

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

TEPLOVODNÍ KOTLE NA SPALOVÁNÍ BIOMASY

BIOMASS HEATING BOILER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

Tomáš Huvar

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

Doc. Ing. ZDENĚK SKÁLA, CSc.

SUPERVISOR

Brno 2009



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma:

Teplovodní kotle na spalování biomasy,

vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce pana Doc.Ing. Zdeňka Skály, CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne

.....



Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, panu Doc. Ing. Zdeňkovi Skálovi, CSc., za účinnou podporu a obětavou pomoc při zpracování bakalářské práce.



Anotace

Bakalářská práce se zabývá tepelným výpočtem kotle s automatickým přikládáním o výkonu 250 kW. V práci je popsán systém spalování dřevní štěpky, spalovací komory a trubkovnice.

Klíčová slova

biomasa, tepelné zatížení teplosměnných ploch

Annotation

This Bachelor's thesis deals with the thermal calculation of boiler with automatic underfeeding about the power of 250 kW. The work is described a system of burning wood chips, a system of combustion chamber and a system of flue sheet.

Keywords

biomass, heat loading of surface



1. ÚVOD	- 2 -
2. BIOMASA.....	- 3 -
2.1. DEFINICE BIOMASY	- 3 -
2.2. PODMÍNKY VZNIKU BIOMASY.....	- 3 -
2.3. ROZDĚLENÍ BIOMASY	- 4 -
2.4. BIOMASA JAKO PALIVO	- 5 -
2.5. VÝHŘEVNOST BIOMASY.....	- 6 -
2.6. ZPRACOVÁNÍ A ÚPRAVA BIOMASY.....	- 7 -
2.6.1. <i>Dřevěné pelety</i>	- 8 -
2.6.2. <i>Dřevěné brikety</i>	- 8 -
2.7. SPALOVÁNÍ BIOMASY.....	- 9 -
2.8. ZAŘÍZENÍ NA SPALOVÁNÍ BIOMASY.....	- 10 -
2.8.1. <i>Krby a kamna</i>	- 10 -
2.8.2. <i>Kuchyňské sporáky</i>	- 10 -
2.8.3. <i>Kotle</i>	- 10 -
3. TEPELNÝ VÝPOČET KOTLE	- 12 -
3.1. VLASTNOSTI PALIVA	- 12 -
3.2. STECHIOMETRIE.....	- 13 -
3.2.1. <i>Výpočty množství vzduchu</i>	- 13 -
3.2.2. <i>Složky spalin</i>	- 14 -
3.2.3. <i>Entalpie vzduchu a spalin</i>	- 16 -
3.3. TEPELNÁ BILANCE KOTLE:	- 19 -
3.3.1. <i>Ztráty kotle</i>	- 19 -
3.3.2. <i>Tepelná účinnost kotle</i>	- 20 -
3.3.3. <i>Výpočet množství paliva</i>	- 20 -
3.3.4. <i>Výpočet spalovací komory</i>	- 20 -
3.4. VÝPOČET TEPLOSMĚNNÝCH PLOCH	- 21 -
4. NÁVRH DOPRAVY PALIVA DO SPALOVACÍ KOMORY.....	- 28 -
4.1. NÁVRH ŠNEKOVNICE	- 28 -
4.1.1. <i>Objemové množství dopraveného materiálu za jednu otočku</i>	- 28 -
4.1.2. <i>Množství paliva dopraveného za jednu otočku</i>	- 28 -
4.1.3. <i>Čas otočení</i>	- 28 -
4.1.4. <i>Počet otáček za minutu</i>	- 28 -
5. TABULKA POUŽITÝCH VELIČIN	- 29 -
6. ZÁVĚR.....	- 32 -



1. ÚVOD

V 70. letech minulého století začala být respektována skutečnost, že zásoby fosilních paliv jsou konečné a jejich těžba bude stále dražší a komplikovanější. Po staletích plýtvání přírodním bohatstvím si člověk uvědomil, jak hodně je na primárních fosilních surovinách závislý a začal hledat zdroje, které mají obnovitelnou a tím pádem nevyčerpatelnou podstatu.

Východiskem z tohoto problému by měla být biomasa. Její výhodou je její dostupnost a ekologičnost. Při spalování fosilních paliv vzniká CO_2 a ten způsobuje zhoršení skleníkového efektu. Rostliny ke svému růstu potřebují určité množství CO_2 a stejné množství vzniká při jejich spalování. Skleníkový efekt tedy nijak neovlivní. Za vhodná paliva považujeme dřevo, dřevní odpady, slámu nebo rychle rostoucí rostliny.

Přes nesporné výhody zatím nejsou vytvořené podmínky pro větší masové rozšíření biomasy.



2. Biomasa

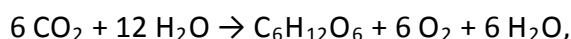
2.1. Definice biomasy

Biomasa je souhrn látek tvořících těla všech živých organismů, jak rostlin, tak i živočichů. V souvislosti s energetikou jde nejčastěji o dřevo a dřevní odpad, slámu a jiné zemědělské zbytky včetně exkrementů užitkových zvířat.

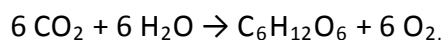
Jako další definici bychom mohli použít definici ekologickou. Ta nám říká, že biomasa je celková hmota jedinců tvořících určitý druh, skupinu druhů, nebo celá společenstva. U rostlin se vyjadřuje v hmotnosti sušiny, u živočichů také v čerstvé hmotnosti (v joulech, dřívě i v kaloriích, obsahu uhlíku, ap.). U půdních a vodních organismů může být vztažena také k celkovému objemu (litr, cm^3 , m^3). [9]

2.2. Podmínky vzniku biomasy

Hlavní úlohu při vzniku biomasy hrají fotosyntéza a fotochemické reakce. Fotosyntéza je jedním ze základních a rozhodně nejdůležitějším dějem probíhajícím v přírodě. Fotosyntézu lze popsat chemickou rovnicí:



která se však dá zjednodušit na rovnici:



kde:

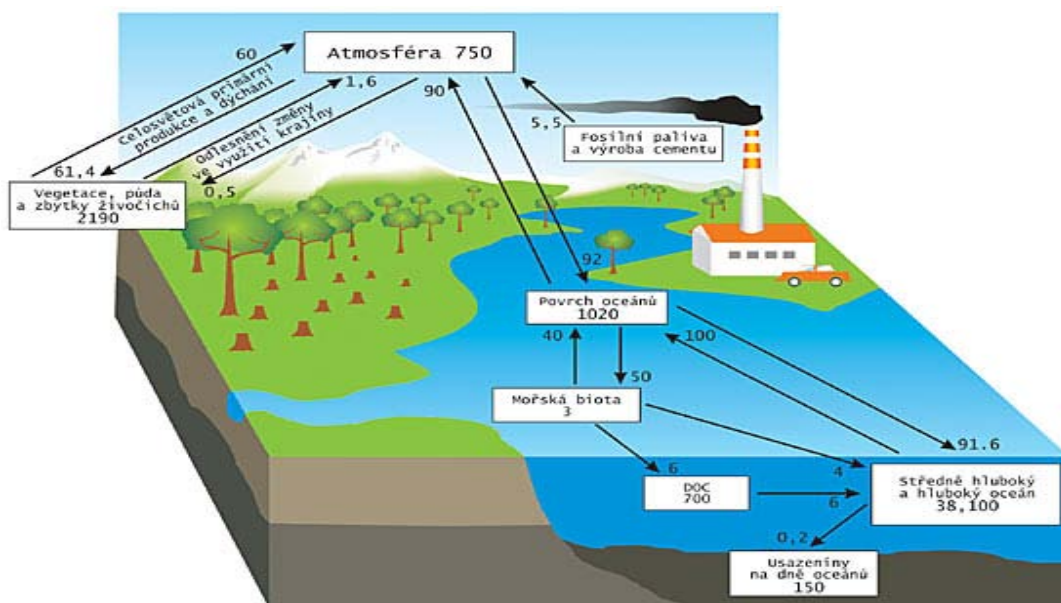
CO_2 oxid uhličitý

H_2O voda

$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ glukosa

O_2 kyslík

Fotosyntéza je nejčastěji probíhající chemická reakce na světě. Bez fotosyntézy by nebyl život na zemi možný, je totiž zdrojem kyslíku a chemické energie. Samotný průběh fotosyntézy je následující. Z oxidu uhličitého a vody vznikají organické látky. Přeměna probíhá za přítomnosti sluneční energie a působení enzymů. Rostliny jsou potravou pro mikroorganismy a živočichy, kteří nejsou fotosyntetičtí a ti jsou potravou pro člověka. [2]



Obr. 1: Pozemský uhlíkový cyklus planety zahrnuje CO₂, fosilní horniny a paliva, CO₂ v oceánech, vegetaci, zvířata včetně člověka a půdu.

