Modul:	02 Technika
Jednotka	01 Technika zařízení I (výtopny na biomasu)
Trvání:	1 den (8 LE)
Krátký popis:	Koncepce zařízení a postupy: • Výroba tepla • Velikosti zařízení • Potřeba místa Spalovací technika: • Spalování • Škodlivé látky Skladování paliv: • Dopravní systémy ve skladu Technika spalování: • Druhy spalovací techniky

© 2005 Evropské centrum pro obnovitelné energie Güssing GmbH

Obsah

1. Koncepce zařízení a postupy 1
1.1. Vhodné aplikační oblasti pro využití pevných biopaliv 1
1.2. Koncepce zařízení.....3
1.2.1. Koncepce spalování 3
1.2.2. Koncepce zplyňování 4
1.2.3. Obecné informace o konstrukci zařízení na biomasu 4
1.2.4. Koncipování zařízení, zjištění projektových údajů.....5
2. Spalovací technika 10
2.1. Procesy při spalování biomasy 10
3. Skladování paliva 14
3.1. Dopravní systémy ve skladu 14
4. Spalovací technika.....16
4.1. Šachtová topeniště 17
4.2. Předtopeniště.....17
4.3. Topeniště se spodním přívodem paliva.....19
4.4. Roštová topeniště pro dřevitou biomasu 19
4.5. Stacionární fluidní topeniště.....20
4.6. Cirkulující fluidní vrstva.....21
4.7. Cyklónová topeniště 21
4.8. Předavač tepla/ kotel.....22
5. Odkazy na literaturu 25

© 2005 Evropské centrum pro obnovitelné energie Güssing GmbH

1. Koncepce zařízení a postupy

Mezi důležité rámcové podmínky, jež určují možnosti a hranice energetického využití pevných biopaliv, patří tyto:

- specifické vlastnosti používaných biopaliv
- charakteristické znaky týkající se odběru energie
- stav techniky pro dodávání energie z pevných biopaliv
- zákonná a administrativní zadání
- ekonomická hlediska

VLASTNOSTI PALIV: biogenní pevná paliva mají ve srovnání s fosilními palivy menší energetický obsah. Výhřevnost pevné biomasy vztažená na hmotnost je o faktor 2 až 3 menší, než výhřevnost většiny fosilních paliv (tekutých a černého uhlí). Výhřevnost vztažená na objem (podstatná pro potřebnou dopravní a skladovací kapacitu) se liší dokonce téměř o faktor 10 (oproti ropě a černému uhlí). Tento fakt rozhodujícím způsobem omezuje ekonomické a ekologické možnosti jejího využití. Pevná biomasa vykazuje ve srovnání s klasickým palivovým uhlím vysoký podíl těkavých částic, kyslíku a nižší obsah uhlíku.

ZNAKY TÝKAJÍCÍ SE ODBĚRU ENERGIE: Stránka týkající se poptávky po energii (výroba tepla popř. elektřiny, charakteristika odběru energie) má rozhodující význam pro projektování soustav energetického zásobování. Realistické zhodnocení stávající a budoucí spotřeby tepla je základním předpokladem pro koncipování techniky zařízení.

STAV TECHNIKY PRO PŘÍPRAVU ENERGIE: Technologie spalování dřeva jsou značně vyspělé a vyzkoušené. Oproti tomu představují procesy pro energetické využití ostatních biomas poměrně mladé technologie, které jsou sice částečně k dispozici na trhu, ale pouze ojediněle mohou vykázat zkušenosti z provozu.

1.1. Vhodné aplikační oblasti pro využití pevných biopaliv

Z menší výhřevnosti biogenních pevných paliv mimo jiné vyplývá, že jejich energetické využití by mělo probíhat především v necentrálních zařízeních s menším a středním výkonem, pokud možno v bezprostřední blízkosti k místu výroby biomasy. Výhradní použití pevné biomasy v přírodním stavu je ve většině případů technicky, ekologicky a hospodářsky opodstatněné pouze v zařízeních s tepelným výkonem do zrhuba 30 MW. Při větších výkonech vzniká často problém s dopravou (nárůst objemu přepravy atd.) a skladováním paliv. Typickým příkladem aplikace v oblasti nižších výkonů jsou zařízení zásobující teplem domácnosti v rodinných domech pro jednu a více rodin. V rozmezí výkonů mezi 100

© 2005 Evropské centrum pro obnovitelné energie Güssing GmbH

kW a 30 MW termického výkonu přicházejí pro energetické využití biomasy do úvahy následující oblasti aplikace:

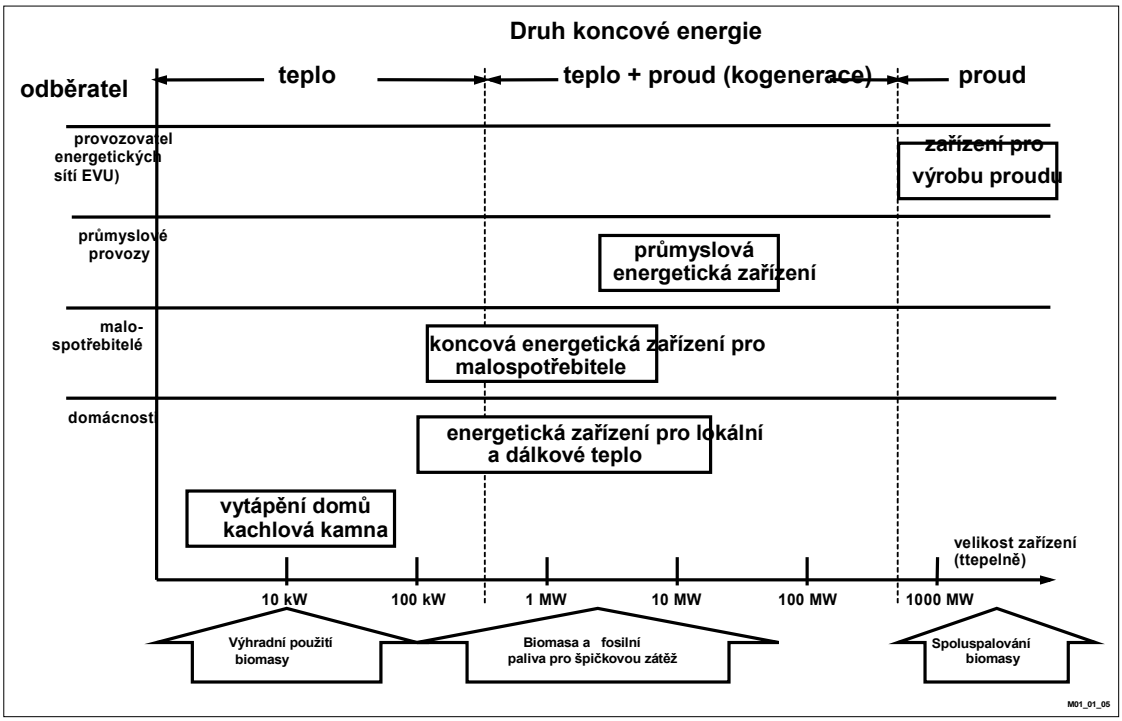
- zařízení zásobující teplem malé spotřebitele jako např. veřejné budovy, malé řemeslnické a průmyslové provozy,
- zařízení pro přípravu tepla pro místní a dálkové tepelné sítě,
- zařízení pro zásobování malých a středních průmyslových podniků (vytápění a teplo pro technologické procesy).

Výše uvedené oblasti využití většinou vykazují v průběhu roku stejnoměrnou spotřebu tepla, což znamená dobré využití zařízení. Toto platí obzvláště tehdy, když je za pomocí zařízení na biomasu pokryta jen základní spotřeba tepla. Stejnoměrná poptávka po teple vyplývá z následujících důvodů:

- Probíhá zásobování vícero odběratelů, tak vzniká faktor současnosti, který se může, vztáhneme-li jej na špičkové zatížení, pohybovat značně pod hodnotou 1.
- Veřejné budovy, řemeslnické a průmyslové provozy vykazují často spotřebu tepla (pro teplu vodu, technologické procesy atd.) i mimo topné období.

Jmenované typy zařízení mohou být (s výjimkou vytápění domů) provedeny čistě jako zařízení na výrobu tepla nebo jako kogenerační zařízení. Mnohoslibnou alternativou k výhradnímu spalování biomasy v zařízeních o menším a středním výkonu je přidávání biomasy do zařízení o větším výkonu, která jsou zatím vytápěna jen uhlím (např. v uhelných elektrárnách). Za tímto účelem byly v posledních letech provedeny první výzkumy na pilotních a velkých zařízeních. Přehled aplikačních oblastí energetického využití biomasy vyplývající z výše uvedených závěrů je znázorněn na Obr. 1-1. Zde uvedené hranice výkonů jednotlivých použití představují empirické hodnoty pro typický záměr.

