

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

FAKULTA STROJNÍ

KATEDRA ENERGETIKY

**Rekonstrukce kotle IGNIFLUID
pro dosažení požadované teploty páry**

**IGNIFLUID Reconstruction of the Boiler
to Achieve the Desired Temperature Steam**

Student :

Bc.Martin Uherek

Vedoucí diplomové práce :

doc. Ing. Ladislav Vilimec

Ostrava 2009

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Uherek**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení
Téma: **Rekonstrukce kotle IGNIFLUID pro dosažení požadované teploty páry
IGNIFLUID Reconstruction of the Boiler to Achieve the Desired
Temperature Steam**

Zásady pro vypracování:

Proved'te:

1. Sestavte schéma zapojení na straně páry i spalin
2. Stanovte výpočtové palivo
3. Definiujte teplosměnné plochy a vstupní parametry
4. Sestavte matematický model kotle
5. Proved'te jeho verifikaci podle měření KE
6. Ověřte navržené úpravy
7. Proved'te analýzu chování kotle při vybraných stavech

Zadané parametry:

1. Parametry a popis kotle-viz lit.4
2. Průběhy provozních parametrů, viz lit.5
3. Návrh rekonstrukce, viz lit. 6.

Seznam doporučené odborné literatury:

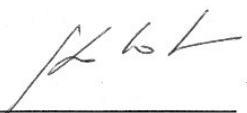
1. VILIMEC, L... *Stavba kotlů I, II*, skripta I, II, VŠB TU Ostrava
2. DLOUHÝ, F.: *Výpočty parních kotlů a výměníků*, Skripta ČVUT Praha
3. Program KOTLE
4. Dokumentace stávajícího kotle
5. Zpráva o měření KE
6. Podklady dodavatele

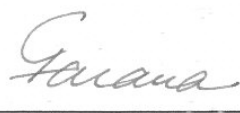
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Ladislav Vilimec**

Datum zadání: 29.09.2008
Datum odevzdání: 22.05.2009




prof. Ing. Pavel Kolat, DrSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě : 19.5.2009

.....

Děkuji doc.Ing. Ladislavu Vilimcovi a Ing. Pavlu Milčákovi za odborné vedení a četné připomínky při zpracovávání diplomové práce.

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezentačnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č.111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 19.5.2009

.....

Anotace Diplomové práce

Uherek, M. Rekonstrukce parního kotle IGNIFLUID pro dosažení požadované teploty páry. Ostrava : katedra energetiky, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009, 55 s. Diplomová práce, vedoucí Vilimec, L.

Tato práce se zabývá rekonstrukcí parního kotle IGNIFLUID v Teplárně Sviadnov u Frýdku – Místku. Účelem rekonstrukce je navýšení teplosměnné plochy výstupního přehříváku páry s předpokladem zvýšení výstupní teploty přehřáté páry z kotle K1. V diplomové práci je proveden kontrolní tepelný výpočet kotle IGNIFLUID ve výpočtovém programu KOTEL 3.1..

The Annotation of the Diploma Work

Uherek, M. IGNIFLUID Reconstruction of the Boiler to Achieve the Desired Temperature Steam. Ostrava: Department of Energetics, Faculty Mechanical VSB – Technical University Ostrava, 2009,55 s.
The diploma work, leadership Vilimec,L.

This diploma work engages in the reconstruction of the steam-boiler IGNIFLUID in the heating plant at Sviadnov near Frýdek-Místek. The purpose of the reconstruction is the increase of the heating surface of the output steam overheat with the precondition of the increase of the output temperature of the overheated steam from the boiler K1. In this diploma work is accomplished the kontrol thermal calculation of the boiler IGNIFLUID in the calculation program BOILER 3.1..

Obsah diplomové práce

Seznam použitého značení.....	8
1. Úvod	10
2. Energetika.....	11
2.1. Energie.....	11
2.2. Vize energetiky do roku 2050.....	12
2.3. Energetika v České republice	21
3. Popis parního kotle IGNIFLUID v Teplárně Sviadnov	22
3.1. Teplárna Sviadnov u Frádku - Místku	22
3.2. Popis kotle IGNIFLUID	23
3.3. Technická data parního kotle K1	25
4. Spalování paliva	28
4.1. Princip ohnišť	28
4.2. Spalování ve škvárující fluidní vrstvě IGNIFLUID	29
4.3. Používané palivo v Teplárně Sviadnov	30
4.4. Analýza paliva	30
4.4.1. Postup odběrů vzorků	30
4.4.2. Výsledky rozborů paliva kotle K1	31
4.5. Výhřevnost paliva	32
4.5.1. Výpočet výhřevnosti paliva z prvkového složení	32
4.5.2. Kontrola výhřevnosti paliva.....	37
4.5.3. Úprava prvkového rozboru paliva	37
4.5.4. Výpočet výhřevnosti paliva z prvkového složení po úpravě paliva.....	38
4.5.5. Kontrola výhřevnosti paliva po úpravě paliva.....	40
4.5.6. Kontrola maximálního poměrného objemu tříatomových plynů.....	41
4.5.7. Složení výpočtového paliva	42
4.5.8. Kontrola složení výpočtového paliva v surovém stavu „ r „	42
4.6. Stechiometrické výpočty	43
4.7. Výpočet přebytku vzduchu při spalování	48
4.8. Určení přebytků vzduchu vlivem netěsnosti kotle.....	54
4.9. Spalování s přebytkem vzduchu	56

5. Tepelná bilance kotle K1	57
6. Výpočet účinnosti kotle K1.....	58
7. Výpočet množství paliva	63
8. Teplosměnné plochy kotle K1	64
8.1. Ohniště	64
8.2. Výparné šoty	67
8.3. Výparník v oblasti vodních šotů	69
8.4. Vypařovací mříž	70
8.5. Výparník v oblasti žaluziového odlučovače	71
8.6. Původní horní konvekční přehřívák páry PPII	72
8.7. Horní konvekční přehřívák páry PPII po rekonstrukci.....	73
8.8. Stěnový výparník v oblasti přehříváku páry PPII.....	74
8.9. Dolní konvekční přehřívák páry PPI	75
8.10. Nástěnný výparník v oblasti přehříváku páry PPI	75
8.11. Horní konvekční ohřívák vody EKO II	76
8.12. Dolní konvekční ohřívák vody EKO I.....	77
8.13. Doležalův kondenzátor	78
9. Matematický model kotle sestavený v programu KOTEL 3.1	79
9.1. Komora – ohniště.....	80
9.2. Výparník	86
9.3. Výparné šoty	87
9.4. Vypařovací mříž	94
9.5. Výparník v oblasti žaluziového odlučovače popílků.....	98
9.6. Výstupní původní přehřívák páry PPII	102
9.7. Přehřívák páry PPI.....	106
9.8. Ohřívák vody EKOII	109
9.9. Ohřívák vody EKOI.....	113
9.10. Stěnový výparník v oblasti šotů.....	116
9.11. Stěnový výparník v oblasti přehříváku páry PPII.....	120
9.12. Stěnový výparník v oblasti přehříváku páry PPI	124
9.13. Buben.....	128
9.14. Doležalův kondenzátor	129