Číselné údaje jsou v miliardách tun. Zdroj: Schimel, a kol.: Přírodní koloběh CO₂ a uhlíku. Climate Change 1994, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

2.3. Rozdělení biomasy

V přírodních podmínkách ČR lze využívat biomasu v následujících kategoriích:

1. Biomasa odpadní:

- Rostlinné odpady ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny - řepková a kukuřičná sláma, obilná sláma, seno, zbytky po likvidaci křovin a náletových dřevin, odpady ze sadů a vinic, odpady z údržby zeleně a travnatých ploch.
- Lesní odpady (dendromasa) - po těžbě dříví zůstává v lese určitá část stromové hmoty nevyužita (pařezy, kořeny, kůra, vršky stromů, větve, šišky).
- Organické odpady z průmyslových výroby - spalitelné odpady z dřevařských provozů (odřezky, piliny, hobliny, kůra).
- ze živočišné výroby - hnůj, kejda, zbytky krmiv, atd.

- Komunální organické odpady - kaly, organický tuhý komunální odpad (TKO).
2. Biomasa záměrně produkovaná k energetickým účelům, energetické plodiny:
- Lignocelulózové - dřeviny (vrby, topoly, olše, akáty), obiloviny (celé rostliny), travní porosty (sloní tráva, chrastice, trvalé travní porosty), ostatní rostliny (konopí seté, širok, křídlatka, šťovík krmný, sléz topolovka).
 - Olejnaté - řepka olejná, slunečnice, len, dýně na semeno.
 - Škrobno-cukernaté - brambory, cukrová řepa, obilí (zrno), cukrová třtina. [4]

2.4. Biomasa jako palivo

Dále se budeme věnovat nejčastěji využívaným druhům biomasy, a to dřevinám a dřevnímu odpadu. Lesní půda tvoří přibližně 1/3 celkové rozlohy České republiky, patříme tedy k nadprůměrně zalesněným státům Evropy. Význam dřevní hmoty spočívá především v tom, že jde o surovinu domácí, která je při racionálním využití trvale obnovitelná. V České republice je biomasa, vzhledem ke svému vysokému potenciálu využití, nejperspektivnějším obnovitelným zdrojem energie. Biomasu lze podle druhu využívat buď přímo, nebo mechanicky zpracovanou (štěpky, pelety, brikety).

Biomasa se podobně jako uhlí skládá ze tří složek:

hořlaviny (h), popeloviny (A^r) a vody (W^r).

Podobně jako u běžných druhů paliv jsou i u paliv z biomasy ukazateli kvality paliva zejména obsah vody, chemické složení hořlaviny paliva, obsah popela, obsah prchavé hořlaviny a výhřevnost paliva. [4]

Obsah vody

V energetice se vyjadřuje obsah vody tímto vztahem:

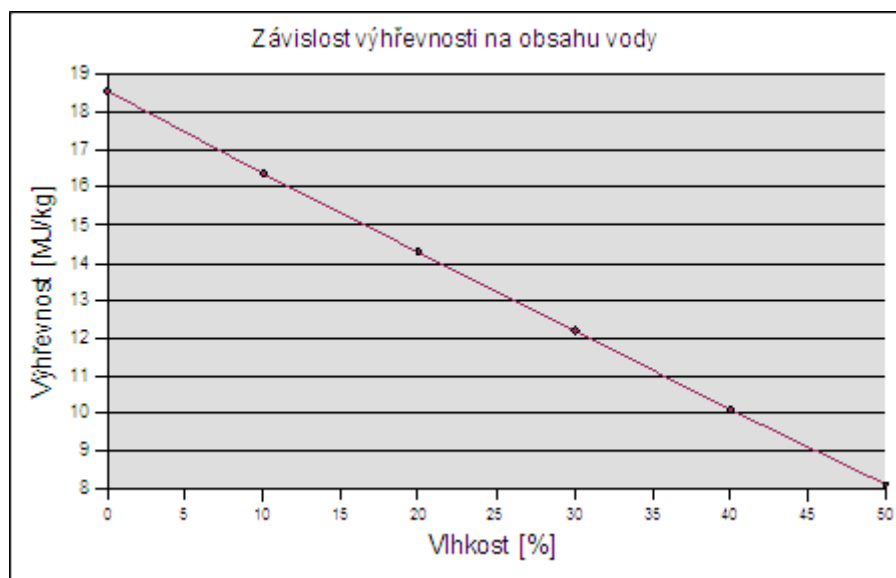
$$W = \frac{(M_v - M_s)}{M_v} = \frac{\Delta W}{M_v} \cdot 100 [\%] \quad [2]$$

M_v [kg] je hmotnost vzorku surové biomasy

M_s [kg] hmotnost vzorku po vysušení

ΔW [kg] je úbytek hmotnosti vzorku vlivem sušení

Před použitím je třeba biomasu částečně vysušit, protože s rostoucím obsahem vody se při spalování snižuje velikost získané energie. Za optimální se považuje vlhkost do 20 %, té lze ještě dosáhnout běžným sušením. Pro lisování briket nebo pelet musíme obsah vody v materiálu ještě snížit, zvýšenou teplotou, tedy dodáním tepla. [4]



Obr. 2: graf závislosti výhřevnosti biomasy na obsahu vody [2]

2.5. Výhřevnost biomasy

Z hlediska energetického využití jsou nejdůležitějšími vlastnostmi biomasy výhřevnost a spalné teplo.

Výhřevnost: Q_i^r je teplo uvolněné dokonalým spálením 1 kg paliva, při ochlazení spalin na 20°C, přičemž voda ve spalinách zůstane ve formě páry.

Spalné teplo: Q_s je teplo uvolněné dokonalým spálením 1 kg paliva, při ochlazení spalin na 20°C, přičemž voda zkondenzuje.

Výhřevnost biomasy je závislá na obsahu vody. Obsah vody v biomase kolísá, hodnota výhřevnosti se tak pohybuje ve velkém rozmezí. [5]

Různé druhy dřevin mají pro daný obsah vody prakticky stejnou výhřevnost, protože chemické složení hořlaviny různých druhů dřevin je téměř stejné.