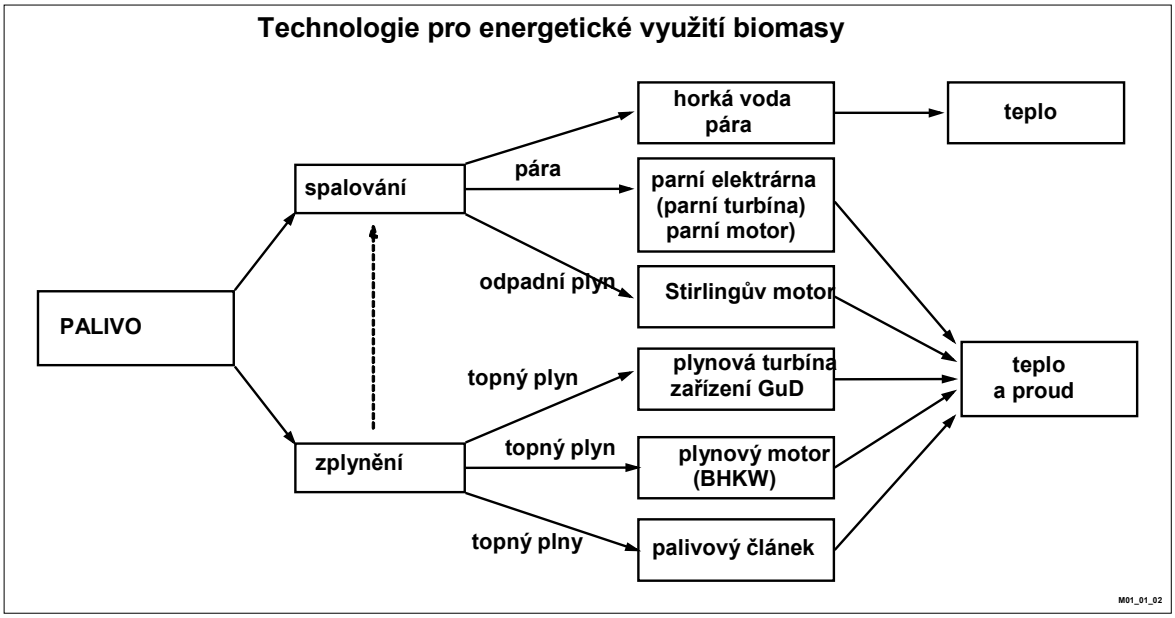
© 2005 Evropské centrum pro obnovitelné energie Güssing GmbH



Obr. 1-1: Aplikace energetického využití biomasy[1]

1.2. Koncepce zařízení

Koncepce pro výrobu tepla nebo i elektřiny z pevných biopaliv je v podstatě možné rozdělit na systémy založené na **spalování** a systémy založené na **zplynění** biomasy. Na obr. 1-2. jsou schematicky znázorněny možnosti využití jednotlivých systémů.



Obr. 1-2: Přehled možností výroby tepla a elektřiny z biomasy

1.2.1. Koncepce spalování

Při spalování se jedná o oxidaci paliva, přičemž se uvolňuje energie ve formě horkých plynů a záření. Předávané teplo je možné použít v kotli napojeném na topeniště pro ohřev vody a pro výrobu páry. Pára slouží buď pro zásobování párou např. průmyslových podniků nebo se může použít pro výrobu proudu.

Při parním procesu používá teplo ze spalin pro výrobu přehřáté páry, která v parní turbíně nebo parním motoru expanduje. Potom probíhá kondenzace páry v topném kondenzátoru, aby poté došlo k vyvázání tepla. Z technicko-ekonomických důvodů přicházejí parní technologie do úvahy zpravidla teprve u elektrického výkonu většího než 0,5 MW. To odpovídá tepelnému výkonu nad 2 MW až 4 MW.

Při použití Stirlingových motorů probíhá na rozdíl od konvenčních motorů přívod tepla externě – ve stávajícím případě využitím tepla z kouřových plynů ze spalování biomasy. Tím se zahřívá pracovní plyn (např. helium nebo vzduch), který se cyklicky komprimuje a expanduje, přičemž se práce vzniklá při expanzi využívá za pomocí generátoru pro výrobu elektřiny (aneb konání elektrické práce).

1.2.2. Koncepce zplyňování

Při zplyňování se palivo za podstechiometrických podmínek (nedostatek vzduchu) přeměňuje na topné plyny. Vznikající topné plyny mohou být vedeny buďto k hořáku nebo k pracovnímu stroji. Jako pracovní stroj přichází do úvahy obzvláště Ottův plynový motor a plynová turbína. Vedle toho je možné i použití při jiných (toho času vyvíjených) postupech. Zde je třeba zmínit obzvláště technologii palivových článků.

Při použití v plynovém motoru se produkovaný plyn smísí se vzduchem a přivádí se k motoru. Mechanická práce motoru se za pomocí připojeného generátoru přemění na elektrickou. Aby bylo možné využít odpadní teplo vznikající při činnosti spalovacího motoru, ohřívá se jím (pokus možno přes protiproudý výměník teplot) nějaký topný okruh.

Při použití produktového plynu v plynové turbíně se tento za pomocí přívodu zhuštěného vzduchu spaluje ve spalovací komoře a odpadní plyny expandují přes připojenou turbínu, tzn. konají mechanickou práci. K plynové turbíně může být kvůli zvýšení stupně účinnosti připojena parní turbína.

V palivových článcích (PČ) se chemicky vázaná energie paliva přeměňuje přímo na elektrickou práci. Přitom je možné dosáhnout vyšších stupňů účinnosti než u konvenčních technologií. Technologie palivových článku se však v současnosti nachází (v závislosti na typu palivového článku) v různých stádiích vývoje.

1.2.3. Obecné informace o konstrukci zařízení na biomasu

© 2005 Evropské centrum pro obnovitelné energie Güssing GmbH

Zařízení pro energetické využití biomasy se vyznačují – ve srovnání se zařízeními vytápěnými plynem nebo topným olejem – vyššími náklady investičními a (v případě spalování ekonomicky výhodných vedlejších produktů) nižšími náklady na palivo. Proto je pro hospodářský provoz zařízení zpravidla výhodou vysoký stupeň ročního využití, tzn. vysoký počet hodin s využitím na plné zatížení.

Z tohoto důvodu je většinou důležité nepočítat s využitím zařízení na biomasu pro pokrytí celkové spotřeby tepla, ale jeho prostřednictvím zajišťovat pouze základní tepelné zatížení. Pro zajištění špiček tepelné spotřeby pak slouží kotel vytápěný fosilními palivy (špičkový kotel). Tento špičkový kotel muže navíc sloužit jako záložní kotel při výpadku vytápěcího zařízení na biomasu.

Podobné rozdělení výroby tepla mezi vícero kotlů nemá z ekonomických důvodů smysl u menších výkonů (např. při vytápění rodinných domů), ale vyplatí se teprve od tepelného výkonu okolo 100 kW.

1.2.4. Koncipování zařízení, zjištění projektových údajů

Kvůli stanovení technické koncepce zařízení je třeba nejprve určit počet, druh a objem výkonu zařízení na výrobu tepla. Přitom je třeba zohlednit obzvláště následující aspekty:

- Bude pro veškerou výrobu tepla použit jeden kotel na biomasu nebo má smysl rozdělení na dva popř. více kotlů (kotel na biomasu pro přípravu základního zatížení, kotel vytápěný fosilními palivy pro pokrytí špičkového zatížení a rezervního výkonu)?
- Jaké palivo (většinou zemní plyn nebo topný olej) přichází do úvahy pro vytápění špičkových a rezervních kotlů?
- Mohou být stávající kotle použity pro pokrytí teplotních špiček nebo jako rezervní kotle?
- Jaké nároky na použitelnost zařízení kladou odběratelé energie?

Základem pro stanovení technické koncepce jsou výsledky měření spotřeby tepla. Přitom je v případě prostorově rozsáhlé tepelné sítě třeba zohlednit její tepelné ztráty. Tyto činí, jak vzhledem k maximálnímu zatížení tak k ročnímu množství tepla, u malých a středních sítí s vyšší hustotou připojení asi 8 % - 12 % a u větších sítí při menší hustotě připojení asi 15 % - 25 %.

Pro návrh projektu je většinou dostačující stanovit koncepci, která se považuje za opodstatněnou na základě zkušenosti. Pro definitivní projekt je třeba v rámci optimalizačního procesu srovnat více možností s ohledem na počet kotlů a rozdělení na základní a špičkové zatížení.

U menších zařízení do asi 200 kW je často vhodné použití kotle na biomasu, který bude sloužit pro pokrytí celkové spotřeby tepla.

© 2005 Evropské centrum pro obnovitelné energie Güssing GmbH

V případě lokálních tepelných sítí pro odběratele, u nichž jde zejména o vytápění, je smysluplné počítat se základním kotlem vytápěným biomasou a špičkovým kotlem vytápěným zemním plynem nebo topným olejem s následujícími parametry:

- 40% špičkového zatížení jako nominální tepelný výkon základního kotle a
- 70% špičkového zatížení jako nominální tepelný výkon špičkového kotle. Pro zvýšení použitelnosti se, obzvláště v případě větších lokálních tepelných systémů, doporučuje počítat se dvěma špičkovými kotli (např. rozdělení na dva špičkové kotle poskytující 50 % a 25 % potřebného špičkového výkonu). Přitom může být i v případě výpadku jednoho kotle pokryto 65 % špičkového zatížení.
- Pro případ, že je v budoucnosti pravděpodobné zvýšení potřeby dodávek tepla, může být základní kotel navržen s většími parametry (např. 75 % špičkového zatížení), protože jinak by musela být zvýšená zátěž pokryta hlavně za pomocí špičkového kotle.