9.15. Okolí a ztráty kotle	132
9.16. Regulace teploty páry	134
9.17. Paralelní plochy	135
9.18. Celkový matematický model kotle	137
10. Verifikace matematického modelu dle měření katedry energetiky	137
11. Úprava matematického modelu pro tepelný výpočet kotle po rekonstrukci	138
12. Tepelné výpočty kotle při vybraných provozních stavech	138
12.1. Regulace parního kotle IGNIFLUID K1	138
12.2. Tepelné výpočty kotle K1	139
13. Závěr	140
14. Seznam použité literatury	141
15. Seznam příloh	142

Seznam použitého značení

α	součinitel přebytku vzduchu ve spalinách	[-]
α	součinitel přestupu tepla	[W/m ² K]
η_k	účinnost kotle	[-]
ν	kinematická viskozita	[m ² .s]
σ	poměrná rozteč	[-]
ξ	součinitel využití plochy	[-]
ω	součinitel omývání plochy	[-]
λ	součinitel tepelné vodivosti	[W/mK]
λ	součinitel třecí ztráty	[-]
ε	součinitel zanesení plochy	[m ² K/W]
ψ	součinitel tepelné efektivity	[-]
μ_{pk}	koncentrace popela ve spalinách	[kg/kg]
A	hmotnostní podíl popela v palivu	[-]
a, b	rozměry tahu	[m]
a_o	stupeň černosti ohniště	[-]
a_{pl}	stupeň černosti plamene	[-]
c	měrná tepelná kapacita	[kJ/kgK]
d_e	ekvivalentní průměr průřezu	[m]
d_{pk}	střední efektivní průměr částic popílku	[μ m]
d_s	střední průměr	[m]
h	výška	[m]
h	hmotnostní podíl hořlaviny v palivu	[-]
i	entalpie	[kJ/kg]
i'	entalpie syté vody	[kJ/kg]
i''	entalpie syté páry	[kJ/kg]
i_{pp}	entalpie přehřáté páry	[kJ/kg]
i_{pv}	fyzické teplo paliva	[kJ/kg]
I_s	entalpie spalin	[kJ/kg]
I_v	entalpie vzduchu	[kJ/kg]
l	délka	[m]
M	hmotnostní průtok	[kg/s]
M	součinitel průběhu teploty v ohništi	[-]
M_o	množství odluhované vody	[kg/s]
M_{op}	množství odebírané syté vody z bubnu	[kg/s]
M_{pal}	množství paliva přivedené do kotle	[kg/s]
M_{pp}	parní výkon	[kg/s]
M_{pv}	výpočtové množství paliva	[kg/s]
M_v	množství vstříkované vody	[kg/s]
V	objem na jednotku paliva	[m ³ /kg]
Q	tepelný výkon	[kW]
q	tepelný tok	[W/m ²]
$Q_{výr}$	výrobní teplo páry	[kW]
Q_i	výhřevnost paliva	[kJ/kg]
Q_{ired}	redukovaná výhřevnost paliva	[kJ/kg]

q_s	průřezové zatížení spalovací komory	[kW/m ²]
q_v	objemové zatížení spalovací komory	[kW/m ³]
Q_v	výrobní teplo páry	[kW]
s	účinná tloušťka sálové vrstvy spalin	[m]
S	plocha	[m ²]
s_1	příčná rozteč svazku	[m]
s_2	podélná rozteč svazku	[m]
t	teplota	[°C]
x	úhlový součinitel osálení plochy	[-]
x_{pl}	poměrná poloha maximální teploty plamen	[-]
z	počet řad	[-]
ν	měrná vlhkost vzduchu	[-]
ξ_c	ztráta hořlavinou v tuhých zbytcích	[-]
ξ_{co}	ztráta hořlavinou ve spalinách	[-]
ξ_f	ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků	[-]
ξ_k	ztráta fyzickým teplem spalin – komínová	[-]
ξ_{sv}	ztráta sdílením tepla do okolí	[-]
ξ_{ch}	ztráta chlazením	[-]

Dolní indexy

PP	přehřívák
1	vstup
2	výstup
EKO	stav v ohříváku vody
k	stav za kotlem
kond	kondenzátor
mř	vypařovací mříž
np	nechlazený plamen
nv	napájecí voda
o	stav v ohništi
ok	stav na výstupu z ohniště
pp	přehřátá pára
pv	palivo
SS	suché spaliny
SV	vlhké spaliny
v	výparník
VS	vzduch suchý
VV	vzduch vlhký
w	voda
žal	žaluziový odlučovač

Horní indexy

d	bezvodný stav
daf	hořlavina
r	surový stav

1. Úvod

V roce 2008 jsem měl možnost účastnit se generální opravy parního kotle K 1 v Teplárně Sviadnov u Frýdku- Místku. Parní kotel K1 před generální opravou nedosahoval jmenovité výstupní parametry přehřáté páry. Zadavatel opravy se rozhodl při generální opravě provést navýšení teplosměnné plochy výstupního přehříváku páry PPII s předpokladem, že touto úpravou dojde ke zvýšení výstupní teploty přehřáté páry z kotle. V důsledku vyšší vstupní teploty páry na lopatky protitlaké parní turbíny dojde k většímu entalpickému spádu v turbíně, která je v blokovém uspořádání s kotlem a tím dojde k zvýšení účinnosti Rankinova-Clausiova cyklu.

Ve své diplomové práci provádím kontrolní tepelný přepočít kotle K1 před a po navýšení teplosměnné plochy výstupního přehříváku páry kotle. V úvodu práce popisuji vývoj a budoucnost energetiky do roku 2050. V další části práce popisuji jednotlivé části parního kotle K1 a definuji potřebné vstupní údaje, které potřebuji pro kontrolní tepelný výpočet. Vlastní kontrolní tepelný výpočet parního kotle je proveden v programu Kotel 3.1., který je v současné době neustále zdokonalován ve společnosti VÍTKOVICE POWER ENGINEERING. Po zadání potřebných údajů do matematického modelu provádím verifikaci modelu dle měření katedry energetiky, které bylo provedeno před i po generální opravě kotle. Dále ověřuji na matematickém modelu chování kotle při různých provozních stavech. Závěrem provádím vyhodnocení úpravy kotle, zda bylo přínosné navýšení teplosměnné plochy.

2. Energetika

2.1. Energie

Energie je všude kolem nás, lidstvo potřebuje ke svému životu různé formy energie. Vývojem, který trvá několik století, se lidstvo naučilo transformovat energii získanou z přírody (tuto energii nazýváme primární) na energii zušlechtěnou (mechanickou, elektrickou, tepelnou apod.). Každým rokem se neustále zvyšuje spotřeba elektrické energie a předpokládá se, že v roce 2030 bude spotřeba elektrické energie dvojnásobná.

V minulém století objevováním ložisek primární energie uhlí, ropy, zemního plynu a v neposlední řadě i uranu, se lidstvo začalo více zaměřovat na transformaci uvedených energií na energii elektrickou. Transformace primární energie paliv se provádí v elektrárnách, které jsou zásobovány palivem z ropovodů a plynovodů. Uhlí se dopravuje nejčastěji do elektráren železniční a lodní dopravou. Neustálým zvyšováním spotřeby energie se musely stavět nové elektrárny, které by dokázaly uspokojit spotřebu. Výrobci strojů a zařízení při vývoji nových zařízení nezohledňovali jejich energetickou náročnost. Stávající stroje a zařízení se přestavovaly na pohony, které využívají elektrickou energii. Rovněž tepelnou energií se plýtvalo, stavební objekty byly stavěny a provozovány s velkými tepelnými ztrátami. S domněnkou, že zásoby paliv jsou neomezené a hlavně s vývojem a rozvojem jaderné energetiky, lidstvo primárními zdroji energie plýtvalo. Neustále se zvyšovala těžba paliv a světové zásoby klesaly. S poklesem zásob se začala zvyšovat cena paliva. Předpokládá se, že současná světová zásoba ropy je na 60 let, zásoba zemního plynu na 70 let, uranu na 100 let a uhlí na 200 - 300 let. V důsledku poklesu světových zásob paliva je nutné hledat nové cesty jak uspokojit poptávku po energiích.