Druh	Výhřevnost [MJ/kg]	Při vlhkosti [% hm]
Dřevo kusové	15,30	14,40
Dřevo-brikety	17,54	7,42
Dřevo-pelety	17,54	7,42
Dřevo-štěpka	9,84	41,74
Dřevěná kůra, mix	15,92	4,82
Dřevo+kůra, pelety	15,80	10,26
Dřevo+kůra, brikety	15,80	10,26
Papír, brikety	11,98	4,61
Sláma obilní	15,46	10,00
Sláma řepková	15,90	5,56
Sláma pšeničná	14,58	13,01
Sláma lisovaná, role, kvádry	15,46	10,00
Pelety	15,46	10,00
Sláma řepková, brikety	15,42	11,16
Řepkové šroty granulované	16,70	9,21
Slunečnicové slupky	24,05	5,22
Městské odpadky	8,14	33,00

Obr. 3: Výhřevnost a obsah vody různých druhů dřevin. [4]

2.6. Zpracování a úprava biomasy.

Před vstupem do vlastního energetického zařízení musí být biomasa obvykle upravována. V případě pevné formy biomasy se jedná obvykle o rozměrové úpravy (stříhání, sekání, drcení, resp. lisování, briketování, peletování). [12]

2.6.1. Dřevěné pelety.

Jedná se o slisované granule dřevní hmoty kruhového průřezu o průměru 6 mm, 8 mm, 14 mm a 20 mm a délce 1 až 5 cm. Pelety se lisují pod tlakem za vysokých teplot z kvalitních čistých pilin z měkkého dřeva i tvrdého dřeva. Neobsahují žádná pojiva, síru, těžké kovy ani jiné chemické příměsi. Výhřevnost dřevěných pelet činí 18-19 MJ/Kg, což je v žebříčku paliv řadí na místo mezi černým a hnědým uhlím. Při jejich spalování se uvolňuje pouze malé množství oxidu uhličitého, které vzápětí spotřebují stromy při růstu. Spalováním dřevěných pelet nedochází ke zvyšování emisí skleníkových plynů (CO_2). [11]



Obr. 4, 5: dřevěné pelety [6]

2.6.2. Dřevěné brikety.

Brikety se vyrábí pouze z kvalitních čistých dřevěných pilin, které vznikají jako vedlejší produkt dřevozpracujícího průmyslu. Dřevní odpady se nejprve rozdrtí na jemnou frakci, dále se suší na minimální vlhkost a bez jakéhokoliv pojiva se pod vysokým tlakem lisují do válcových nebo hranatých výlisků o vysoké hustotě. Dřevní brikety jsou lisovány do tvaru klasických briket cca 155x65x8 mm nebo do válcových tvarů o rozměrech průměru 90 mm a délky cca 270 mm. Výhřevnost dřevěných briket činí 18-19 MJ/Kg. Brikety jsou určeny pro krby, kachlová kamna a jiná topidla s menším příkládacím otvorem a ohništěm. Brikety můžeme vyrábět z více druhů dřeva:

- z tvrdého dřeva – buk, dub
- z měkkého dřeva - smrk, borovice, modřín
- z kůry. [9]



Obr. 6, 7: dřevěné brikety [7]

2.7. Spalování biomasy.

K nejlevnějším způsobům získávání tepla z biomasy v ČR patří spalování dřevního paliva. Spalování je chemický proces rychlé oxidace, kterým se uvolňuje chemická energie vázaná ve spalovaném palivu na energii tepelnou. Jedná se o nejjednodušší metodu pro termickou přeměnu organických paliv za dostatečného přístupu kyslíku na tepelnou energii. Tepelná energie získaná spalováním se pak využívá pro vytápění a ohřev vody, jiné technologické procesy nebo pro výrobu elektrické energie. Ze suché biomasy se působením vysokých teplot uvolňují hořlavé plynné složky, tzv. dřevoplyn. Jestliže je přítomen vzduch, dojde k hoření, jde tedy o prosté spalování. Pokud jde o zahřívání bez přístupu vzduchu, odvádí se vzniklý dřevoplyn do spalovacího prostoru, kde se spaluje obdobně jako jiná plynná paliva. Část vzniklého tepla je použita na zplyňování další biomasy. Výhodou je snadná regulace výkonu, nižší emise, vyšší účinnost. Spalování biomasy je v současnosti technicky dostatečně vyřešeno a to ve dvou koncepcích:

- spalování na roštu,
- spalování na fluidní vrstvě. [10]

Rozšířenější je spalování na roštu. Spalování na fluidní vrstvě má určité výhody, nicméně ekonomicky je méně výhodná. Její vývoj jde stále kupředu.

Biomasa je ekologičtějším palivem, než uhlí. Má nižší obsah síry, obsah popela při spálení je nižší a neobsahuje toxické kovy. Popel z biomasy lze využít jako hnojivo.

2.8. Zařízení na spalování biomasy.

- Krby a kamna
- Kuchyňské sporáky
- Kotle

2.8.1. Krby a kamna.

Krb je jedno z nejstarších a dosud hojně používaných energetických zařízení. Krb předává teplo do místnosti převážně sáláním, jen menší množství je předáno konvekcí, tj. ohříváním vzduchu zdívm krbu a komína. Z hlediska energetické účinnosti a produkce škodlivých emisí je dnes klasický otevřený krb již zcela nevyhovující. Hlavní nevýhodou je to, že hořící dřevo je příliš ochlazováno a nelze dobře řídit množství vzduchu pro spalování. Výsledkem je nízká účinnost (méně než 20 %). Dnes se proto převážně používají uzavřené krby.

Kamna jsou tepelné zařízení, které se používají k vytápění nebo vaření. Oproti krbu mají kamna četné výhody (vyšší účinnost u moderních kamen až 80 %). Vyšší účinnosti je dosahováno díky tomu, že spaliny jsou do komína vedeny řadou kanálů (tahů), kde odevzdají větší část svého tepla. U kamen lze dobře regulovat přívod primárního a sekundárního vzduchu. Kamna mohou sloužit k ústřednímu vytápění celého domu. [2]

2.8.2. Kuchyňské sporáky.

Hlavním úkolem sporáku je umožnit vaření jídel a pečení, vedlejším je pak vytápění místnosti. Obě tyto funkce nelze dobře oddělit, tj. v letním období nežádoucí přehřívání. Reálná účinnost sporáku je poměrně malá. Používá se nejvíce tam, kde cena dřeva nehraje roli. [2]

2.8.3. Kotle.

Teplovodní kotle na dřevo se používají na vytápění celého domu a mají větší výkony než lokální topidla (kamna). Topidla na dřevo se lépe konstruuji na větší výkony a jako palivo lze pak použít větší kusy dřeva. Kotel se umísťuje mimo obytné místnosti a tím nedochází k znečištění při přikládání a transportu dřeva. [2]

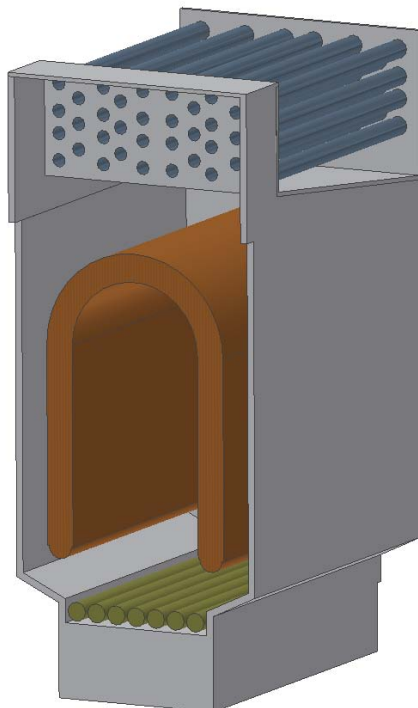


Problém s těmito kotli je, že minimální výkon moderních domů, je příliš velký. Z tohoto důvodu se začaly zavádět akumulční nádrže, které slouží k odebrání přebytečného výkonu kotle a akumulaci tepla na pozdější dobu. Lze říci, že zavedením teplovodních kotlů s akumulčními nádržemi se kusové dřevo stalo palivem, které může konkurovat plynu nebo elektřině. K hlavním výrobcům těchto kotlů patří: Atmos, Attack, Dakon, Verner, Vimar. [2]

Palivem pro další typ kotle, jsou pelety. Přísun paliva do těchto kotlů je řešen automaticky pomocí šnekového podávacího zařízení. Podle druhu paliva je nutno v průměru jednou za 2 až 4 dny doplňovat zásobník paliva a vynášet popel. I když kotel spaluje tuhá paliva, lze jej nastavit tak, že bude fungovat plně automaticky a bude vyžadovat v průměru pouze 15 minut obsluhy denně. Vlastní hoření pelet probíhá zpravidla v poměrně malém hořáku. Konstrukce hořáku má vliv na účinnost spalování pelet. K hlavním výrobcům patří: Atmos, Benekov, Fröling, Hamont, Verner, Vigas. [2]

3. TEPELNÝ VÝPOČET KOTLE

Pro tepelný výpočet jsem zvolil jako palivo dřevní štěpku.