Při projektování základního kotle na 40 % špičkového zatížení může být za pomocí biomasy pokryto asi 80 % roční spotřeby tepla (pokud půjde převážně o vytápěcí teplo). Při projektováním na 50 % špičkového zatížení to bude jiiž přibližně 90 %. Je třeba zohlednit také to, že provoz kotle na biomasu bude mít smysl pouze tehdy, bude-li dosaženo určitého minimálního zatížení. Obzvláště při výlučně tepelných dodávkách pro ohřev teplé vody (v létě) může mít smysl odpojit kotel na biomasu a dodávat potřebné teplo za pomocí špičkového kotle (snadněji regulovatelný).

Je-li stanovena technická koncepce zařízení, může jako další krok probíhat předběžné stanovení spalovací techniky pro kotel na biomasu a potřebných systémů pro čištění spalin (v souladu se zákonnými předpisy pro přípustné emise škodlivin).

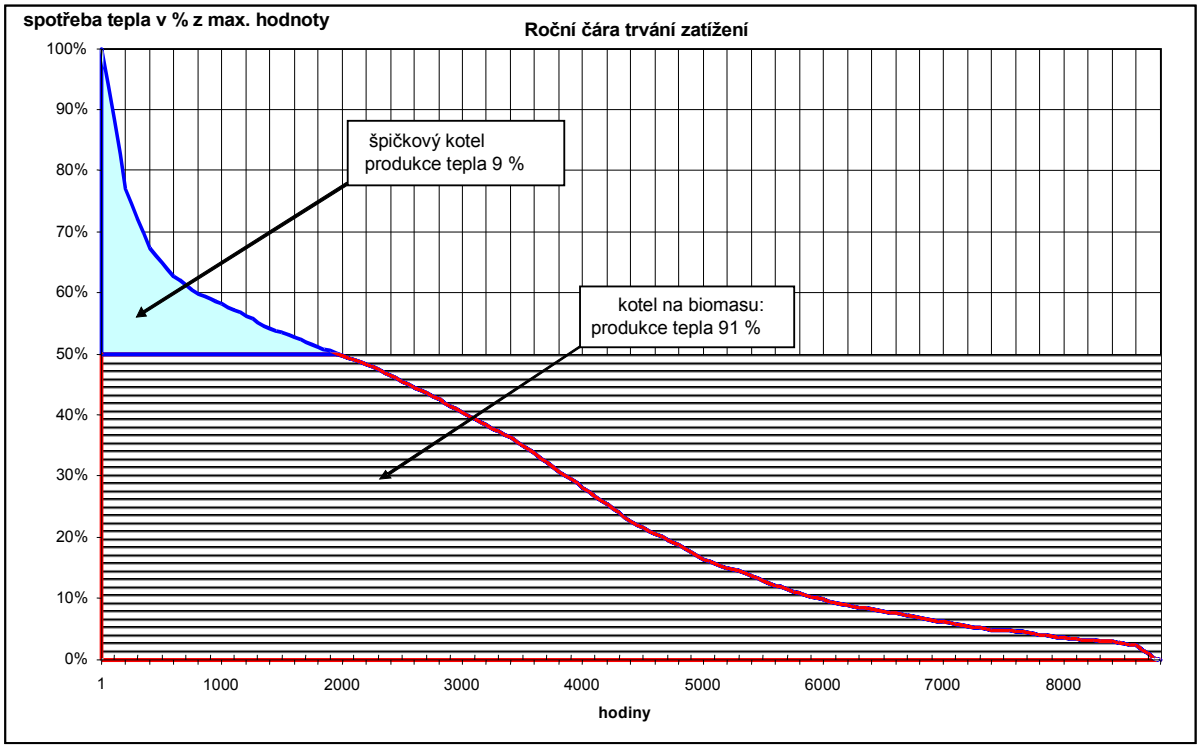
Na základě těchto ustanovení je možné vypočítat důležité projektové údaje a provozní parametry (ročně vyrobené množství tepla z biomasy a z fosilních paliv, spotřeba paliva, množství popela atd.). Vzorový formulář pro tento výpočet (pro čistou výrobu tepla) je znázorněn na obr. 1-4.

Zde uvedený stupeň využití kotle je poměr roční výroby tepla k ročnímu množství paliva. Ten je na základě vyšších ztrát při částečném zatížení, popř. kvůli ztrátám z prostojů a ztrátám při uvádění do provozu a mimo provoz, zpravidla nižší než účinnost kotle (poměr nominálního tepelného výkonu k tepelnému výkonu topeniště).

U kotlů na biomasu, které jsou provozovány při základním zatížení, je stupeň využití kotle jen o něco málo nižší než účinnost, která většinou činí asi 85 %. U špičkových kotlů je oproti tomu stupeň využití často významně nižší a někdy dosahuje pouze hodnot okolo 70 - 75 %.

© 2005 Evropské centrum pro obnovitelné energie Güssing GmbH

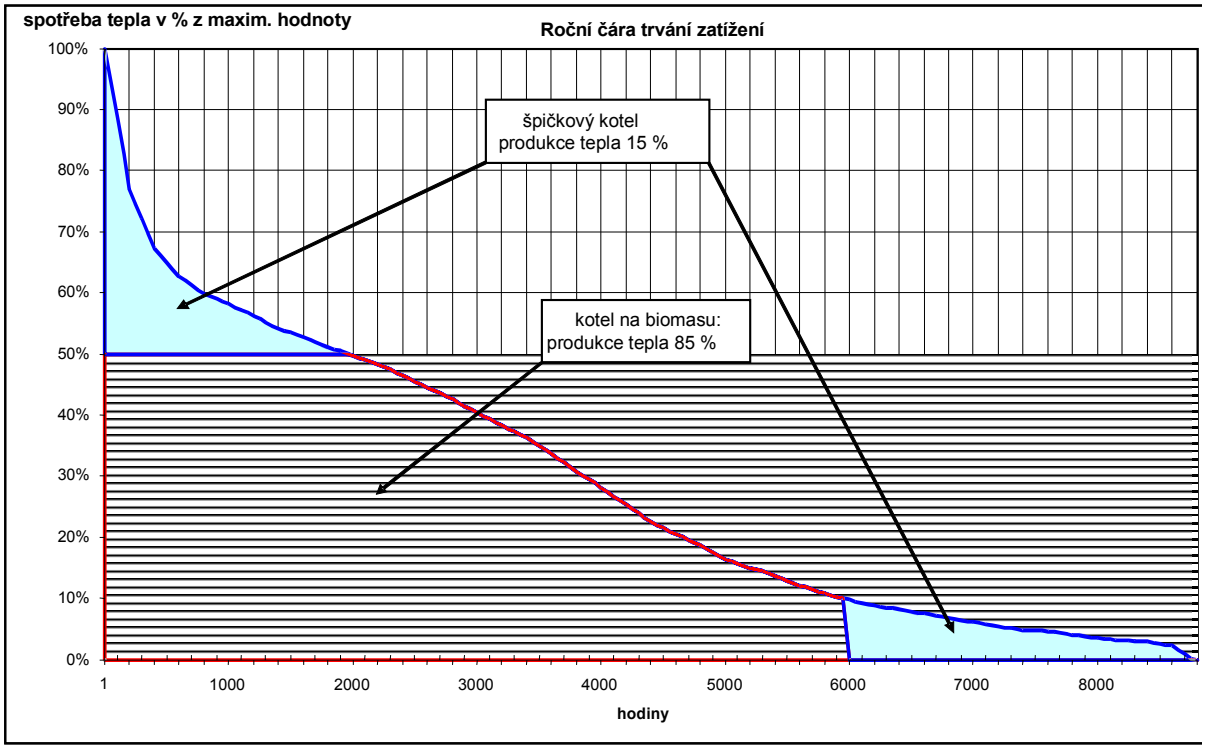
Následovně proběhne předběžné koncipování dalších strojně-technických komponent. Mezi tyto komponenty patří v nejjednodušším případě pouze několik vedlejších agregátů (např. čerpadlo napájecí vody, expanzní nádrž, zařízení pro udržování tlaku atd.). U kogeneračních zařízení je třeba se navíc zmínit o podstatných částech systému, a to obzvláště o parních turbínách s generátorem.



Obr. 1-3: Roční čára trvání zatížení a produkce tepla kotlem na biomasu a špičkový kotlem (letní provoz s kotlem na biomasu)

Lokální tepelné systémy:			
Početní schéma pro zjištění nejdůležitějších technických projektových údajů			
	jednotka	**zkratka**	**výpočet**
Suma maximálního tepelného zatížení	kW	WL_0	
Roční spotřeba tepla	MWh/a	WE_0	
Faktor současnosti	-	G	
Ztráty energie v sítích	-	NV	
Špičkové zatížení výroby tepla	kW	WL	$WL = WL_0*G/(1-NV)$
Roční dodávka tepla	MWh/a	WE	$WE = WE_0 / (1-NV)$
Základní kotel, biomasa			
Podíl výkonu na základním zatížení *)	-	GL	
Nominální tepelný výkon	kW	BL	BL = GL * WL
Podíl tepla na základním zatížení *)	-	GE	
Roční výroba tepla	MWh/a	BE	BE = GE*WE
Doba použití při plném zatížení	h/a	VB_1	VB_1 = BE * 1000/BL
Stupeň využití kotle	-	Eta_1	
Výhřevnost biomasy	MWh/t	Hu_B	
Tepelný výkon topeniště	kW	BF	$BF = BL / Eta_1$
Spotřeba biomasy denně **)	t/d	m_{T1}	$m_{T1} = BF * 24 / Hu_B$
Spotřeba biomasy ročně	t/a	m_1	$m_1 = BF * VB_1$
Obsah popela v biomase	%	AB	
Množství popela denně **)	t/d	a_{T1}	$a_{T1} = m_{T1} * AB / 100$
Množství popela ročně	t/a	a_1	$a_1 = m_1 * AB / 100$
Špičkový kotel, zemní plyn nebo olej:			
Nominální tepelný výkon	kW	SL	SL > WL – BL
Roční výroba tepla	MWh/a	SE	SE = WE –BE
Doba použití při plném zatížení	h/a	VB_2	VB_2 = SE * 1000 / SL
Stupeň využití kotle	-	Eta_2	
Výhřevnost paliva pro špičkový kotel	MWh/t	Hu_s	
Tepelný výkon topeniště	kW	SF	$SF = SL / Eta_2$
Roční spotřeba paliva	t/a	m_2	$m_2 = SF * VB_2 / 1000 / Hu_S$
*) Tyto hodnoty je třeba stanovit popř. vypočítat na základě roční čáry trvání			
**) při 24 h plném zatížení			