Na konci minulého století se začal klást velký důraz na snižování spotřeby energií a na ochranu životního prostředí. Výrobci strojů a zařízení se začali předhánět s konstrukcemi strojů, které mají malou spotřebu energie. Stavební průmysl taky nezůstával pozadu a začaly se stavět nízkenergetické stavby. Stavby, které měly vysokou energetickou náročnost, se začaly rekonstruovat. Rozvody energií se stavěly s ohledem na co nejmenší ztráty energie při transportu ke spotřebiteli. Velké finanční prostředky byly investovány do ochrany životního prostředí. Při transformaci primární

energie fosilních paliv na energii zušlechtěnou bohužel dochází ke vzniku škodlivých látek, které mají negativní dopad na životní prostředí. Zejména se jedná o vypouštění znečištěné vody do vodních toků, vypouštění kouřových a výfukových plynů do ovzduší. Začaly se stavět čističky odpadních vod. Došlo také k výraznému snížení prachu, oxidu síry a oxidu dusíku ve vypouštěných plynech do ovzduší. Současně se snižováním spotřeby energie se vyvíjely nové technologie pro transformaci energie. Velký důraz byl kladen na vývoj zařízení na transformaci primární energie z tzv. obnovitelných zdrojů. Stavěly se jaderné reaktory po celém světě.

V České republice se vzhledem k zásobám jak černého tak hnědého uhlí energetika zaměřovala na výstavbu zařízení, ve kterých se transformací této primární energie získá energie tepelná a elektrická. Postavily se jaderné elektrárny, které měly v budoucnu dalšími dostavbami bloků zajistit dostatek energie pro potřebu České republiky.

2.2. Vize energetiky do roku 2050

Rostoucí ceny energie a nedávné geopolitické události ukázaly (zastavením dodávky plynu z Ruska - leden 2009), jak důležitou roli má energie pro ekonomický růst a rozvoj společnosti. Energetiku již není možno řešit jako záležitost jednotlivých států, ale situace se musí řešit globálně na celém světě. V následujících letech bude jako dosud kladen velký důraz na životní prostředí, které se při transformačních procesech poškozuje. V poslední době je kladen velký důraz na snižování produkce skleníkových plynů, zvláště CO₂. Dosáhnout zlepšení s ohledem na životní prostředí lze těmito způsoby:

- snižováním spotřeby elektrické energie a tepla
- zvyšováním účinnosti klasických energetických bloků
- využíváním obnovitelných zdrojů energie (ve zdůvodněné míře jako doplňující technologie)
- využíváním paliv s vyšším poměrem vodíku k uhlíku
- vyšším využíváním jaderné energie
- rozvojem a využíváním technologie čistého spalování uhlí

Zároveň s ohledem na životní prostředí nesmí dojít k omezování vývoje lidské společnosti z důvodu nedostatku energií. V současnosti máme k dispozici tyto zdroje energie :

- energii z fosilního paliva
- jadernou energii
- sluneční energii
- geotermální energii
- větrnou energii
- energii z biomasy

Samozejmě bychom se měli zaměřovat na energii získávanou z tzv. čistých zdrojů (z biomasy, sluneční, geotermální, větrnou a jadernou), ale bohužel zatím nejsme schopni plně nahradit energii z fosilních paliv touto čistou energií. V dalších 50 letech se dá předpokládat, že se energetika bude dále zaměřovat hlavně na transformaci energie s fosilních paliv. V roce 2020 se má zvýšit podíl využití obnovitelných zdrojů v Evropské unii na 20%. Jednou z cest, jak dosáhnout omezení produkce skleníkových plynů, zvláště CO₂, při transformaci fosilních paliv, je použití pokročilých technologií s vyšší účinností. Mezi tyto technologie patří :

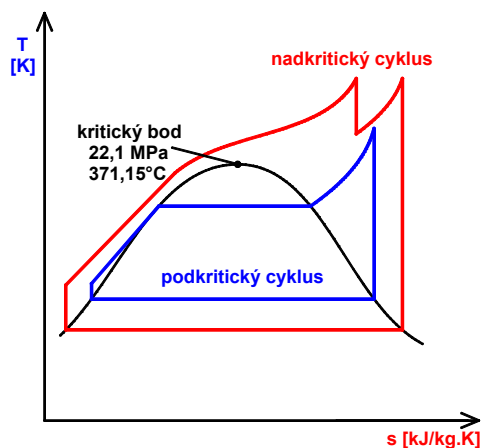
- uhelné bloky s nadkritickými parametry
- tlakové fluidní spalování
- zplyňování uhlí
- využití paroplynového cyklu
- bezemisní parní cykly
- jaderné bloky IV. generace
- termonukleární fúze

Uhelné bloky s nadkritickými parametry

Zvyšováním teploty a tlaku výstupní přehřáté páry z kotle dochází k zvyšování účinnosti Rankin-Clausiova cyklu viz. obr. 1.1. Účinnost těchto elektráren se předpokládá až 55 %.

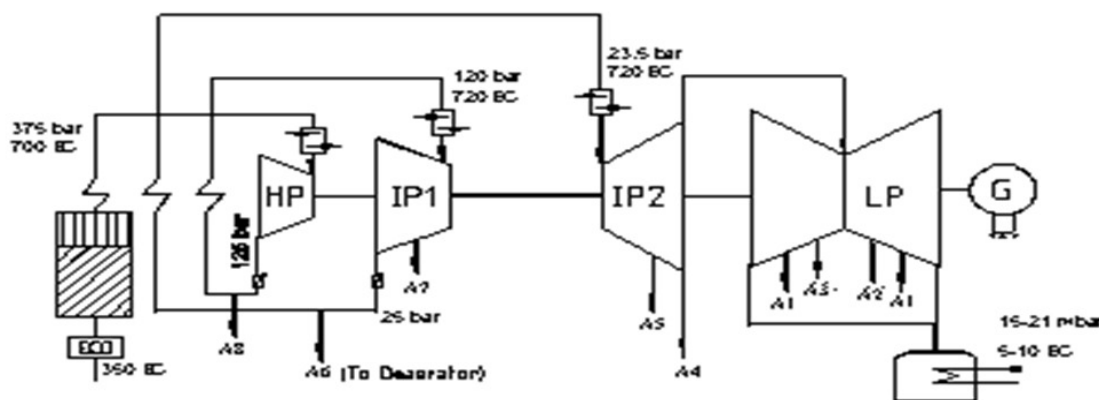
Rozdělení elektrárenských bloků podle parametrů přehřáté výstupní páry je toto:

- nadkritické parametry přehřáté páry 23-25 MPa, 510 - 560°C
- superkritické parametry přehřáté páry 25-36 MPa, 580 - 600°C
- ultrakritické parametry přehřáté páry 36 a více MPa, 600 - 700°C



Obr. 1.1 Rankin-Clausiusův cyklus

Se zvyšováním parametrů přehřáté páry jsou kladeny vysoké nároky na materiály, ze kterých jsou jednotlivé tlakové části kotle vyrobeny. Do teploty 560 °C používáme oceli feritické, pro vyšší teploty už musíme použít oceli austenitické a slitiny na bázi niklu (ALLOY). Použitím jakostnějších ocelí nám velice výrazně stoupá cena kotle. Protože i na lopatky turbín působí vysoké teploty, lopatky se vyrábějí keramické, nebo jsou chlazené. V Evropské unii je vyvíjen projekt s názvem Advanced 700°C PF Power plant viz. obr.1.2, který má za cíl vývoj žárovevné slitiny na bázi niklu pro teplotu 700°C, - zdokonalení cyklu, který by dosahoval účinnost bloku 52-55% podle paliva. V roce 2003 byl uveden do provozu v Německu 800MWe ultrakritický blok Schwarze Pumpe 2003 s účinností 40 % a parametry páry 26,8 MPa, 565 °C. V České republice zatím není v provozu žádný nadkritický blok.