3.1. Vlastnosti paliva

Parametry paliva:	výhřevnost	$Q_i^r = 10200 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
Složení paliva:	obsah vody	$W^r = 35 \%$
	obsah popelovin	$A^r = 5,2 \%$
	obsah síry	$S^r = 0,04 \%$
	obsah uhlíku	$C^r = 37,25 \%$
	obsah vodíku	$H_2^r = 3,67 \%$
	obsah dusíku	$N_2^r = 0,14 \%$
	obsah kyslíku	$O_2^r = 25,53 \%$

3.2. Stechiometrie

3.2.1. Výpočty množství vzduchu

Minimální množství kyslíku potřebného ke spálení 1 kg paliva:

$$V_{O_2min} = \frac{22,39}{100} \cdot \left(\frac{C^r}{12,01} + \frac{H_2^r}{4,032} + \frac{S^r}{32,06} - \frac{O_2^r}{32} \right)$$

$$V_{O_2min} = \frac{22,39}{100} \cdot \left(\frac{37,25}{12,01} + \frac{3,63}{4,032} + \frac{0,04}{32,06} - \frac{25,53}{32} \right) = 0,71767 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Minimální množství suchého vzduchu potřebného ke spálení 1 kg paliva:

$$V_{VZmin}^S = \frac{100}{21} V_{O_2min} = \frac{100}{21} \cdot 0,71767 = 3,417 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Objem vodní páry na 1 m³ suchého vzduchu pro t = 20 °C a vlhkost vzduchu $\varphi = 0,7$

$$V_{H_2O} = \varphi \cdot \frac{\rho''}{\rho_c - \rho''} = 0,7 \cdot 0,024 = 0,0168$$

Součinitel f:

$$f = 1 + \varphi \cdot \frac{\rho''}{\rho_c - \rho''} = 1 + 0,0168 = 1,0168$$

Minimální množství vlhkého vzduchu potřebného ke spálení 1 kg paliva:

$$V_{VZmin}^{VL} = f \cdot V_{VZmin}^S = 1,0168 \cdot 3,417 = 3,475 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

3.2.2. Složky spalin

Minimální množství suchých spalin bez přebytku vzduchu ($\alpha = 1$):

Objem CO_2 :

$$V_{\text{CO}_2} = \frac{22,26}{100} \cdot \frac{C^r}{12,01} + 0,0003 \cdot V_{\text{VZmin}}^S = \frac{22,26}{100} \cdot \frac{37,25}{12,01} + 0,0003 \cdot 3,417$$

$$V_{\text{CO}_2} = 0,6914 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Objem SO_2 :

$$V_{\text{SO}_2} = \frac{21,89}{100} \cdot \frac{S^r}{32,06} = \frac{21,89}{100} \cdot \frac{0,04}{32,06} = 2,731 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Objem N_2 :

$$V_{\text{N}_2} = \frac{22,4}{100} \cdot \frac{N^r}{28,016} + 0,7805 \cdot V_{\text{VZmin}}^S = \frac{22,4}{100} \cdot \frac{0,14}{28,016} + 0,7805 \cdot 3,417$$

$$V_{\text{N}_2} = 2,6681 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Objem Ar:

$$V_{\text{Ar}} = 0,0092 \cdot V_{\text{VZmin}}^S = 0,0092 \cdot 3,417 = 0,03144 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Minimální množství suchých spalin

$$V_{\text{SPmin}}^S = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{Ar}} = 0,6914 + 2,731 \cdot 10^{-4} + 2,6681 + 0,03144$$

$$V_{\text{SPmin}}^S = 3,3912 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Minimální objem vodní páry

$$V_{\text{H}_2\text{Omin}} = \frac{44,8}{100} \cdot \frac{H^r}{4,032} + \frac{22,4}{100} \cdot \frac{W^r}{18,016} + (f - 1) \cdot V_{\text{VZmin}}^S$$

$$V_{\text{H}_2\text{Omin}} = \frac{44,8}{100} \cdot \frac{3,67}{4,032} + \frac{22,4}{100} \cdot \frac{35}{18,016} + (1,0168 - 1) \cdot 3,417 = 0,9004 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$



Minimální objem vlhkých spalin

$$V_{SPmin}^V = V_{SPmin}^S + V_{H_2Omin} = 3,3912 + 0,9004 = 4,2916 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Objem 3 - atomových plynů pro $\alpha = 1$

$$r_{RO_2} = \frac{V_{CO_2} + V_{SO_2}}{V_{SPmin}^V} = \frac{0,6914 + 0,0002731}{4,2916} = 0,1612 \text{ m}^3$$

$$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_{SPmin}^V} = \frac{0,9004}{4,2916} = 0,2098 \text{ m}^3$$

$$r_{SP} = r_{RO_2} + r_{H_2O} = 0,1612 + 0,2098 = 0,371 \text{ m}^3$$

Skutečné množství vzduchu a spalin pro přebytek vzduchu ($\alpha = 1,4$)

Skutečný objem vzduchu:

$$V_{VZSK} = V_{VZmin}^{VL} \cdot \alpha = 3,475 \cdot 1,4 = 4,865 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Skutečný objem spalin:

$$V_{SPSK} = V_{SPmin}^V + (\alpha - 1) \cdot V_{VZmin}^{VL} = 4,2916 + (1,4 - 1) \cdot 3,475 = 5,6816 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Skutečný objem vodní páry:

$$V_{H_2OSK} = V_{H_2O} + (f - 1) \cdot (\alpha - 1) \cdot V_{VZmin}^S = 0,9004 + 0,00672 \cdot 3,417$$

$$V_{H_2OSK} = 0,9234 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Objem 3 - atomových plynů pro $\alpha = 1,4$

$$r_{RO_2} = \frac{V_{CO_2} + V_{SO_2}}{V_{SPSK}} = \frac{0,6914 + 0,0002731}{5,6816} = 0,1217 \text{ m}^3$$

$$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_{SPSK}} = \frac{0,9004}{5,6816} = 0,1585 \text{ m}^3$$

$$r_{SPSK} = r_{RO_2} + r_{H_2O} = 0,1217 + 0,1585 = 0,2802 \text{ m}^3$$

Výsledky výpočtu pro hodnoty součinitele přebytku vzduchu ($\alpha = 1$, $\alpha = 1,4$) jsou zpracované v tabulce (1).

α	1	1,4	
V_{SP}	4,2916	5,6816	$m^3 \cdot kg^{-1}$
V_{H_2O}	0,9004	0,9234	$m^3 \cdot kg^{-1}$
r_{RO_2}	0,1612	0,1217	-
r_{H_2O}	0,2098	0,1585	-
r_{SPSK}	0,371	0,2802	-

Tab. 1 – Hodnoty produktů spalování

3.2.3. Entalpie vzduchu a spalin:

$$I_{VZmin} = V_{VZmin}^S \cdot c_p \cdot t_{VZ} \text{ kJ} \cdot kg^{-1}$$

$$I_{SPmin} = V_{CO_2} \cdot i_{CO_2} + V_{N_2} \cdot i_{N_2} + V_{H_2O} \cdot i_{H_2O} + V_{Ar} \cdot i_{Ar} \text{ kJ} \cdot kg^{-1}$$

$$I_{SP} = I_{SPmin} + (\alpha - 1) \cdot I_{VZmin} + I_{POP} \text{ kJ} \cdot kg^{-1}$$

$$I_{POP} = \frac{A^r}{100} \cdot \frac{X_p}{100} \cdot i_{POP}$$

– procento popela v úletu zjistíme z tabulky [1, str. 62], $X_p = 15\%$

– entalpii popela zjistíme z tabulky [1, str. 25]

Vypočtené hodnoty entalpií jsou v tabulce 3.