Obr. 1-4: Početní schéma pro přibližné projektování lokálních tepláren



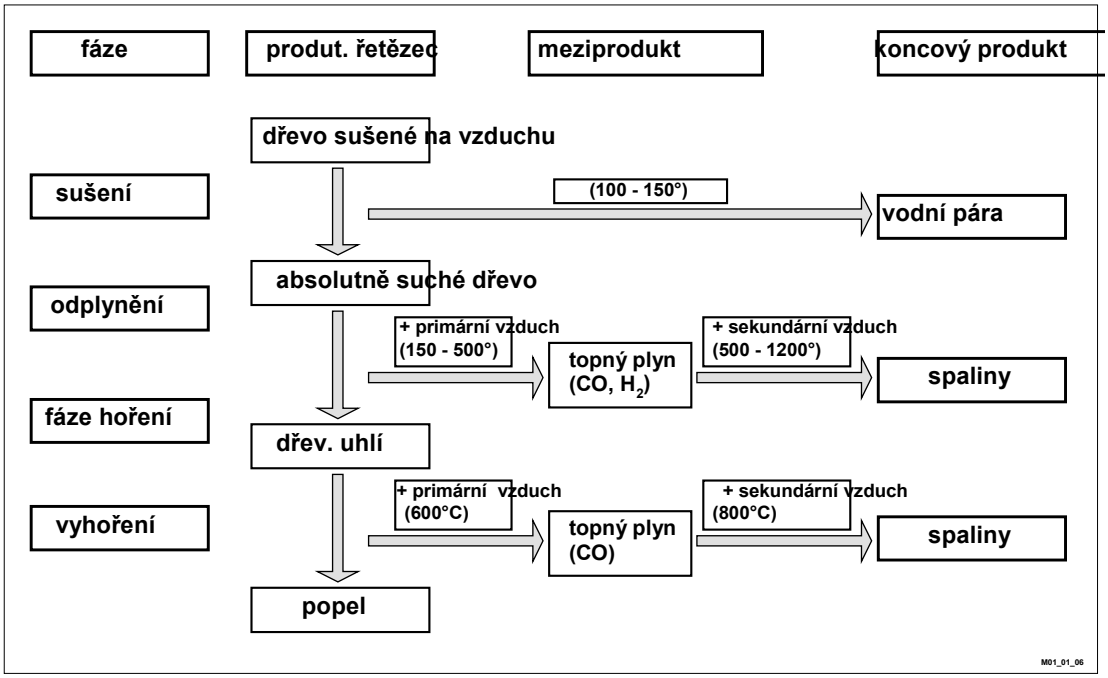
Obr. 1-5: Roční čára trvání zatížení a produkce tepla kotlem na biomasu a špičkovým kotlem (letní provoz s kotlem na biomasu)

2. Spalovací technika

2.1. Procesy při spalování biomasy

Spalovací procesy u pevných paliv je možné rozdělit do tří hlavních fází: sušení, odplynění a vyhoření zbytkového koksu (Obr. 2-2).

- **Sušení:** Lokálně začíná sušení při dosažení teploty povrchu okolo 100 °C. Zatímco biomasa uvnitř ještě schne, na povrchu již začíná odplynění.
- **Odplynění:** U biomasy začíná odplynění při asi 200°C (pro srovnání u černého uhlí teprve při asi 450°C). Po dosažení teploty pro odplynění unikají z paliva těkavé částice. Čím menší je velikost zrn paliva, tím větší je specifický povrch podílející se na přechodu tepla a tím více tepla se přenese na hmotu paliva. Přiměřeně tomu se palivo rychleji ohřeje a zapálí. Vypuzené těkavé částice paliva reagují s kyslíkem, který je k dispozici.
- **Vyhoření zbytkového koksu:** Po uvolnění těkavých části zůstane zbytkový koks. Tento se s atmosférickým kyslíkem spálí na CO_2.

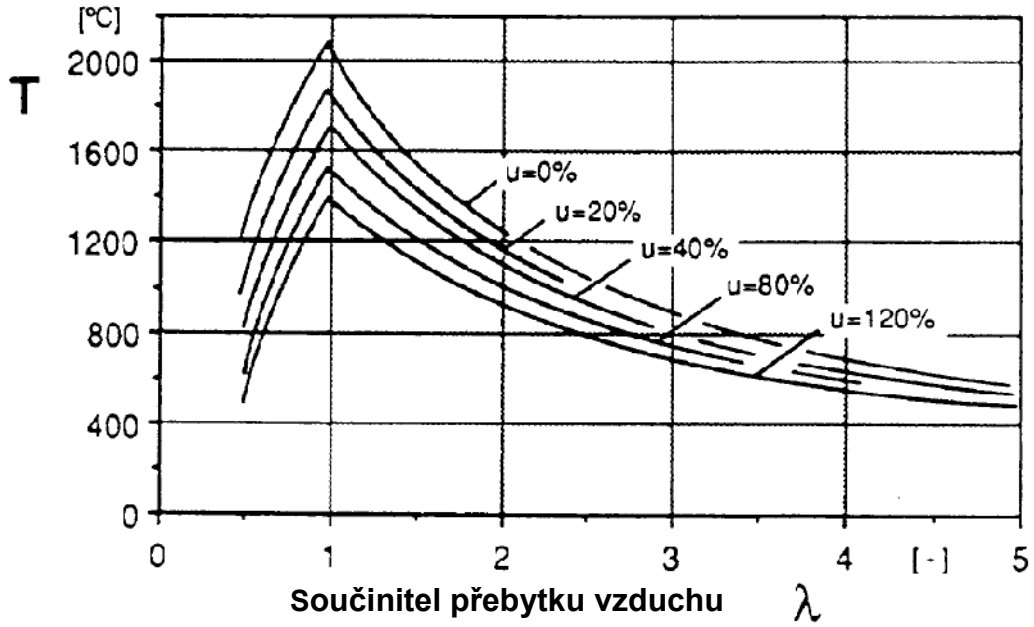


Obr. 2-2: Spalování biomasy [2]

- Spalovací teplota

Při spalování biomasy se v hlavní zóně spalování dosahuje, v závislosti na palivu a způsobu spalování, teplot v rozmezí od 900 do 1 300°C. Spaliny se na ke konci spalovací komory ochlazují na 600 až 700°C.

Spalovací teplota je důležitá nejen v souvislosti se zažehnutím, vyhořením a vytvářením škodlivých látek, ale ovlivňuje také celkový proces, jako například namáhání materiálů. Dosažitelná teplota bez odvodu tepla je **adiabatická spalovací teplota.** Ta je závislá na součiniteli přebytku vzduchu (což je poměr přidaného množství vzduchu a minimálního množství vzduchu potřebného pro úplné spálení) a výhřevnosti paliva. (Obr. 2-3).



Obr. 2-3: Adiabatická spalovací teplota v závislosti na vlhkosti dřeva a součiniteli přebytku vzduchu [3]

- Vznik škodlivých látek při spalovacích procesech

Při spalování uhlovodíků vzniká převáženě vodní pára a oxid uhličitý. Biomasa je oproti fosilním nosičům energie považována za CO_2 neutrální, protože jejím tepelným využitím se uvolňuje pouze takové množství CO_2, jaké během svého růstu odebrala z atmosféry. Navíc vznikají při spalování mezi jiným následující emise:

- kysličník uhelnatý (CO)
- uhlovodíky (C_xH_y v plynné fázi)
- sloučeniny chlóru (HCl, dioxiny, furany)
- oxidy síry (SO_2, SO_3)
- oxidy dusíku (NO, NO_2 a N_2O)
- částice (popel, neshořelé palivo, saze)

Produkty neúplného spalování: Produktem neúplného spalování je např. oxid uhelnatý (CO) a uhlovodíky (C_xH_y). Jako meziprodukt mohou při spalování uhlovodíků vznikat také saze. Neúplné vyhoření plynu vzniká když:

- je teplota v ohništi příliš nízká,
- je doba setrvání spalin v topeništi příliš krátká,
- není k dispozici potřebné množství spalovacího vzduchu nebo je vzduch špatně promíchán s kouřovými plyny.

Za pomocí vhodného provedení topeniště je možné produkty neúplného spalování téměř úplně odbourat na CO_2 a H_2O.

Sloučeniny chlóru: Sloučeniny chlóru jsou relevantní především při vytápění stébelninami. Dřevitá biomasa oproti tomu vykazuje jen velmi malý obsah chloru, který se často pohybuje pod hranicí dokazatelnosti.

