 000	37 000	Kohlbach	73 objektů	2,5 MW + 3,5MW s blokem ORC 79% do tepla 18% generátor el. energie 600 kW. Dostupnost paliva cca do 20 km
<b>Hoštětín, o. Uherské Hradiště</b>	2000	0,7	32 000	3 849	Kara	65 objektů	Kofinancováno nizozemskou vládou
<b>Hartmanice, o. Klatovy</b>	2000	4,4 (2 x 1,75 + 0,88)	18 732	15 700	Danstoker	75 objektů	dobrá dostupnost paliva
<b>Bouzov, o. Olomouc</b>	2001	2,4 (1,8 + 0,6)	40 000	19 000	Step Trutnov	116 objektů	spolu se štěpkou spalován i šťovík
<b>Moravany u Kyjova, o. Hodonín</b>	2001	0,35	6 290	1 500	Hamont	4 objektů	dobrá dostupnost paliva
<b>Bystřice nad Pernštejnem, o. Žďár n. Sáz.</b>	2001	9 (2 x 4,5)	134 631	85 000	Urbas	80 objektů	Štěpka, piliny nakupovány převážně od dopravců, připojeno 6 z 9 tisíc obyvatel
<b>Velký Karlov, o. Znojmo</b>	2001	1	24 249	*	Tractant Fabri	73 objektů	dobrá dostupnost paliva
<b>Třebívlice, o. Litoměřice</b>	2001/2002	0,38 (0,3 + 0,08)	4 289	800	Ekoepekt Litvínov	12 objektů	spalování štěpky v kombinaci s nízkosírným uhlím v poměru 7/3
<b>Jindřichovice pod Smrkem</b>	2001/2002	0,35 (0,20 + 0,15)	1 965	2 614	Tractant Fabri	5 objektů	štěpka z obecních zdrojů, prořezávky adpod.
<b>Žlutice, o. Karlovy Vary</b>	2002	7,9 (3 x 1,8 + 2,5)	106 405	35 000	Verner	520 bytových jednotek	1xštěpka, 2xsláma, 1x kombinovaný
<b>Roštín, o. Kroměříž</b>	2002	4	69 456	11 000	LIN-KA	154 objektů	dostatek obilné i řepkové slámy
<b>Rybniště, o. Děčín</b>	2003	1 (0,6 + 0,4)	22 719	5 400	Verner	24 objektů	původně místní zdroj pilin, dnes dováží štěpku
<b>Nový Bor, o. Česká Lípa</b>	2003	2,2	15 246	6 500	Tractant Fabri	*	vzhledem k omezenému množství slámy je produkce tepla z biomasy pouze zlomek možné roční výroby (až 45 000 GJ) sláma se musí dovážet z velké vzdálenosti.

<b>Zlaté Hory, o. Jeseník</b>	2003	5 (2 x 2,5) + 0,1 el.	48 507	24 125	Danstoker	522 bytových jednotek	technologie v kombinaci s výrobou elektřiny s protitlakou turbínu s generátorem 100 kWel, palivo dováženo ze vzdáleností 20 a 55 km
<b>Slavičín, o. Zlín</b>	2003	1,6	46 783	20 000	Kohlbach	35 objektů	dobrá dostupnost paliva
<b>Dříteň, o. České Budějovice</b>	2004	2,0 (2 x 1,0)	33 794	9 000	Imaveco	105 RD, 100 bytových jednotek, obecní objekty	štěpka z obecních zdrojů, prořezávky adpod.
<b>Kašperské Hory, o. Klatovy</b>	2006	4 (1,6 + 2,4)	80 985	21 000	Schmid	205 objektů	většina obecních zdrojů biomasy leží v CHKO Šumava - problematická dostupnost
<b>Valašská Bystřice, o. Vsetín</b>	2006	1,5 (0,6 + 0,9)	37 465	12 825	Verner	70 objektů	dostatek paliva z místních dřevařských podniků
<b>Kněžice, o. Nymburk</b>	2006	1,2 (0,8 + 0,4)	111 622	*	Step Trutnov	148 objektů	Komplexní projekt řeší bioplynovou stanici, kotelnu na spalování biomasy a peletizační linku. Kotel na spalování slámy 800 kW, spalování štěpky 400 kW
<b>Planá u Mariánských Lázní</b>	2006	3,4 (1,7 + 1,7)	43 400	36 360	TTS, Tenza	700 bytových jednotek	Jeden kotel štěpka, jeden sláma
<b>Třebíč</b>	2006	15 (7 + 3 + 5) + ORC	232 500	171 981	TTS	5412 bytových jednotek	Výtopna 5 MW sláma, 3 + 7 MW štěpka s ORC blokem - elektrický výkon 1 MW. Vlastní ucelený systém využití zbytkové biomasy