**Výpočet entalpie složek spalín:**

t	iCO ₂	iN ₂	iH ₂ O	iSO ₂	iAr	iPOP
°C	kJ/m ³	kJ/m ³	kJ/m ³	kJ/m ³	kJ/m ³	kJ/kg
0	0	0	0	0	0	0
30	51	39	45	57	28	25
100	170	130	150	189	93	81
200	357	260	304	392	186	169
300	559	392	463	610	278	264
400	772	527	626	836	372	360
500	994	666	795	1070	465	458
600	1225	804	969	1310	557	560
700	1462	948	1149	1550	650	662
800	1705	1094	1334	1800	743	767
900	1952	1242	1526	2050	834	874
1000	2204	1392	1723	2305	928	945
1100	2464	1547	1934	2562	1020	
1200	2724	1702	2145	2819	1113	
1300	2984	1856	2357	3076	1205	
1400	3244	2011	2568	3333	1298	
1500	3504	2166	2779	3590	1390	1758
1600	3772	2326	3008	3850	1390	
1700	4040	2486	3238	4110	1576	
1800	4308	2645	3467	430	1669	
1900	4576	2805	3697	4630	1762	
2000	4844	2965	3926	4890	1855	2512

Tab. 2 – Výpočet entalpie složek spalín

Výpočet entalpie vzduchu a spalin:

t	l_{vzmin}	l_{spmin}	l_{sp}	l_{pop}	C_p
°C	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/m ³ K
0	0	0	0	0	1,297
30	133,06	180,72	234,14	0,195	1,298
100	444,21	602,37	780,68	0,6318	1,3
200	893,21	1220,11	1578,71	1,3182	1,307
300	1350,06	1858,01	2400,09	2,0593	1,317
400	1816,48	2515,19	3244,59	2,808	1,329
500	2294,52	3194,64	4116,02	3,5724	1,343
600	2780,17	3882,12	4998,56	4,368	1,356
700	3279,29	4595,18	5912,06	5,1636	1,371
800	3783,3	5322,23	6841,53	5,9826	1,384
900	4299,27	6063,62	7790,14	6,8172	1,398
1000	4817,97	6818,41	8752,97	7,371	1,41
1100	5344,87	7604,6	9742,55		1,422
1200	5875,87	8390,83	10741,2		1,433
1300	6409,95	9175,26	11739,2		1,443
1400	6946,08	9961,49	12739,9		1,452
1500	7493,48	10747,7	13758,8	13,7124	1,462
1600	8042,25	11566,1	14782,9		1,471
1700	8585,55	12391,2	15825,4		1,478
1800	9139,79	13209,8	16865,7		1,486
1900	9693,01	14032	17909,2		1,493
2000	10251	14853,4	18973,3	19,5936	1,5

Tab. 3 - Výpočet entalpie vzduchu a spalin

3.3. Tepelná bilance kotle:

$$Q_p^p = Q_i^r + i_p$$

fyzické teplo paliva zanedbávám, z toho plyne $Q_p^p = Q_i^r = 10200 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

3.3.1. Ztráty kotle:

Ztráta hořlavinou v tuhých zbytcích (ztráta mechanickým nedopalem)

z_{cs} – ztráta v tuhých zbytcích zachycených v ohništi

$z_{cú}$ – ztráta v úletu t.j. v tuhých zbytcích odcházejících z kotle

z_{cr} – ztráta roštovým propadem

$$z_C = z_{cs} + z_{cú} + z_{cr} [\%]$$

Jednotlivé části ztráty se určí ze vzorce:

$$z_{ci} = \frac{c_{ci}}{100 - c_{ci}} \cdot \frac{X_i}{100} \cdot \frac{A^r}{Q_p^p} \cdot Q_{ci} \quad \text{kde } Q_{ci} = 32600 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$z_{ci} = \frac{c_{cs}}{100 - c_{cs}} \cdot \frac{X_{cs}}{100} \cdot \frac{A^r}{Q_p^p} \cdot Q_{ci} = \frac{9}{100 - 9} \cdot \frac{74}{100} \cdot \frac{0,052}{10200} \cdot 32600 = 0,01216 = 1,21 [\%]$$

$$z_{ci} = \frac{c_{cú}}{100 - c_{cú}} \cdot \frac{X_{cú}}{100} \cdot \frac{A^r}{Q_p^p} \cdot Q_{ci} = \frac{11}{100 - 11} \cdot \frac{15}{100} \cdot \frac{0,052}{10200} \cdot 32600 = 0,00308 = 0,3 [\%]$$

$$z_{ci} = \frac{c_{cr}}{100 - c_{cr}} \cdot \frac{X_{cr}}{100} \cdot \frac{A^r}{Q_p^p} \cdot Q_{ci} = \frac{20}{100 - 20} \cdot \frac{6}{100} \cdot \frac{0,052}{10200} \cdot 32600 = 0,0025 = 0,25 [\%]$$

$$z_C = z_{cs} + z_{cú} + z_{cr} = 1,21 + 0,3 + 0,25 = 1,76 [\%]$$

Ztráta fyzickým teplem spalin (komínová ztráta):

$$I_{VZ} = \alpha_k \cdot I_{VZmin} = 1,4 \cdot 133,06 = 186,28 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$z_k = (100 - z_c) \cdot \frac{I_{sp} - I_{vz}}{Q_p^p} = (100 - 1,76) \cdot \frac{1578,71 - 186,28}{10200} = 13,41 \text{ [%]}$$

I_{VZ} – entalpie vzduchu s přebytkem vzduchu za kotlem α_k při teplotě okolí (30°C)

I_{sp} – entalpie spalin za kotlem, podle doporučení se bere v rozmezí teplot

$$150 - 210 \text{ }^{\circ}\text{C}, \text{ zvolil jsem } I_{sp} = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}, \text{ tedy } I_{sp} = 1578,71 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Ztráta hořlavinou ve spalinách (chemickým nedopalem):

$$z_{co} = 0,8 \text{ %}$$

3.3.2. Tepelná účinnost kotle

$$\eta_k = 100 - \sum z = 100 - z_c - z_k - z_{co} = 100 - 1,76 - 13,41 - 0,8 = 84,03 \text{ %}$$

3.3.3. Výpočet množství paliva

$$M_P = \frac{Q_V}{Q_p^p \cdot \frac{\eta_k}{100}} = \frac{250}{10200 \cdot \frac{84,03}{100}} = 0,0292 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

3.3.4. Výpočet spalovací komory

Plošné tepelné zatížení dle normy pro spalovací komory malých teplovodních kotlů s nepohybujícím se roštem je $q_s = 45 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$

Plocha ohniska:

$$q_s = \frac{M_P \cdot Q_i^r}{S_0} \Rightarrow S_0 = \frac{M_P \cdot Q_i^r}{q_s} = \frac{0,0292 \cdot 10200}{45} = 6,6187 \text{ m}^2$$