Oxidy síry: Při spalování paliv obsahujících síru je síra emitována především jako oxid siřičitý v plynném stavu, pokud ovšem nejsou přijata opatření sloužící k navázání síry do pevných zbytků spalování.

Kvůli malému obsahu síry v biomase mají emise SO_2 při použití tohoto paliva jen malý význam.

Oxidy dusíku: Zde sledované oxidy dusíku ve vytápěcích zařízeních, obecně označované jako NO_x, sestávají asi z 95 % z NO a z 5 % z NO_2. Teprve v atmosféře (při vyšším parciálním tlaku kyslíku a nižších teplotách než v ohništi) probíhá téměř dokonalá přeměna na NO_2. Tvoření oxidů dusíku při spalování probíhá ze zásady třemi různými způsoby:

- vytvářením palivového NO_x
- vytvářením termického NO_x
- vytvářením promptního NO_x

Při technicky běžných teplotách spalování (1.000 až 1.300°C) vznikají oxidy dusíku téměř výlučně uvolňováním dusíku z paliva. Termický NO_x získává na významu teprve při vyšších teplotách. Promptní NO_x hraje podřadnou roli.

Celkem vzato je možné říci, že vytvářené množství NO_x je ovlivňováno následujícími faktory:

- Celkovou stechiometrií: Tou je ovlivňována koncentrace atomového kyslíku. S ubývajícím přebytkem vzduchu ubývají v obvyklém případě emise NO_x.

© 2005 Evropské centrum pro obnovitelné energie Güssing GmbH

- Stechiometrií v primární zóně: Rychlým uvolňováním těkavých částic při podstechiometrických podmínkách je možné redukovat Nox, což je užitečné u primárních opatření pro snížení oxidů dusíku.
- Teplotou v reakční zóně: Rovnoměrným a rychlým promícháváním reagujících prvků v plameni je možné zabránit špičkovým teplotám a tím také do značné míry tvoření termického Nox.
- Dobou setrvání plynů v reakční zóně: Čím kratší je doba setrvání, tím méně termického Nox se tvoří.
- Částice a pevné zbytky (popel).

Při spalování biomasy zůstává v palivu obsažený popel. V popeli může být v závislosti na kvalitě vyhoření ještě obsažena část hořlavých látek. Pevné zbytky ze spalování se rozdělují do dvou frakcí. Na jedné straně jsou to částice, které se pohybují se spalinami a jsou označovány jako popílek. Na druhé straně vzniká hrubý spečený popel a struska, které se ze zařízení odstraňují jako roštový a hrubý popel.

Další emise částic mohou být způsobeny tvořením sazí, které vznikají při nevýhodných podmínkách spalování jako produkt spalování uhlovodíků.

Spalovací technikou a způsobem vytápění je ovšem možné ovlivňovat emise částic jen omezeně. Kvůli bezpečnějšímu dodržování mezních hodnot emisí je ovšem v každém případě třeba počítat se zařízením na odprášení spalin.

© 2005 Evropské centrum pro obnovitelné energie Güssing GmbH

3. Skladování paliva

Pro překlenutí časového údobí mezi vznikem biomasy a jejím energetickým využitím je často nezbytné její skladování. Dlouhodobé vytváření skladových rezerv má svůj smysl především u dodavatelů biomasy. Aby bylo možné zajistit zásobování palivem, je nezbytné dodatečné krátkodobé skladování přímo u spalovacího zařízení.

HUSTOTA ENERGIE: Sypná hustota jakož i energiová hustota (obsah energie na objem) biomasy je ve srovnání s fosilním palivy značně nižší. Z toho vyplývá srovnatelně větší potřeba místa pro skladování (Obr. 3-4).

Nosič energie	Obsah vody	Výhřevnost (H_u)		Sypná hustota	Objem vztažený na obsah energie		
	%	kWh/kg	MJ/kg	t/m³	m³/MWh	m³/GJ	ve vztahu k TEL
Dřevěná štěpka (střední hodnota)	15	4,3	15,5	0,24	1,0	0,28	10
Listnaté dřevo	15	4,3	15,5	0,27	0,9	0,25	9
Jehličnaté dřevo	15	4,3	15,5	0,21	1,2	0,33	12
Topný olej extra lehký (TEL)		11,9	42,8	0,84	0,1	0,03	1
Černé uhlí	6	8,3	29,9	0,87	0,14	0,04	1,4

Obr. 3-4: Průměrné hodnoty vztahující se na potřebu skladovacího prostoru [1]

SKLADOVACÍ KAPACITA: Dimenzování krátkodobého skladiště by mělo proběhnout takovým způsobem, aby bylo možné provádět zásobování energetického zařízení palivem i ve dnech, kdy neprobíhají dodávky paliva (svátky, povětrnostní vlivy atd.). Skladovací kapacita by měla postačovat k tomu, aby bylo možné zajistit zásobování palivem alespoň po dobu 3 až 5 dní. V závislosti na lokalitě a koncepci logistiky může pro vytvoření skladových zásob paliva být vhodné počítat ve výtopně s větší kapacitou.

Skladování u výtopny či teplárny má většinou následující podobu:

- nadzemní kulaté silo (většinou z oceli, nad kotlem nebo vedle něj)
- nadzemní skladovací hala (částečně ze dřeva dobře větratelná, vedle kotle)
- výměnný kontejner
- podzemní skladovací prostor (většinou ze železobetonu, plnění za pomocí nákladních aut nebo kolových nakladačů)

3.1. Dopravní systémy ve skladu

Přivážení paliva do skladu a ze skladu za účelem zavážení kotle se liší podle druhu úpravy paliva a provedení skladu.

- štěpka

Podle typu skladu a instalace kotle jsou k dispozici různé systémy. Obr. 3-2 ukazuje nejčastěji používané systémy. Vedle toho se u zařízení s většími výkony (přes 5 až 10 MW) používají také jeřábová zařízení pro přepravu ze skladu do šachty topeniště.

Systém	Druhy skladu	Velikost skladu	max. výška sila	max. délka hran dřeva	max. výkon
			[m]	[cm]	m³/h]
Dopravní šnek	kulatý	∅ do 10 m	20	10 – 20	150
Posuvná podlaha	obdélníkové dlouhé sklady	paralelním uspořádáním několika posuvných podlah - žádné omezení	10	10 – 20	20
Pohyblivý šnek	obdélníkový	šířka do 6m	15	10 – 20	100

Obr. 3-5: Parametry běžných skladových dopravních systémů [1]

4. Spalovací technika

Volba systému závisí vedle velikosti zařízení také na tom, jakou formu má biomasa, která se má spalovat (např. třísky, řezanka, pelety, balíky).

- **Balíky** je možné spalovat v cigárových topeništích, která se mohou používat v rozmezí výkonů 1 MW až maximálně 20 MW.
- **Dřevěná polínka** se mohou používat v šachtových a posuvných roštových topeništích.
- Dřevo zpracované na **štěpku** je možné používat téměř ve všech vytápěcích systémech (šachtových topeništích, topeništích se spodním přívodem paliva, roštových a fluidních topeništích).
- **Pelety** vykazují možnosti použití ve vytápěcích zařízeních podobně jako štěpka.
- **Řezanku** ze stébelnin je možné používat v topeništích se spodním přívodem paliva, posuvných roštových topeništích a za určitých podmínek i ve fluidních topeništích v rámci velmi širokého rozmezí výkonů.
- **Třísky** ze dřeva se mohou až do určitého podílu v palivu spalovat v topeništích se spodním přívodem paliva. V posuvných roštových, cyklónových a fluidních topeništích neexistují žádná omezení.
- **Biomasu ve formě prachu** je možné používat pouze v cyklónových topeništích Ta se obvykle projektují pouze nad minimální výkon okolo 500 kW.

Způsob spalování	Zavážení	Vhodná biomasa	Běžný výkon topeniště
Šachtové topeniště	Ruční zavážení	Zbytky dřeva, polínka, štěpka	20 kW – 250 kW
Předtopeniště	Mechanické	Štěpka	35 kW – 3 MW
Topeniště se spodním přívodem paliva	Mechanické	Štěpka, třísky	20 kW – 2 MW
Roštové topeniště pro dřevo	Mechanické	Dřevo, kůra, vlhká paliva ve velkých kusech s vysokým obsahem prachu	Od 1MW
Roštové topeniště pro stébelniny	Mechanické	Balíky ze stébelnin	2,5 MW – 20 MW
Fluidní topeniště	Mechanické	Dřevo, kůra, paliva s vysokým obsahem vody	Od 10 MW
Cyklónové topeniště	Pneumatické	Prach, třísky ze dřeva a obilovin	od 200 kW

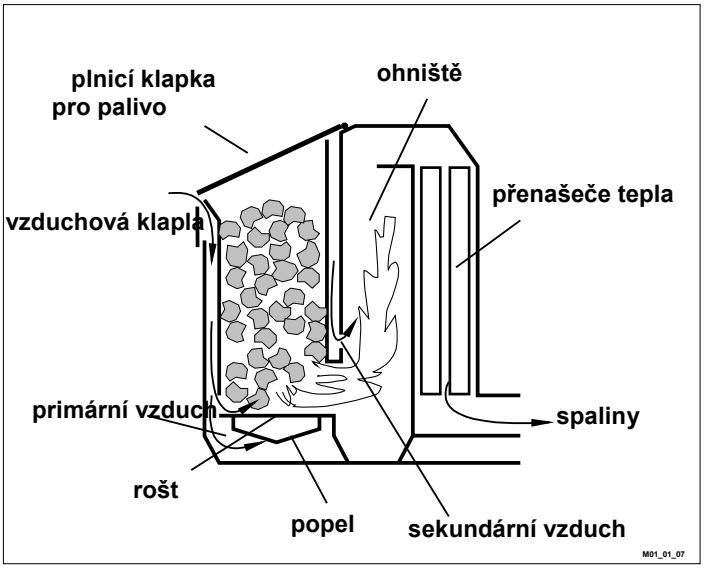
Obr. 4-6: Způsoby spalování [1]

Zařízení pro spalování biomasy si kladou za cíl pokud možná co nejefektivnější výrobu tepla a elektřiny s nízkou úrovní škodlivin. Technologie spalování dřeva jsou technicky vyzrálé a vyzkoušené. Postupy pro energetické využití ostatních biomas oproti tomu představují poměrně mladé technologie, které jsou na trh dostupné jen částečně. Srovnání jmenovaných způsobů spalování je znázorněno na obr. 4–1.