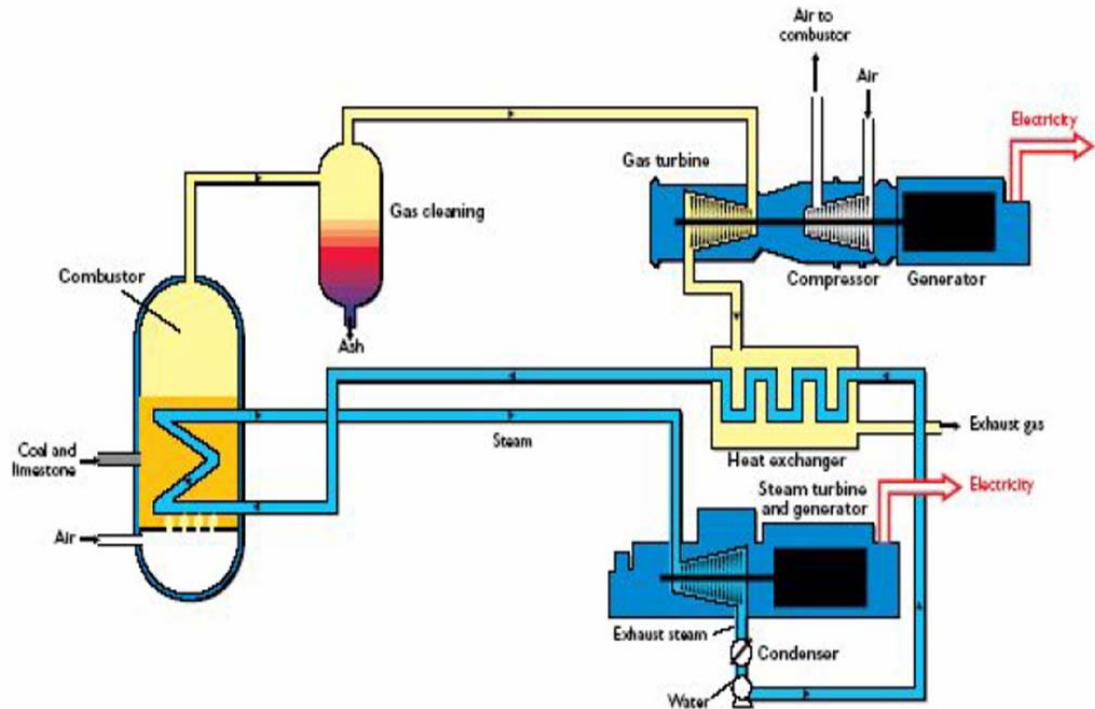
Obr. 1.2 Advanced 700°C PF Power plant

Tlakové fluidní spalování

Jedná se prakticky o fluidní spalování za zvýšeného tlaku, což způsobuje intenzivnější spalování a mnohem větší přestupy tepla. Fluidní kotel obr.1.3 je umístěn v tlakové nádobě, spaliny opouštějí kotel pod tlakem, kterého je využito po vyčištění spalin na expanzní turbíně. V principu se jedná o kombinovaný cyklus. Spalovací teplota je 800-900°C jako u klasického fluidního kotle, tlak spalin je 1-2 MPa a teplota spalin je nízká a nelze ji příliš zvyšovat. Nevýhodou této technologie je, že velká část vstupní energie je využita v parním cyklu. Účinnost této technologie je předpokládána 45%. Tato technologie je již provozována, např. blok v Japonsku „KARIKA“ s 42% účinností a výkonem 360 MW.



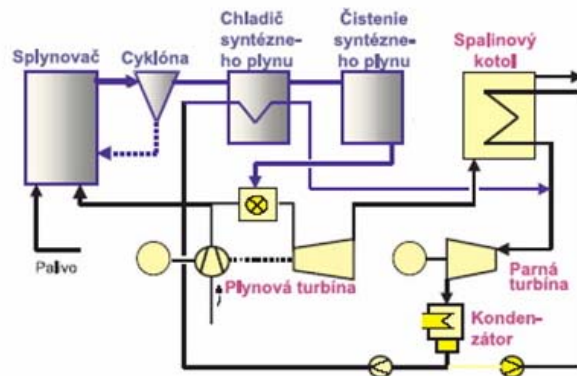
Obr. 1.3 Fluidní reaktor v tlakové nádobě



Obr. 1.4 Schéma zapojení tlakového fluidního bloku

Zplyňování uhlí

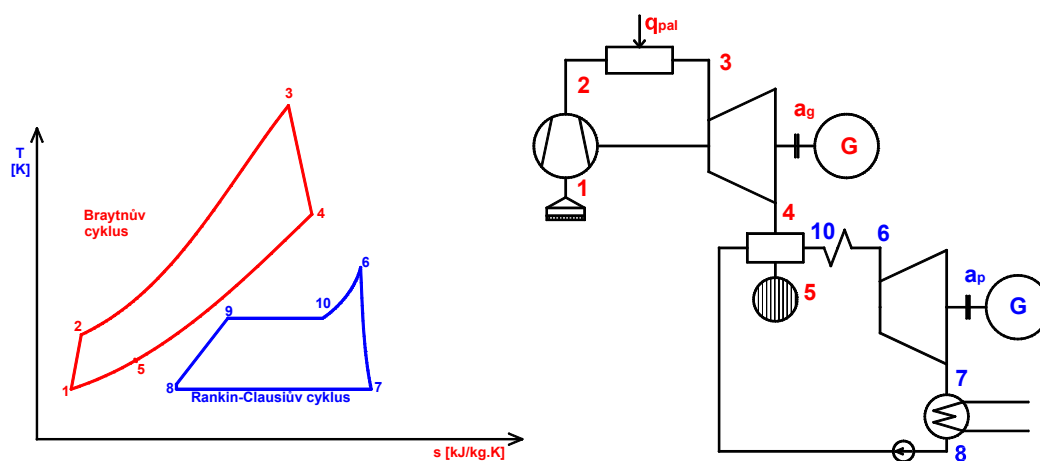
Do této technologie je vkládána velká naděje pro použití v příštích 50 letech. Vyšší teplota na vstupu do turbíny výrazně ovlivní účinnost celého cyklu, jedná se o zplynění uhlí ve zplyňovači a využití vytvořeného plynu na spalovací turbíně a následné využití odpadního tepla. S použitím paroplynového cyklu viz. obr.1.5 lze dosáhnout účinnosti bloku až 60%. Pro zplyňování lze užít více typů zplyňovacích reaktorů.