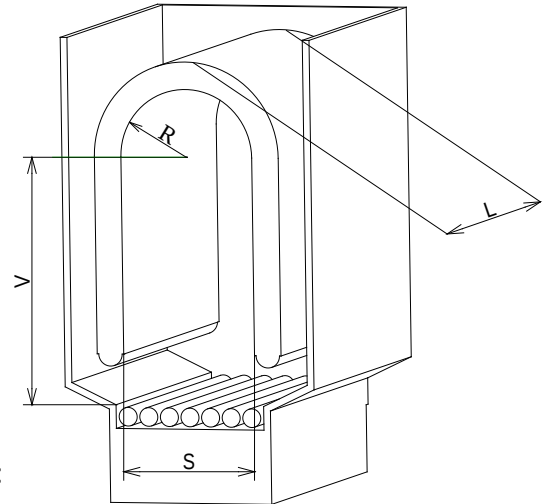
Návrh velikosti ohniska:

$$L = 1,65 \text{ m}$$

$$R = 0,48 \text{ m}$$

$$V = 0,772 \text{ m}$$

$$\check{S} = 0,96 \text{ m}$$



S_1 – obsah plochy půlkruhu v horní části klenby:

$$S_1 = \pi \cdot R \cdot L = 3,14 \cdot 0,48 \cdot 1,65 = 2,4869 \text{ m}^2$$

S_2 – obsah bočních ploch ohniska:

$$S_{bok} = V \cdot L = 0,774 \cdot 1,65 = 1,2771 \text{ m}^2$$

$$S_2 = 2 \cdot S_{bok} = 2,5542 \text{ m}^2$$

S_3 – obsah plochy nad roštem:

$$S_3 = \check{S} \cdot L = 1,65 \cdot 0,96 = 1,584 \text{ m}^2$$

S_{c0} – celkový obsah ploch:

$$S_{c0} = S_1 + S_2 + S_3 = 2,4869 + 2,5542 + 1,584 = 6,6251 \text{ m}^2$$

3.4. Výpočet teplosměnných ploch

Tepelné zatížení teplosměnných ploch je $q_s = 8 - 10 \text{ kW} \cdot \text{m}^2$, údaj platí pro teplovodní kotle malých výkonů do 300 kW. Zvolil jsem hodnotu $q_s = 8 \text{ kW} \cdot \text{m}^2$. Součet všech teplosměnných ploch musí být:

$$S_{TSP} = \frac{Q_v}{q_s} = \frac{250}{8} = 31,25 \text{ m}^2$$

1) Boční stěna:

Rozměry boční stěny:

$$A = 1,65 \text{ m}$$

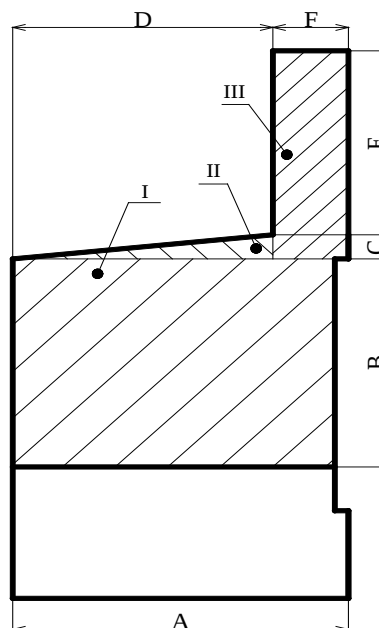
$$B = 1,164 \text{ m}$$

$$C = 0,096 \text{ m}$$

$$D = 1,4 \text{ m}$$

$$E = 0,548 \text{ m}$$

$$F = 0,305 \text{ m}$$



Obsah boku:

$$S_{bok} = S_I + S_{II} + S_{III}$$

Obsahy jednotlivých ploch:

$$S_I = a \cdot b = 1,65 \cdot 1,164 = 1,9206 \text{ m}^2$$

$$S_{II} = \frac{c \cdot d}{2} = \frac{0,096 \cdot 1,4}{2} = 0,0672 \text{ m}^2$$

$$S_{III} = f \cdot (e + c) = 0,305 \cdot (0,548 + 0,096) = 0,1964 \text{ m}^2$$

$$S_{bok} = S_I + S_{II} + S_{III} = 1,9206 + 0,0672 + 0,1964 = 2,1842 \text{ m}^2$$

Celkový obsah obou bočních stěn:

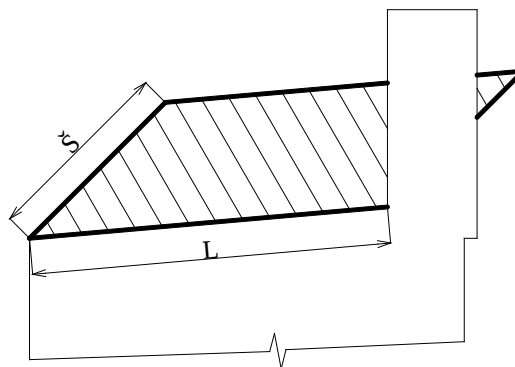
$$S_{Cbok} = 2 \cdot S_{bok} = 4,3684 \text{ m}^2$$

2) Usměrňovač spalin:

Rozměry usměrňovače spalin:

$$L = 1,403 \text{ m}$$

$$\check{S} = 1,154 \text{ m}$$



Obsah usměrňovače spalin:

$$S_{US} = L \cdot \check{S} = 1,403 \cdot 1,154 = 1,6191 \text{ m}^2$$

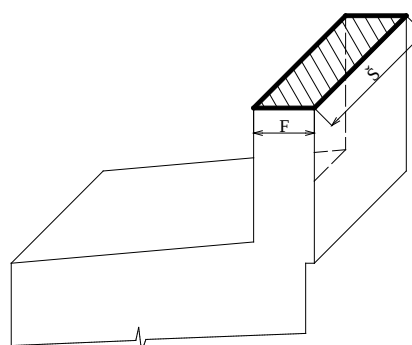
3) Víko

Rozměry víka:

$$F = 0,305 \text{ m}, \check{S} = 1,154 \text{ m}$$

Obsah víka:

$$S_V = F \cdot \check{S} = 0,305 \cdot 1,154 = 0,3519 \text{ m}^2$$



4) Zadní stěna:

Rozměry zadní stěny:

$$G = 0,773 \text{ m}$$

$$H = 0,1905 \text{ m}$$

$$\check{S} = 1,154 \text{ m}$$

$$I = 1,230 \text{ m}$$

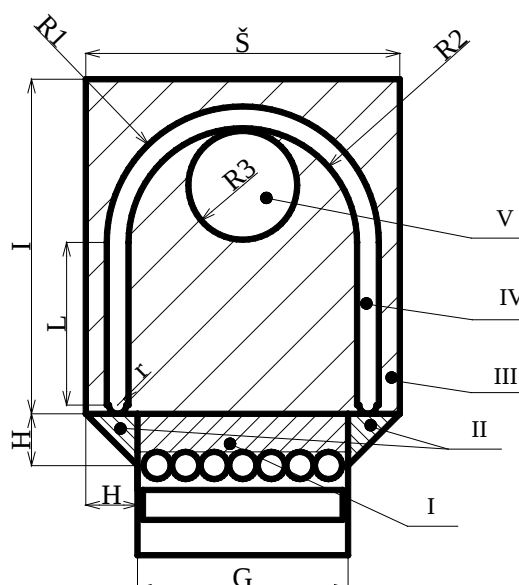
$$r = 0,029 \text{ m}$$

$$L = 0,601 \text{ m}$$

$$R_1 = 0,55 \text{ m}$$

$$R_2 = 0,48 \text{ m}$$

$$R_3 = 0,35 \text{ m}$$



Obsahy jednotlivých ploch:

$$S_I = G \cdot H = 0,773 \cdot 0,1905 = 0,1473 \text{ m}^2$$

$$S_{II} = \frac{2 \cdot H \cdot H}{2} = H \cdot H = 0,0363 \text{ m}^2$$

$$S_{III} = I \cdot \check{S} = 1,230 \cdot 1,154 = 1,4194 \text{ m}^2$$

$$S_{IV} = \pi \cdot r^2 + 2 \cdot L \cdot (R_1 - R_2) + \frac{(\pi \cdot R_1^2 - \pi \cdot R_2^2)}{2}$$

$$S_{IV} = 3,14 \cdot 0,029^2 + 2 \cdot 0,601 \cdot (0,55 - 0,48) + \frac{(3,14 \cdot 0,55^2 - 3,14 \cdot 0,48^2)}{2}$$

$$S_{IV} = 0,0026 + 0,0841 + 0,1132 = 0,2233 \text{ m}^2$$

$$S_V = \pi \cdot R_3^2 = 3,14 \cdot 0,35^2 = 0,3846 \text{ m}^2$$

Celkový obsah zadní stěny:

$$S_{ZST} = S_I + S_{II} + S_{III} - S_{IV} - S_V = 0,1478 + 0,0363 + 1,4194 - 0,2233 - 0,3846$$

$$S_{ZST} = 0,9956 \text{ m}^2$$

5) Obsah podkovy:

Rozměry podkovy:

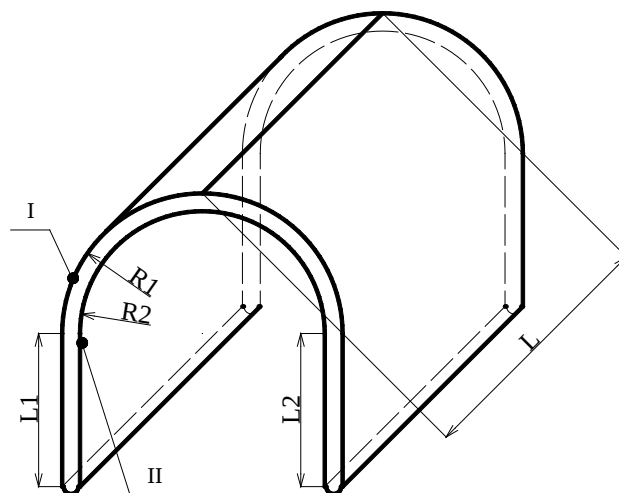
$$R_1 = 0,55 \text{ m}$$

$$R_2 = 0,48 \text{ m}$$

$$L1 = 0,601 \text{ m}$$

$$L2 = 0,600 \text{ m}$$

$$L = 1,65 \text{ m}$$



Obsah vnější podkovy:

$$S_l = (2 \cdot L1 + \pi \cdot R_1) \cdot L = (2 \cdot 0,601 + 3,14 \cdot 0,55) \cdot 1,65 = 4,8328 \text{ m}^2$$

Obsah vnitřní podkovy:

$$S_{II} = (2 \cdot L2 + \pi \cdot R_2) \cdot L = (2 \cdot 0,600 + 3,14 \cdot 0,48) \cdot 1,65 = 4,4669 \text{ m}^2$$

6) Přední stěna:

Rozměry přední stěny:

$$R_1 = 0,55 \text{ m}$$

N = 0,1845 m

$$P = 0,2855 \text{ m}$$

$$R = 0,583 \text{ m}$$

$\check{S} = 1,154 \text{ m}$

$$S = 0,0845 \text{ m}$$

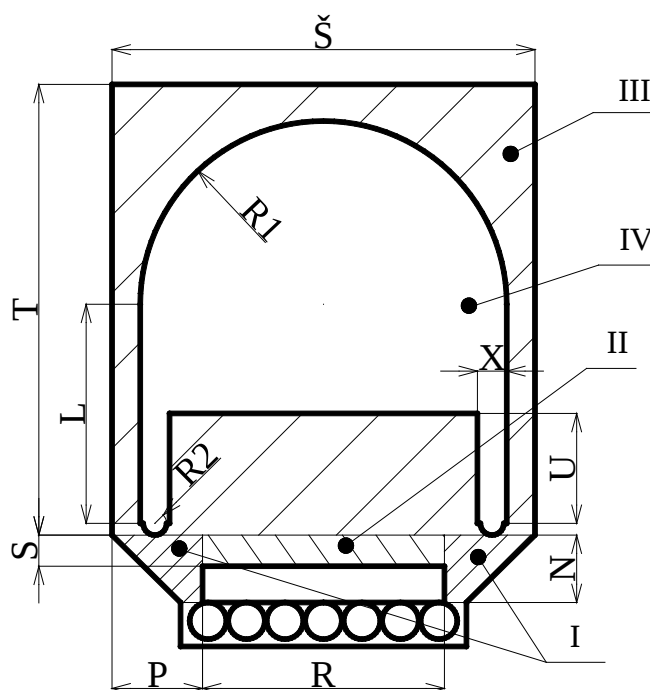
$T = 1,230 \text{ m}$

$$L = 0,601$$

$$U = 0,300 \text{ m}$$

$$X = 0,070 \text{ m}$$

$$R_2 = 0,029 \text{ m}$$



Obsahy jednotlivých ploch:

$$S_I = \frac{P \cdot N}{2} \cdot 2 = P \cdot N = 0,2855 \cdot 0,1845 = 0,0527 \text{ m}^2$$

$$S_{II} = S \cdot R = 0,0845 \cdot 0,583 = 0,0493 \text{ m}^2$$

$$S_{III} = T \cdot \check{S} = 1,230 \cdot 1,154 = 1,4194 \, m^2$$

$$S_{IV} = \frac{\pi \cdot R_2^2}{2} \cdot 2 + 2 \cdot U \cdot R_1 + 2 \cdot X \cdot (L - U) + \frac{\pi \cdot R_1^2}{2}$$

$$S_{IV} = \frac{\pi \cdot 0,029^2}{2} \cdot 2 + 2 \cdot 0,3 \cdot 0,55 + 2 \cdot 0,070 \cdot (0,601 - 0,3) + \frac{3,14 \cdot 0,55^2}{2}$$

$$S_{IV} = 0,8497 \text{ m}^2$$

Celkový obsah přední stěny:

$$S_{PST} = S_I + S_{II} + S_{III} - S_{IV} = 0,0527 + 0,0493 + 1,4194 - 0,8497 = 0,6717 \text{ m}^2$$

7) Trubkový výměník:

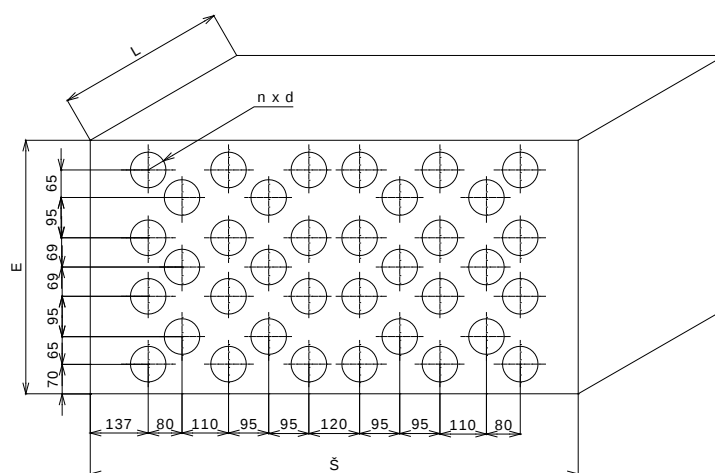
a) Plocha trubek:

Rozměry trubek:

$n = 36$ – počet trubek

$d = 0,084 \text{ m}$

$L = 1,4 \text{ m}$



Obsah jedné trubky:

$$S_{1TR} = \pi \cdot d \cdot L = 3,14 \cdot 0,084 \cdot 1,4 = 0,3692 \text{ m}^2$$

Obsah všech trubek:

$$S_{VTR} = n \cdot S_{1TR} = 36 \cdot 0,3692 = 13,2935 \text{ m}^2$$

b) Trubkovnice:

Rozměry trubkovnice:

$d = 0,084 \text{ m}$

$\check{S} = 1,154 \text{ m}$

$E = 0,598 \text{ m}$



Plocha průřezu trubky:

$$S_{1PRU} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,084^2}{4} = 5,538 \cdot 10^{-3} m^2$$

Plocha průřezů všech trubek:

$$S_{36PRU} = 36 \cdot S_{1PRU} = 0,1994 m^2$$

Obsah celé trubkovnice:

$$S_{CTRU} = \check{S} \cdot E = 1,154 \cdot 0,598 = 0,6901 m^2$$

Obsah trubkovnice:

$$S_{TRUB} = S_{CTRU} - S_{36PRU} = 0,6901 - 0,1994 = 0,4907 m^2$$

8) Celková plocha:

$$S_c = \sum S = S_{cbok} + S_{US} + S_V + S_{ZST} + S_I + S_{II} + S_{PST} + S_{VTR} + S_{TRUB}$$

$$S_c = 4,3684 + 1,6191 + 0,3519 + 0,9956 + 4,8328 + 4,4669 + 0,6717 + 13,2935 \\ + 0,4907 = 31,0906 m^2$$

Kontrola spalovací komory:

$$q_s = \frac{M_P \cdot Q_i^r}{S_{C0}} = \frac{0,0292 \cdot 10200}{6,6251} = 44,95 kW \cdot m^{-2}$$

Kontrola teplosměnných ploch:

$$q_s = \frac{Q_V}{S_c} = \frac{250}{31,0906} = 8,04 kW \cdot m^{-2}$$

4. Návrh dopravy paliva do spalovací komory

4.1. Návrh šnekovnice

Šnekovnice tvoří pracovní část zásobníku paliva. Při návrhu se vychází z vypočteného množství paliva.