© 2005 Evropské centrum pro obnovitelné energie Güssing GmbH

4.1. Šachtová topeniště

Zařízení pracují na principu dolního nebo bočního vyhoření (plamen zasahuje do spalovací komory ze spodu nebo ze strany). Přívod vzduchu přirozeným tahem nebo dmýchadlem probíhá u moderních zařízení odděleně ve formě primárního a sekundárního vzduchu. Primární vzduch se přivádí do prostoru pod roštem a vedle roštu, sekundární vzduch se přivádí do přímo do plameniště (obr. 4-2). Poté co plyny ve spalovacím prostoru vyhoří, jsou odvedeny skrze předavač tepla.



Obr. 4-2: šachtové topeniště

Šachtová topeniště se používají ve spodním rozsahu výkonů od 20 kW až do 250 kW pro spalování kusového dřeva a štěpky.

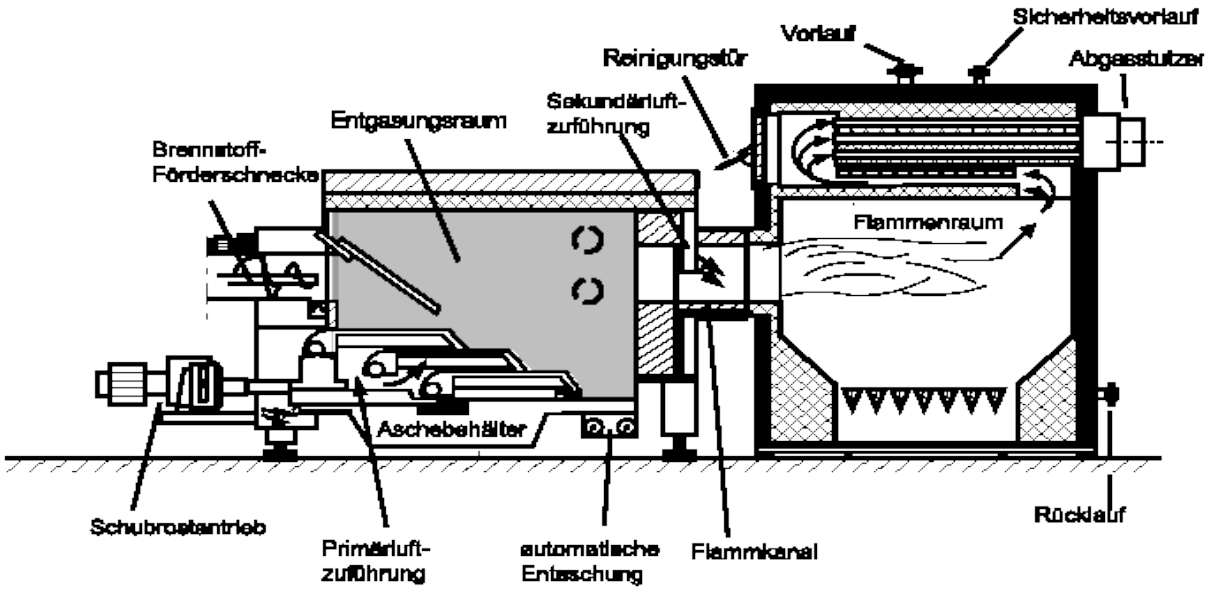
4.2. Předtopeniště

Předtopeniště (obr. 4-3) sestává z odděleného ohniště, které je provedeno jako odplyňovací prostor, a z kotle s plameništěm chlazeným vodou. Palivo je dopravováno do vyzděného odplyňovacího prostoru buď padací šachtou, nebo šnekovým transportérem. V odplyňovacím prostoru se palivo za pomocí dávkovaného přidání vzduchu částečně spálí. Uvolněním energie se zbylá část paliva promění na plyn. Plynné produkty se dostanou do plameniště. Zde se smíchají se sekundárním vzduchem a úplně shoří. Následně jsou horké spaliny vedeny kotlem a zde předají svou energii teplonosnému médiu.

Pro paliva s nízkým obsahem popela je odplyňovací prostor opatřen statickým šikmým roštem, pro vlhká paliva a paliva bohatá na popel je možné nainstalovat posuvný rošt. Předtopeniště mohou být provozována plně automaticky a kontinuálně a vyznačují se dobrou regulovatelností.

Předtopeniště jsou k dispozici v rozmezí výkonů od 35 kW do 3 MW tepelného výkonu topeniště. Jsou obzvláště vhodná pro dřevitá paliva ve formě štěpky.

© 2005 Evropské centrum pro obnovitelné energie Güssing GmbH



Obr. 4-7: Předtopeniště s posuvným roštem [1]

LEGENDA Obr. 4-3

Brennstof-Förderschnecke: šnekový dopravník pro palivo

Entgasungsraum: odplyňovací prostor

Sekundrärluftzuführung: přívod sekundárního vzduch

Reinigungstür: čistící dveře

Vorlauf: tok vpřed

Sicherheitsvorlauf: bezpečnostní tok vpřed

Abgasstutzen: nátrubek pro odpadní plyn

Schubrostantrieb: pohon posuvného roštu

Primärluftzuführung: přívod primárního vzduchu

Aschenbehälter: zásobník na popel

Flammkanal: kanál plameniště

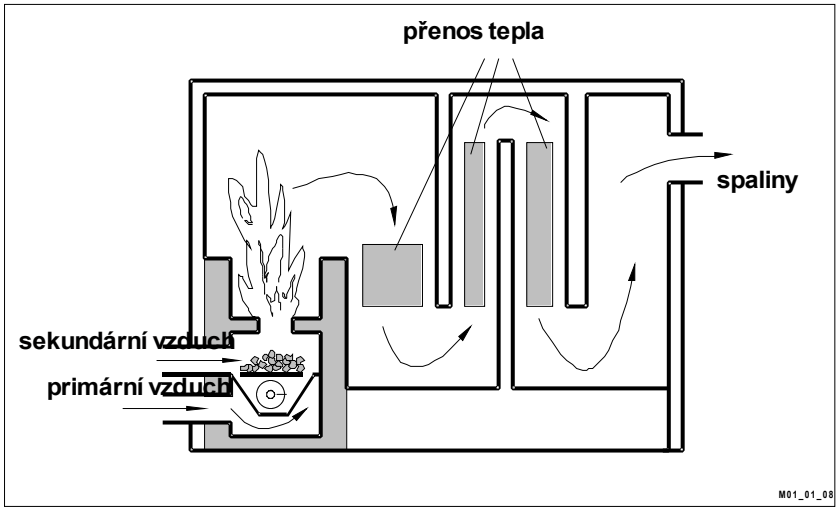
Rücklauf: zpětný tok

Flammenraum: plameniště

4.3. Topeniště se spodním přívodem paliva

Topeniště se spodním přívodem paliva se za pomocí šnekového transportéru zaváží automaticky ze sila (obr. 4-4). Palivo se pomocí mechanického přikladače přivádí zdola prohloubení ve spalovacím prostoru. Při přivádění paliva je také třeba počítat s bezpečnostními zařízeními (např. termostatem a přípojkou požární vody).

V prohlubni spalovacího prostoru se palivo suší, odplyní a s pomocí primárního vzduchu se promění na plyn. Přitom vznikající plyny se s primárním vzduchem dostanou skrze vrchní žhavou vrstvu, zapálí se a za pomocí sekundárního vzduchu se úplně spálí. Popel vzniklý v prohlubni spalovacího prostoru se odstraní motorově poháněným vyprazdňovacím šnekem. Tento typ vytápění je široce rozšířen v oblasti tepelného využití štěpky v dřevařském průmyslu, protože pracuje téměř plně automaticky a ve srovnání s ostatním způsoby spalování využívajícími cyklónová nebo roštová topeniště sestává z nemnoha částí, které jsou poměrně jednoduché. Topeniště se spodním přívodem paliva se nabízejí v širokém rozmezí výkonu od 20 kW do 2 MW.