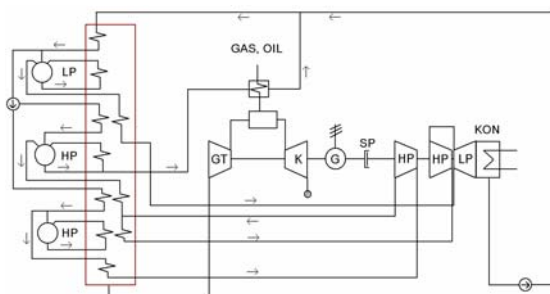
Obr. 1.5 Schéma zapojení zplyňování uhlí

Paroplynové cykly

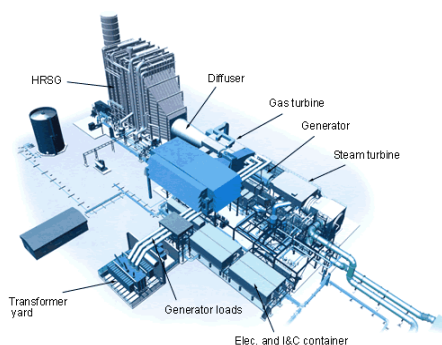
Jedná se o kombinaci Rankinova-Clausiova a Braytonova cyklu viz obr.1.6, přičemž moderní systémy tohoto typu využívají více oddělených tlakových okruhů a nejnovějších technologií. Účinnost paroplynového cyklu při spalování zemního plynu se předpokládá až 60%. Pro vícetlakové moderní paroplynové cykly, schéma je uvedeno na obr. 1.7, je charakteristické použití technologie chlazených lopatek spalovací turbíny - z důvodu vyšší teploty na vstupu do spalovací turbíny. Tato technologie obsahuje systém s jednou hřídelí a axiálním kompresorem, oddělené tlakové parní okruhy pro plynná nebo kapalná paliva. Použití nenáročného palivového hospodářství a možná výstavba bloku v rovinovém nezastřešeném provedení snižuje cenu zařízení.



Obr. 1.6 Kombinace Rankin-Clausiova a Braytonova cyklu



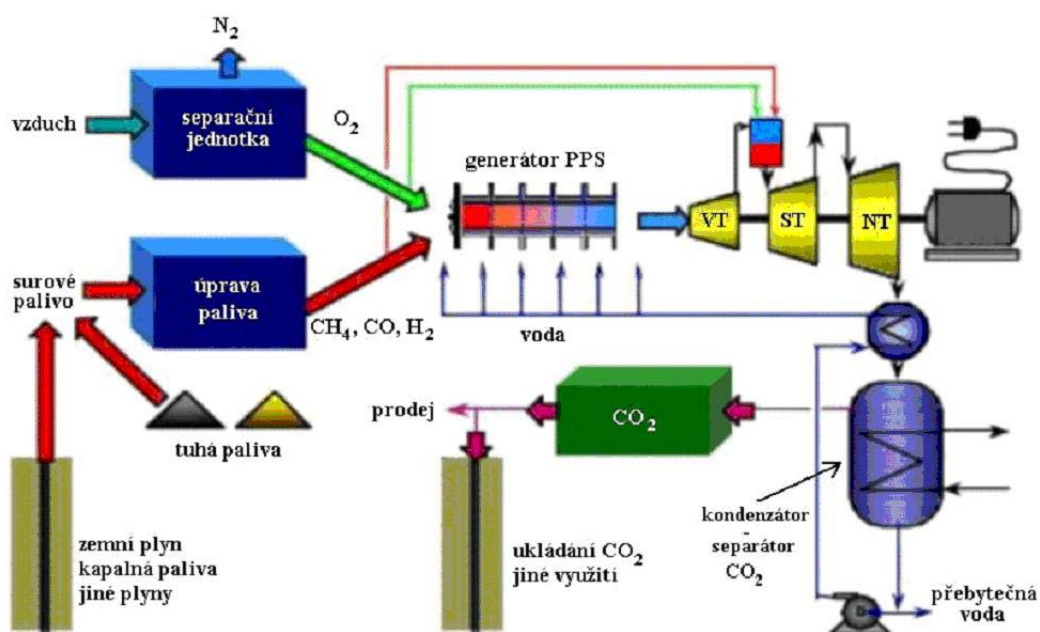
Obr.1.7 Schéma vícetlakového bloku



Obr.1.8 Elektrárenský nezastřešený blok

Bezemisní parní cykly

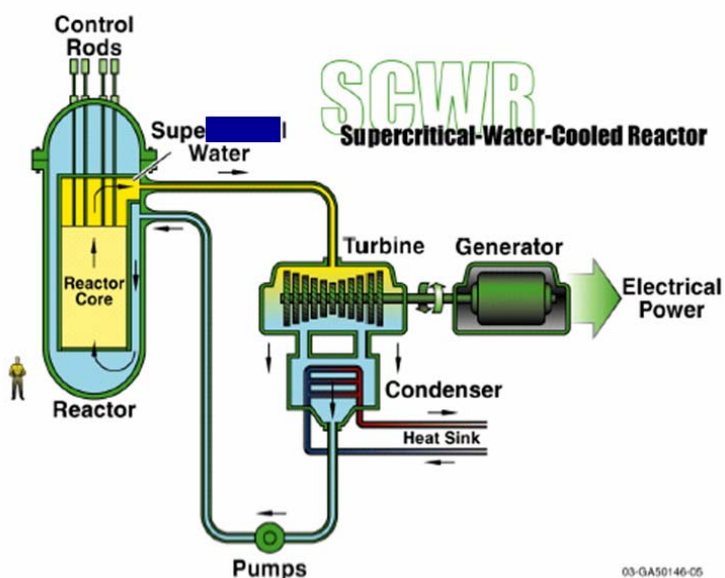
Jedná se o spalování vodíku či uhlovodíků čistým kyslíkem, za vzniku páry nebo paroplynné směsi. Do směsi se vstříkuje voda, ze které vzniká pára, která se využívá v upravené parní turbíně. Za turbínou je kondenzátor, ve kterém voda ze vstříku a z paliva zkondenzuje. Část se využije pro další vstřík do generátoru, zbytek se odvádí.



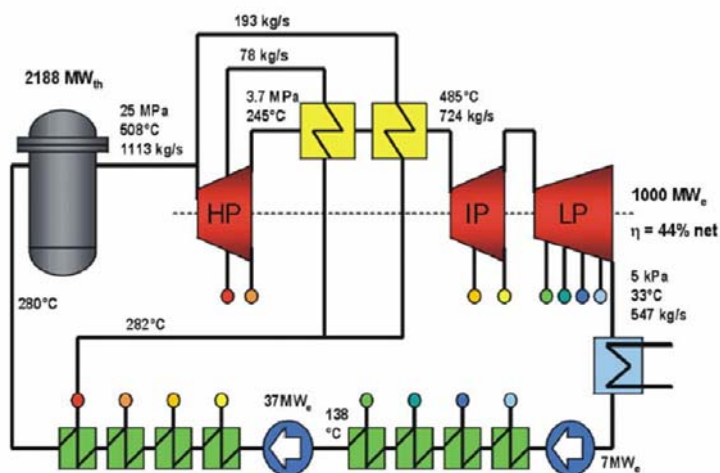
Obr. 1.9 Schéma bezemisního cyklu

Jaderné bloky IV. generace

Využití jaderné energie je pro některé státy nepřijatelné vzhledem k bezpečnosti provozu. V budoucnu se bez využití jaderné energie neobejdeme. Neustále se vyvíjejí nové jaderné bloky s vysokou primární bezpečností. V současné době jsou vyvíjeny reaktory IV. generace - viz. obr. č. 1.10. Na obrázku č. 1.11 je zobrazeno schéma jaderné elektrárny se superkritickými parametry, 1000MWe, 25 MPa, teplota 508°C a účinnost 44%.