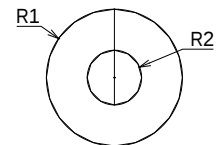
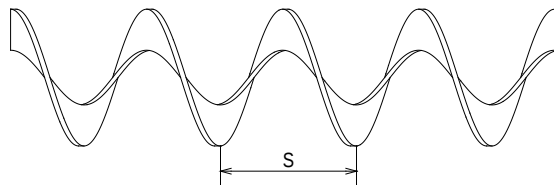
Rozměry šnekovnice:

$$R_1 = 0,125 \text{ m}$$

$$R_2 = 0,045 \text{ m}$$

$$S = 0,200 \text{ m}$$

$$M_P = 0,0292 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$



4.1.1. Objemové množství dopraveného materiálu za jednu otočku

$$V_{P1OT} = \left(\frac{\pi \cdot R_1^2 - \pi \cdot R_2^2}{6} \right) \cdot S = \left(\frac{3,14 \cdot 0,125^2 - 3,14 \cdot 0,045^2}{6} \right) \cdot 0,2 = 0,0014 \text{ m}^3$$

4.1.2. Množství paliva dopraveného za jednu otočku

$$M_{P1OT} = V_{P1OT} \cdot \rho_P = 0,0014 \cdot 350 = 0,49 \text{ kg}$$

4.1.3. Čas otočení

$$t_{1OT} = \frac{M_{P1OT}}{M_P} = \frac{0,49}{0,0292} = 16,78 \text{ s}$$

4.1.4. Počet otáček za minutu

$$n = \frac{60}{t_{1OT}} = \frac{60}{16,78} = 3,57 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$$

5. Tabulka použitých veličin

Q_i^r	$kJ \cdot kg^{-1}$	výhřevnost paliva
W^r	%	obsah vody v palivu
A^r	%	obsah popelovin v palivu
S^r	%	obsah síry v palivu
C^r	%	obsah uhlíku v palivu
H_2^r	%	obsah vodíku v palivu
N_2^r	%	obsah dusíku v palivu
O_2^r	%	obsah kyslíku v palivu
V_{O_2min}	$m^3 \cdot kg^{-1}$	minimální množství kyslíku
V_{VZmin}^S	$m^3 \cdot kg^{-1}$	minimální množství suchého vzduchu
V_{VZmin}^{VL}	$m^3 \cdot kg^{-1}$	minimální množství vlhkého vzduchu
$V_{CO_2,SO_2,N_2,Ar}$	$m^3 \cdot kg^{-1}$	objemy složek spalin
V_{SPmin}^S	$m^3 \cdot kg^{-1}$	minimální množství suchých spalin
V_{H_2Omin}	$m^3 \cdot kg^{-1}$	minimální objem vodní páry
V_{SPmin}^V	$m^3 \cdot kg^{-1}$	minimální objem vlhkých spalin
$r_{RO_2,H_2O,SP}$	m^3	objem 3 atomových plynů
V_{VZSK}	$m^3 \cdot kg^{-1}$	skutečný objem vzduchu
V_{SPSK}	$m^3 \cdot kg^{-1}$	skutečný objem spalin
V_{H_2OSK}	$m^3 \cdot kg^{-1}$	skutečný objem vodní páry
I_{VZmin}	$kJ \cdot kg^{-1}$	entalpie minimálního množství vzduchu
I_{SPmin}	$kJ \cdot kg^{-1}$	entalpie spalin ($\alpha = 1$)
I_{SP}	$kJ \cdot kg^{-1}$	entalpie spalin
I_{POP}	$kJ \cdot kg^{-1}$	entalpie popelu
$i_{CO_2,N_2,H_2O,Ar}$	$kJ \cdot m^{-3}$	skutečný objem spalin



z_C	%	ztráta mechanickým nedopalem
z_k	%	komínová ztráta
z_{co}	%	ztráta chemickým nedopalem
η_k	%	tepelná účinnost kotle
M_P	$kg \cdot s^{-1}$	výpočet množství paliva
q_s	$kW \cdot m^{-2}$	plošné tepelné zatížení
S_0	m^2	plocha ohniska
$L, R, V, \check{S}$	m	rozměry ohniska
A, B, C, D, E, F	m	rozměry boční stěny
S_{cbok}	m^2	celkový obsah obou bočních stěn
$L, \check{S}$	m	rozměry usměrňovače spalin
S_{US}	m^2	obsah usměrňovače spalin
$F, \check{S}$	m	rozměry víka
S_V	m^2	obsah víka
$G, H, I, \check{S}, L$	m	rozměry zadní stěny
R_1, R_2, R_3, r	m	rozměry zadní stěny
S_{ZST}	m^2	obsah zadní stěny
$R_1, R_2, L1, L2, L$	m	rozměry podkovy
S_I, S_{II}	m^2	obsah vnější a vnitřní podkovy
$N, P, R, S, \check{S}, T, L$	m	rozměry přední stěny
R_1, R_2, U, X	m	rozměry přední stěny
S_{PST}	m^2	obsah přední stěny
n, d, L	m	rozměry trubek
S_{VTR}	m^2	obsah všech trubek
$d, \check{S}, E$	m	rozměry trubkovnice
S_{CTRU}	m^2	obsah celé trubkovnice



S_{TRUB}	m^2	obsah trubkovnice
S_C	m^2	celková plocha
R_1, R_2, S	m	rozměry šnekovnice
V_{P10T}	m^3	objemové množství materiálu za 1 ot.
M_{P10T}	kg	množství paliva za 1 ot.
t_{10T}	s	čas otočení
n	$ot \cdot min^{-1}$	počet otáček za 1 min.



6. Závěr

Cílem bakalářské práce byl návrh kotle na spalování dřevní štěpky o výkonu 250 kW. Tepelný výpočet byl vypracován podle zvyklostí používaných při výpočtech teplovodních kotlů s výkonem do 300 kW a zároveň podle platných norem.

Účinnost kotle při zadaném palivu je uspokojivá. Velká účinnost je dosažena konstrukcí ohniska, které umožňuje dokonalé spalování paliva.

Koncepce kotle je velice jednoduchá. Byla navržena spalovací komora a trubkovnice, jako dva základní prvky kotle. Tento výpočet se prováděl za předpokladu konkrétního zatížení spalovací komory a teplosměnných ploch.

Dále byla navržena přibližná podoba dopravy paliva do spalovací komory pomocí šnekového dopravníku.



Literatura

- [1] Budaj, F.: *Parní kotle – podklady pro tepelný výpočet*, Brno: VUT 1992
- [2] Murtinger, K., Beranovský, J.: *Energie z biomasy*, Brno, ERA group spol. s.r.o. 2006
- [3] OCHRANA, L. *Kotle a výměníky tepla*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004
- [4] <http://www.biom.cz/>
- [5] <http://www.tzb-info.cz/>
- [6] <http://www.benaz.cz/pelety.html>
- [7] <http://www.drevene-brikety.info/kurove-brikety.html>
- [8] <http://www.drevenebrikety.cz/drevene-brikety/>
- [9] <http://cs.wikipedia.org/>
- [10] <http://www.alternativni-zdroje.cz/vyroba-energie-biomasa.htm>
- [11] <http://espedi.esel.cz/stranka.aspx?idstranka=1736&ad=1>
- [12] <http://www.spvez.cz/pages/biomasa.htm>