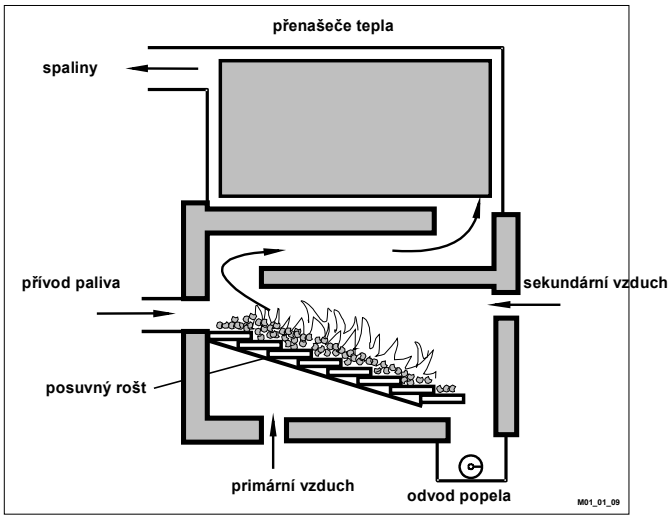
Obr.4-4: Topeniště se spodním přívodem paliva

4.4. Roštová topeniště pro dřevitou biomasu

Roštová topeniště se nejčastěji používají v oblasti výkonů okolo 1 MW a větších.

V současnosti jsou pro vytápění za pomocí dřevité biomasy k dispozici topeniště s **posuvným**, **pohyblivým** a **vratným roštem**. Jako palivo je vhodná i problematická biomasa jako vlhké zbytky dřeva nebo odřezky kůry. Topeniště s posuvným roštem je schematicky znázorněno na obr. 4-5. Rošt se zaváží ze skladu paliva za

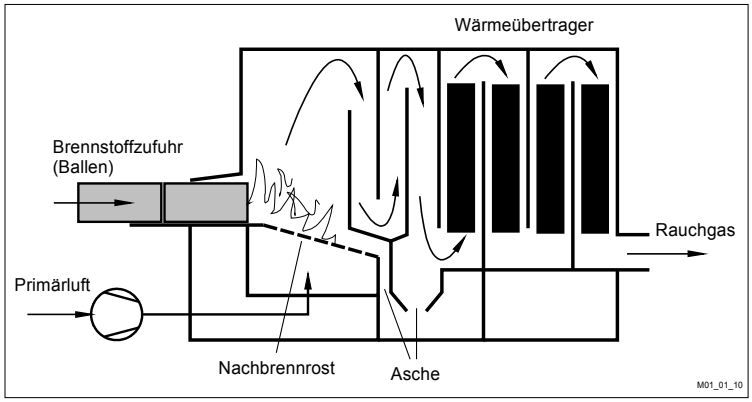
pomocí šnekového dopravníku nebo hydraulickým mechanickým nakladačem až po plnící okraj. Pohybem roštu se palivo dopravuje přes rošt. Vysychá, pyrolyzuje, zplyňuje



Obr. 45: Topeniště s posuvným roštem

se a během přípravné fáze se úplně spaluje. Primární vzduch se vhání pod a sekundárních vzduch nad rošt a před dohořívací zónu částečně opatřenou šamotem.

Roštová topeniště pro stébelniny: Takzvaný cigárový hořák je v podstatě roštovým topeništěm. Při tomto typu topeniště se balíky pomalu posunují do spalovacího prostoru, přičemž vyhořívání probíhá čelně. Odlomené a nespálené vrstvy slámy padají jako menší balíky na šikmý rošt a úplně tam dohoří. Chlazení vodou, klapky na podávacím zásobníku proti opětovnému vznícení a nastavení dostatečné minimálníí rychlosti posuvu brání prohoření balíků zpět proti směru podávání. Přednosti této technologie spočívají v menší potřebě úpravy paliva, kontinuálním přísunu paliva a relativně jednoduché konstrukci zařízení.



Obr. 46: cigárový hořák

LEGENDA:

Brennstofzufuhr (Ballen): přívod paliva (balíky)
Wärmeüberträger: přenašeče tepla
Rauchgas: spaliny
Asche: popel
Nachbrennrost: dohořívací rošt
Primärluft: primární vzduch

Průřez balíků a nejmenší povolená rychlost posuvu určují minimální výkon tohoto způsobu spalování. Teplota měknutí popela (teplota, při které se popel začíná tavit), která je ve srovnání se dřevem a slámou nízká, může vést k tomu, že se palivo speče a zabrání prostupování vzduchu roštem. Maximální teplota ve spalovacím prostoru by neměla být výšší než 800 °C až 900 °C.

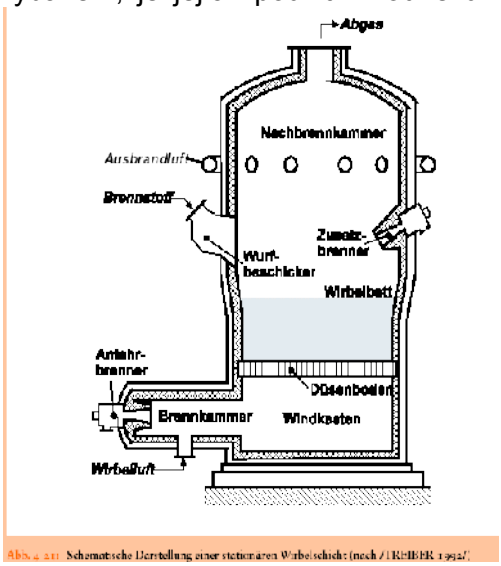
4.5. Stacionární fluidní topeniště

Při fluidním spalování se palivo spaluje při 800 °C až 900 °C na fluidním lůžku, které se z95 % až 98 % skládá z inertního materiálu (např. písku) a pouze ze 2 % až 5 % z hořlavého materiálu. Na obr. 4-7 je schematicky znázorněna stacionární fluidní vrstva. Fluidní lůžko se vytváří přísunem fluidizačního vzduchu přes tryskové dno. Palivo se v tomto případě přidává mechanickým pohazováním shora na fluidní lože, palivo je však také možné přivádět za pomocí šnekového transportéru přímo do fluidního lože. Zde probíhá odplynění a zplynění paliva a odhoření pevného uhlíku. Velká část těkavých částic se spálí v dohořívací komoře. Horký odpadní plyn opouští spalovací komoru a je veden do předavače tepla. Protože jsou

stacionární fluidní topeniště náročnější na přístrojové vybavení, je jejich použití vhodné u větších zařízení (> 10 MW).

LEGENDA Obr. 4-7

Anfahrabrenner: hořák
Brennstoff: palivo
Wirbelluft: fluidní vzduch
Brennkammer: spalovací komora
Windkasten: okružní větrovod
Düsenboden: tryskové dno
Wirbelbett: fluidní lože Zusatzrbrenner: přídavný hořák
Wurfbeschicker: mechanický pohazovač
Nachbrennkammer: dohořívací komora
Ausbrandluft: vzduch z vyhoření Abgas: spaliny



Obr. 47: Stacionární fluidní vrstva [1]

4.6. Cirkulující fluidní vrstva

Cirkulující fluidní vrstva se liší od vrstvy stacionární značně větším přidáváním vzduchu pod fluidní lože, kterým je lože vynášeno. V připojeném cyklonu se materiál lože oddělí od spalin a sifonem se opět přivede do topeniště. Sem se také za pomocí šnekového transportéru dopravuje palivo. Princip fungování cirkulující fluidní vrstvy je znázorněn na obr. 4-8.

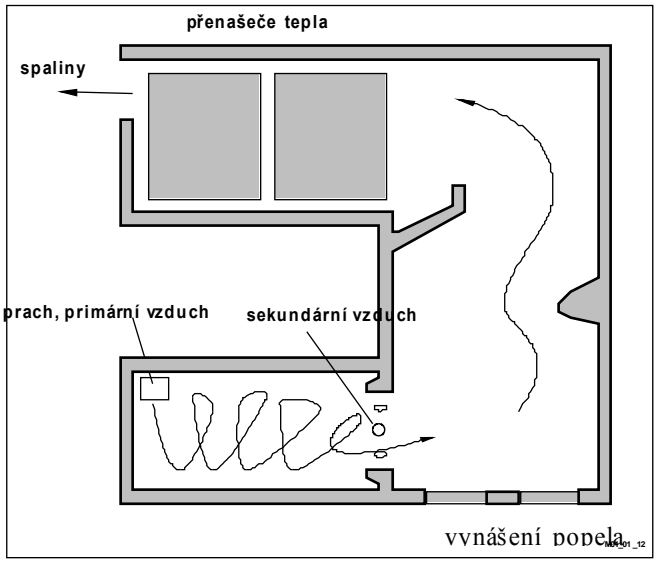
Protože je cirkulující fluidní vrstva náročnější na přístrojové vybavení než stacionární, je její použití omezeno na zařízení s tepelným výkonem topeniště větším než 30 MW.

Obr. 4-8: cirkulující fluidní vrstva [1]

4.7. Cyklónová topeniště

Palivo s primárním vzduchem se tangenciálně vhání do spalovací komory a vytváří se rotující proudění.

V oblasti zúžení se vhání sekundární vzduch. Toto zúžení způsobuje zvýšení rychlosti a tím také dobré promíchání spalin se sekundárním vzduchem. Cyklónová topeniště mají pro biomasu smysl obzvláště tehdy, pokud se palivo nachází ve velmi jemné formě. Tento případ se často vyskytuje v provozech dřevozpracovatelského průmyslu, který produkuje jemné třísky jako zbytkový



matriál. Cyklónová topeniště na biomasu jsou k dispozici v rozmezí tepelných výkonů od 200 kW do asi 50 MW.