Obr. 1.10 Jaderný reaktor IV generace

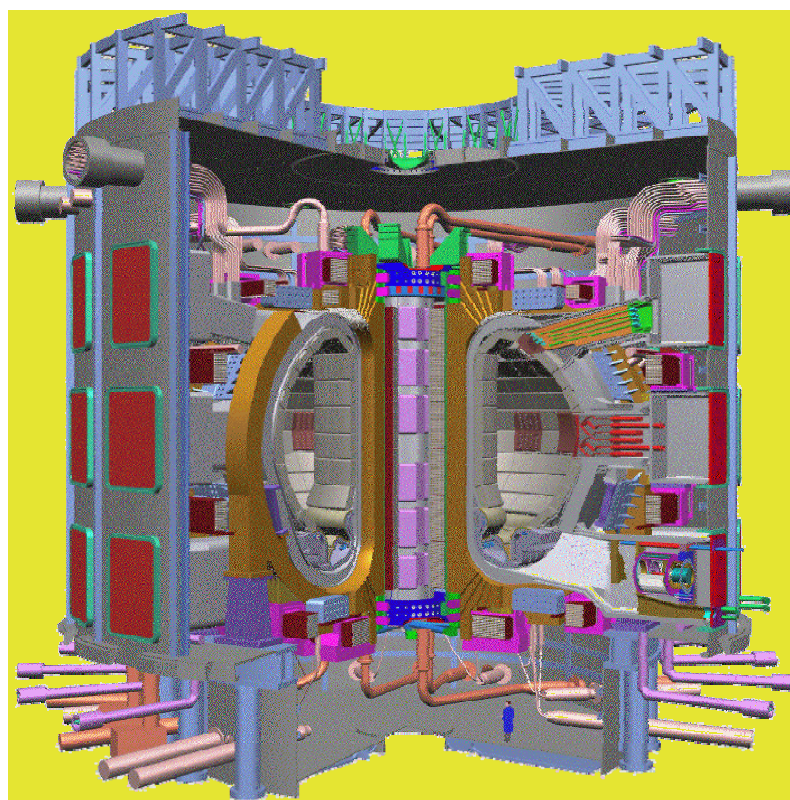


Obr. 1.11 Schéma zapojení jaderného bloku

Termojaderná fúze

Termonukleární reakce či jaderná fúze je proces, při kterém dochází ke sloučení atomových jader a vzniku těžšího jádra. Tato technologie je zatím ve výzkumu. Předpoklad ke komerčnímu využití je kolem roku 2040. Za jednu z nadějných cest k realizaci kontrolované jaderné fúze se považuje tokamak. V principu totiž umožňuje vytvoření velmi horkého plazmatu a při dosažení dostatečně vysoké teploty (stovky miliónů kelvinů) a hustoty částic se mohou slučovat jádra lehkých atomů (vodík) na jádra těžší (helium). Ve světě existuje několik desítek

tokamaků, kde probíhá výzkum příslušných fyzikálních dějů. Největším mezinárodním projektem je probíhající výstavba obřího tokamaku ITER ve francouzském Cadarache u Marseille, na které se podílí mezinárodní konsorcium více států. ITER obr. 1.12. Tento projekt připravovaného tokamaku by se měl stát předstupněm ke komerčnímu využití termonukleární fúze v energetice. Jde o druhý nejdražší mezinárodní vědecký projekt (po Mezinárodní vesmírné stanici) – celkový rozpočet projektu je 10 mld. €, z čehož polovinu uhradí Evropská unie a zbytek ostatní účastnické státy: USA, Rusko, Čína, Japonsko, Jižní Korea a Indie (očekává se přistoupení Brazílie k projektu). Reaktor by mohl být uveden do provozu v roce 2016. Objem reaktoru je asi 840 m³. Plánovaný výkon by měl být 500 MW během zážehů pulsů plazmatu trvajících přinejmenším 500 s. Palivem pro tento reaktor by měla být dávka cca 0.5 g směsi deuteria a tritia, které produkují řádově méně radioaktivního odpadu a prakticky nulové znečištění atmosféry. Jeho stavba by měla vést k porozumění problematice jaderné fúze, vyřešení praktických problémů s tímto druhem energetiky a měla by umožnit kolem roku 2040 stavbu prvních elektráren založených na tomto principu.



Obr. 1.12 Model tokamaku – ITER

2.3. Energetika v České republice

Hlavními primárními zdroji pro výrobu elektrické a tepelné energie u nás je a bude uhlí a jaderné palivo. V budoucnu nemůžeme počítat ve větším měřítku s využitím vodní, termální, větrné a sluneční energie. V současné době se Česká republika nachází v období rozhodnutí, jak se dále bude vyvíjet energetická politika státu. Stávající elektrárenské bloky jsou již zastaralé a mají nízkou účinnost. Česká republika se může vydat zásadně třemi směry:

1. výstavba nových elektrárenských bloků se superkritickými parametry
2. provést tzv. retrofity stávajících bloků
3. dostavba 2 nových bloků jaderné elektrárny Temelín

Výstavba nového superkritického bloku v Ledvicích

V současné době byla zahájena výstavba prvního superkritického bloku v České republice, který zároveň bude nejmodernější ve střední Evropě. Superkritický 660 MW blok bude postaven v elektrárně Ledvice a jeho dokončení se předpokládá v roce 2012. Výroba elektřiny bude šetrná k životnímu prostředí, účinnost dosáhne 44%. Kotel bude svou výškou 147 metrů nejvyšší budovou v Čechách. Blok bude spalovat hnědé uhlí, teplota přehřáté páry bude 600°C a tlak páry bude 27 MPa. Dodavatelem kotle budou společnosti ALSTOM Power Boiler GmbH se sídlem ve Stuttgartu a ALSTOM Power, s.r.o. se sídlem v Brně. Turbínu dodá firma ŠKODA POWER, a.s.

Retrofity stávajících bloků v elektrárně Tušimice a Pruněřov.

Retrofit je metoda, při které se některé části elektrárny opravují a některé jsou nahrazeny již zcela novým zařízením na místě starého. Sedm dosluhujících kotlů v elektrárnách Tušimice a Pruněřov bude nahrazeno novými kotly o výkonu 200 MW. Kotle byly vyvinuty ve Vítkovicích a budou namontovány společností Hutní Montáže. Nové kotle mají zdokonalené spalovací procesy a dále sníží ekologickou zátěž pro okolí.

Dostavba dvou nových bloků jaderné elektrárny Temelín

V roce 2008 podala firma ČEZ, a.s. žádost na ministerstvo životního prostředí o posouzení vlivu případné dostavby jaderné elektrárny Temelín na životní prostředí. ČEZ předpokládá zahájení stavby v roce 2013, výstavba prvního bloku by měla být dokončena v roce 2020. Pro dostavbu jaderné elektrárny Temelín přichází v úvahu několik variant nejmodernějších tlakovodních reaktorů (PWR). Jedná se o projekty tzv. III. a III.+ generace. Z hlediska výkonu nových bloků firma zvažuje čtyři alternativy. Nejslabší počítá s výkonem 1000 MW u každého bloku, což je výkon každého z již existujících dvou bloků elektrárny. Nejsilnější varianta předpokládá výkon 1700 MW u každého bloku.