Obr. 4-9 – cyklónové topeniště

4.8. Předavač tepla/ kotel

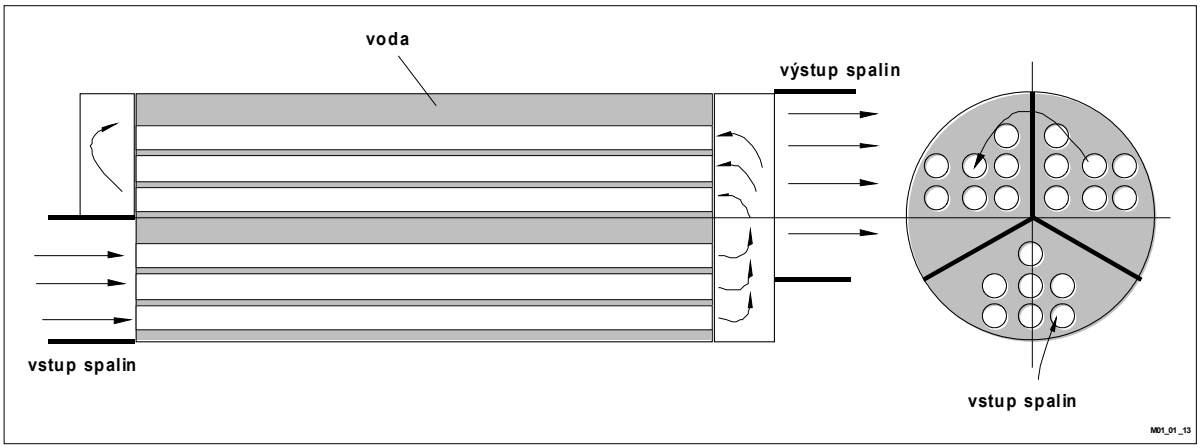
Transport tepla mezi spalinami a ohřívanou tekutinou probíhá v kotli, který je připojen k topeništi. Jako tepelné médium se většinou používá voda. V ojedinělých případech se používá také olej. Účinnost kotle je poměr tepelného výkonu kotle k možnému tepelnému výkonu paliva a je určován následujícími ztrátami:

- ztráty kvůli nedopalu (ztráty v topeništi) v popelu (nespálený uhlík) a spalinách (CO, C_nH_m)
- povrchové ztráty (izolační ztráty) v důsledku tepelných ztrát ven přes povrch kotle
- ztráta tepla spalinami kvůli obsahu energie v odváděných spalinách

Ve většině případů jsou ztráty tepla spalinami mnohem větší než ostatní výše uvedené. Kvůli dosažení vysoké účinnosti kotle je proto nutné spaliny pokud možná do nejvíce ochlazovat. Do jaké míry je možné spaliny ochlazovat, závisí na teplotě zpětného toku nosiče tepla (ta zase závisí na použití tepla).

Podle konstrukčního principu rozlišujeme žárotrubné a vodotrubné kotle.

Žárotrubný kotel: Nejrozšířenějším ze všech žárotrubných kotlů je třítahový kotel (obr.4-10). U tohoto typu proudí kouřové plyny kotlem třikrát horizontálním směrem. Kouřový plyn je přitom veden troubami kouřovodu, které jsou omývány ohřívaným médiem. Třítahové žárotrubné kotle jsou konstruovány jako teplovodní a parní kotle až do parního výkonu 35 t/h a tlaku 32 bar.

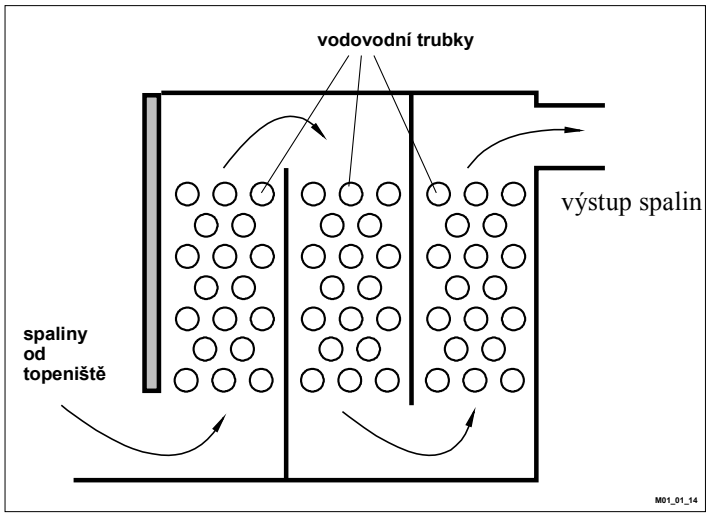


Obr. 4-10: Třítahový dýmovnicový kotel

Vodotrubný kotel: U všech vodotrubných kotlů se voda nachází v trubkách a kouřové plyny obtékají kolem vodních či parních trubek.

V oboru nízkých tlaků a výkonů jsou třítahové vodotrubné kotle široce rozšířeny. Při této konstrukci kotle obtékají kouřové plyny ve třech tazích trubky předavače tepla. Tento typ je možné postavit velmi kompaktně s integrovaným topeništěm.

Nevýhodu oproti žárotrubné variantě představuje značně ztížená možnost čištění předavače tepla. Díky menšímu množství vody v systému je možné vodotrubný kotel rychleji spustit a snadněji regulovat.

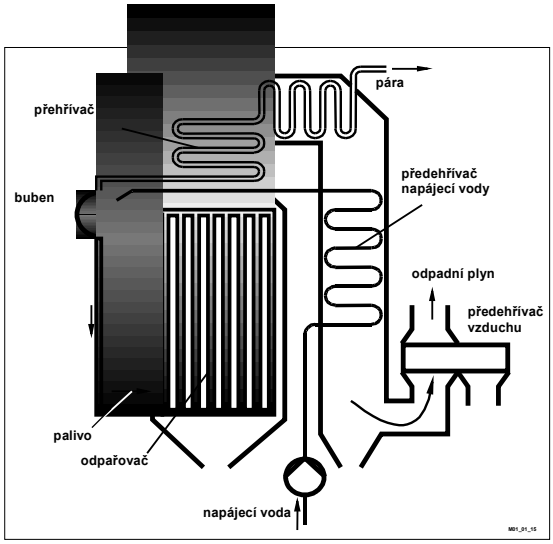


Obr. 4-11: Třítahový vodotrubní kotel

Vodotrubné kotle se používají také za účelem výroby páry pro výrobu elektřiny nebo pro parní procesy s vyššími tlaky a teplotami. Často jsou v koncipovány jako (samotížně) cirkulační nebo průtokové kotle. Průtokové kotle jsou projektovány pro nejvyšší tepelné výkony topenišť v oblasti elektráren. Kvůli většinou omezeným tepelným výkonům u topenišť na biomasu se v této oblasti používají téměř výlučně cirkulační kotle.

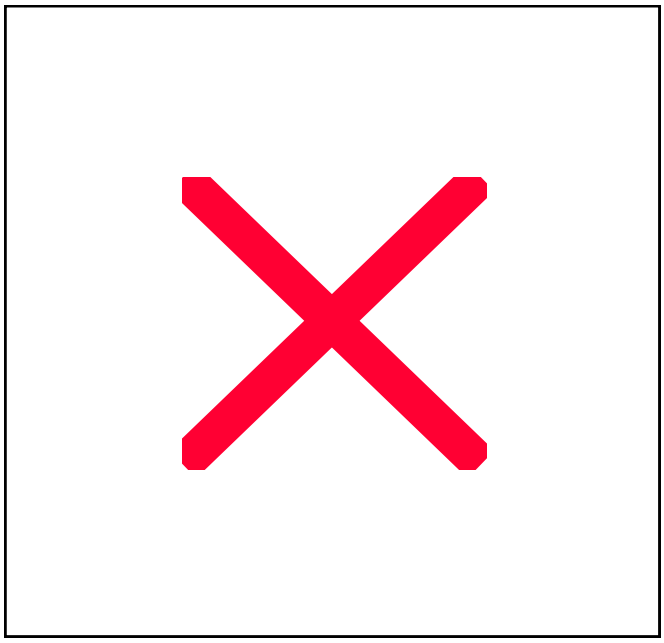
U vyvíječů páry s vyššími výkony se výhřevná plocha skládá z rozsáhlého systému paralelních trubek, ve kterých se voda předehřívá do bodu varu, odpařuje a dochází k přehřátí páry. Vyvíječ páry se tedy skládá z různých výhřevných ploch jako předehřívače vody, odpařovače a přehřívače. U cirkulačních systémů se při každém oběhu odpaří v trubkáck jen část vody. Oddělení vody a páry probíhá v parním bubnu umístěném na horní části kotle.

Na obr. 4-12 je znázorněna schématická konstrukce cirkulačního kotle. Stěny plameniště, ve kterých probíhá odpařování, se skládají z mnoha paralelně probíhajících trubek, které jsou spojeny přechodovými můstky (trubky s podélnými žebry). Spalování probíhá ve spodním prostoru ohniště.



© 2005 Evropské centrum pro obnovitelné energie Güssing Gm
Renet –Kompetenzknoten Güssing Výzkumný institut pro obnov

Obr. 4-12: Schéma přirozeného cirkulačního kotle



5. Odkazy na literaturu

[1] Fachagentur nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.) 2000: Leitfaden Bioenergie

[2] Bundesanstalt für Landtechnik, Wieselburg, 2002: Technik der Holzfeuerung

[3] ETH Zürich LTNT, 2004: Vorlesungsskriptum: Technik erneuerbarer Energien II

[4] Obernberger, 1997: Stand der Entwicklung der Spalovací technika, VDI-Bericht 1319, Thermische Biomassenutzung – Technik und Realisierung