3. Popis parního kotle IGNIFLUID v Teplárně Sviadnov

3.1. Teplárna Sviadnov u Frýdku-Místku

Dodavatelem tepla pro město Frýdek-Místek je Teplárna Sviadnov. V teplárně jsou umístěny 2 horkovodní kotle K2 a K3 o výkonu 58 MW a jeden parní kotel s označením K1 o parním výkonu $45 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$. Všechny tři kotle jsou typu IGNIFLUID spalující černé uhlí. Parní kotel K1 byl původně horkovodní o výkonu 35MW. V roce 1997 byla provedena rekonstrukce horkovodního kotle K1 na kotel parní. Výstupní přehřátá pára je parovodem přivedena do parního rozdělovače. Z parního rozdělovače pára vstupuje do protitlaké parní turíny, nebo je pára vedena do ohříváku topné vody VTO 2. Topná voda po průchodu VTO 1 je zavedena do centrálního zásobování teplem. Protitlaká parní turbína s generátorem o výkonu 3 MWe byla dodána při rekonstrukci kotle K1 (1997). Elektrická energie je dodávána do elektrické sítě. Při rekonstrukci kotle byly nahrazeny teplosměnné plochy ohříváku vody konvekčními svazky ekonomizéru a přehříváku páry. Rovněž byl na kotel namontován parní buben. Regulace teploty páry je provedena vstříkem kondenzátu, tato regulace byla taktéž namontována při rekonstrukci. Napájecí nádrž s dvěma odplyňovači, jedno napájecí čerpadlo s elektromotorem a jedna turbonapáječka byly doinstalovány při rekonstrukci.

Parní kotel má sedm šotů umístěných v horní části spalovací komory, šoty jsou zapojeny jako sekundární výparné plochy. V minulosti byly dva vodní šoty zapojeny jako první stupeň přehříváku, ale kvůli častým poruchám (propálení trubek šotů v důsledku nedostatečného chlazení trubek) byly šoty zapojeny zpět jako výparné plochy.

3.2. Popis kotle IGNIFLUID

Parní kotel K1 je vodotrubný, jedno-bubnový s přirozenou cirkulací, podtlakový, s roštem pro fluidní spalování pevného paliva – černouhelného prachu. Buben je opatřen šesti odlučovači - cyklóny k odloučení částic vody obsažených v páře.

Výparník je tvořen membránovými stěnami a kotlovými svazky, které jsou umístěny v horní části spalovací komory. Strop spalovací komory je membránový (přední membránová stěna přechází v membránový strop). Na výstupu ze spalovací komory (za mříží) je žaluziový odlučovač včetně převáděcího potrubí popílku. Za odlučovačem je umístěn dvoustupňový přehřívák páry. Teplota přehřáté páry se reguluje vstřikem vlastního kondenzátu - systém Doležal. Dále následuje dvoudílný ohřívák vody a tah je ukončen výsypkami, do kterých je zaústěno převáděcí potrubí popílku ze žaluziového odlučovače.

Spalovací proces je řízen z operátorského pracoviště na tepelném velínu pomocí řídicího systému SIEMENS. Palivo pro spalování je do topeniště dopravováno pomocí dvou řetězových podavačů ze dvou zásobníků paliva. Vyhořelé palivo je v podobě strusky vynášeno roštem do drtiče strusky „MARTIN“. Potřebný tah v ohništi a odvod spalin je zajištěn kouřovým ventilátorem, vzduch pro spalovací režim je dopravován vzduchovým ventilátorem. Primární vzduch je přiveden pod rošt do jednotlivých zón, sekundární vzduch je přiveden na pravou a levou stranu kotle.

Propad z topeniště propadává přes roštnice roštu do výsypek opatřených propadovými klapkami s automatickou regulací nebo pouze potrubím či sběračem z ocelového plechu do šneku propadu. Propad i struska z drtiče strusky jsou dopravovány soustavou tří pásových dopravníků do struskového zásobníku.

Úlet popílku je zachycen v mechanických odlučovačích. Jako druhý stupeň odloučení slouží zařízení TF společné pro všechny kotle TFM. Zachycený popílek obsahující až 20 % spalitelných látek je pomocí pneumatické dopravy z obou

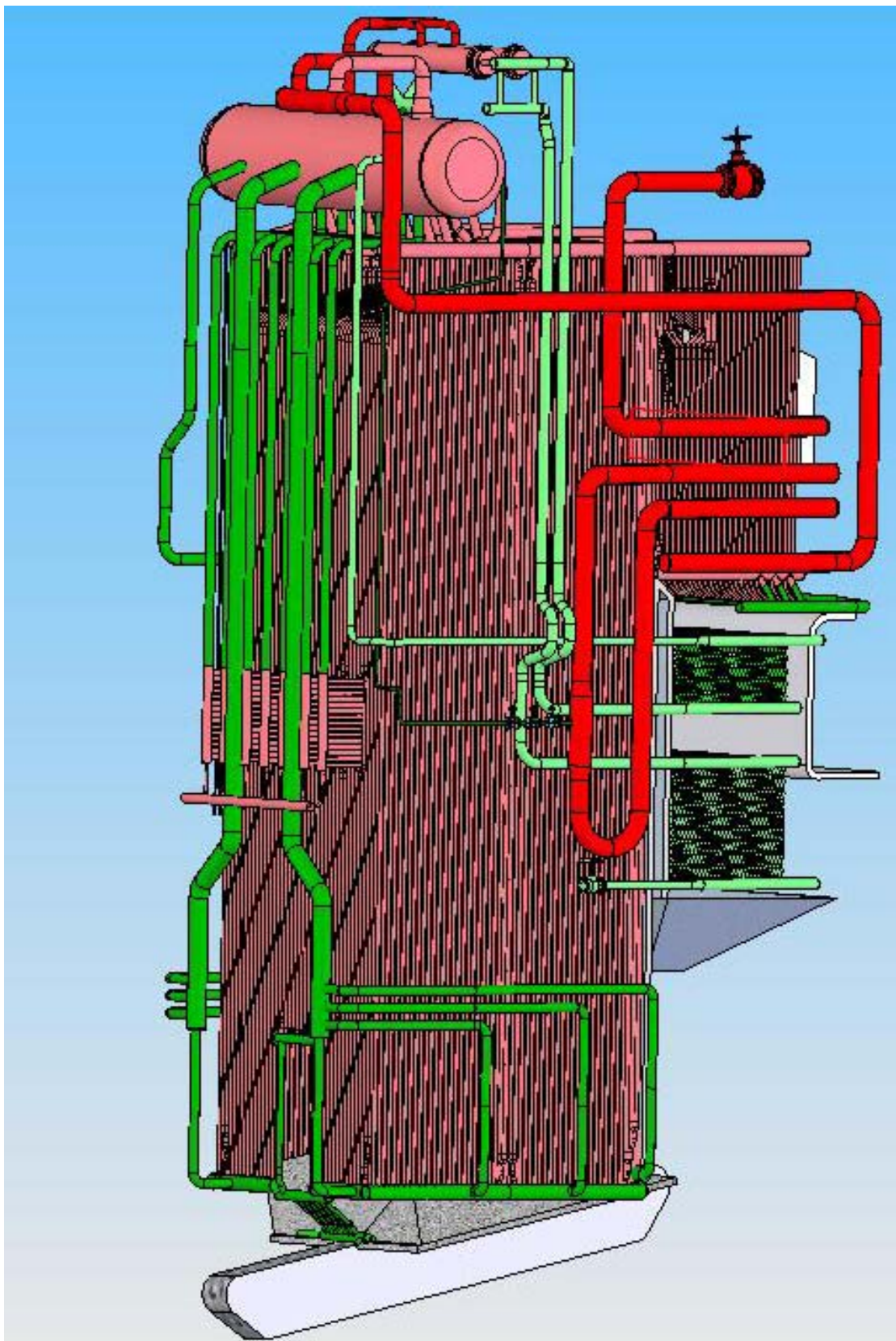
zmíněných zařízení zaveden zpět do kotle, kde dochází k jeho vyhoření. Nespalitelné látky jsou vázány do strusky.

Napojení roštu IGNIFLUID na přední a boční stěny se děje vyformováním svahů popelem pod sypným úhlem od chladicích trámů, jejichž povrch se za provozu obnovuje popelem z fluidní vrstvy, jinak však tyto svahy nehoří, neprochází jimi vzduch.

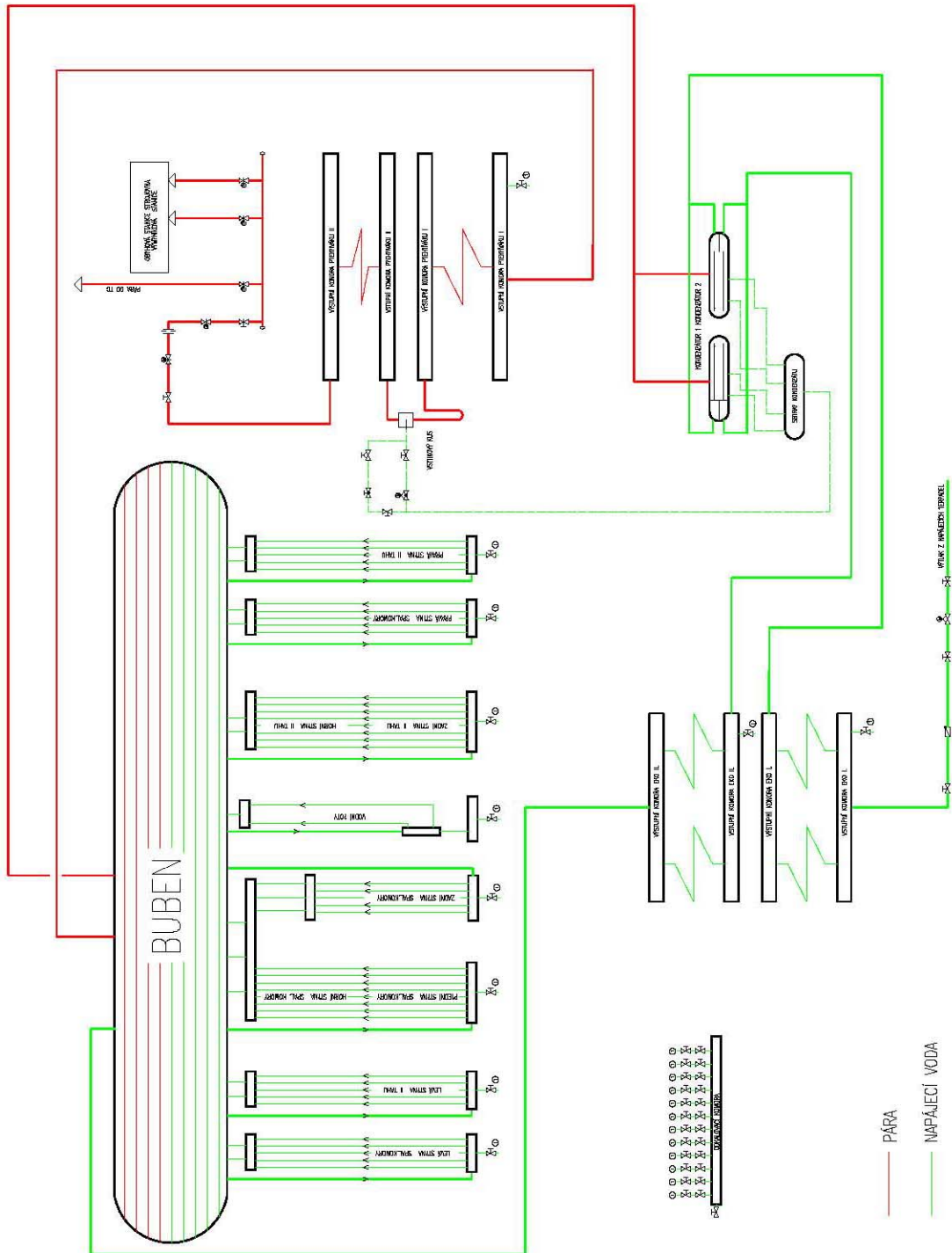
Fluidní lože je homogenní, kde neexistuje pásmo odplyňování, zapalování a hoření paliva. Přívodem čerstvého paliva se lože chladí. S ohledem na objem lože a podmínku správné teploty v loži je nutno rovnoměrně a pečlivě řídit přívod paliva do lože - nejlépe automatickou regulací, i když ruční regulace není vyloučená. Tlak ve fluidní vrstvě je přímo úměrný výšce fluidní vrstvy a je dán poměrem množství paliva a množství primárního vzduchu. Regulace ohniště IGNIFLUID se děje udržováním konstantní výšky fluidní vrstvy. Impulem od tlaku ve spodní části vrstvy, tj. těsně nad roštem, se přímo ovládá podávání paliva. Primární vzduch je pod rošt přiveden do jednotlivých zón přes tzv. spřažené klapky, které jsou ovládány z ŘS třemi elektropohony. Elektropohony pomocí táhel ovládají jednotlivé klapky tak, že táhlo prvního elektropohonu ovládá klapku první zóny a pneu-těsnění, táhlo druhého elektropohonu klapky druhé, třetí a čtvrté zóny, táhlo třetího elektropohonu pak zbývající klapky páté a šesté zóny. Ovládání všech elektropohonů je možné jedním tlačítkem z řídicího systému.

3.3. Technická data parního kotle K1

Výrobní číslo:	23413
Rok výroby:	Původní HV kotel 1974, rekonstrukce na parní 1997
Rok uvedení do provozu:	1998
Výrobce:	ČKD Dukla
Jmenovitý výkon:	45 t·h ⁻¹
Hospodárný výkon:	36 t·h ⁻¹
Minimální výkon:	20 t·h ⁻¹
Jmenovitý přetlak páry:	2,3 MPa
Nejvyšší přetlak páry:	2,6 MPa
Konstrukční přetlak páry:	3,0 MPa
Tlak před napájecí hlavou:	3,4 MPa
Jmenovitá teplota páry:	365 °C
Dovolené odchylky od jmen. teploty páry:	±15 °C
Jmenovitá teplota napájecí vody:	105 °C
Dovolené odchylky teploty nap. vody:	- plusová 0 °C - minusová 5 °C
Kvalita napájecí vody:	dle ČSN 07 7401
Palivo:	
Druh: zrnění 0-20 mm	černouhelný hruboprach



Obr. 3.1 Model kotle K1

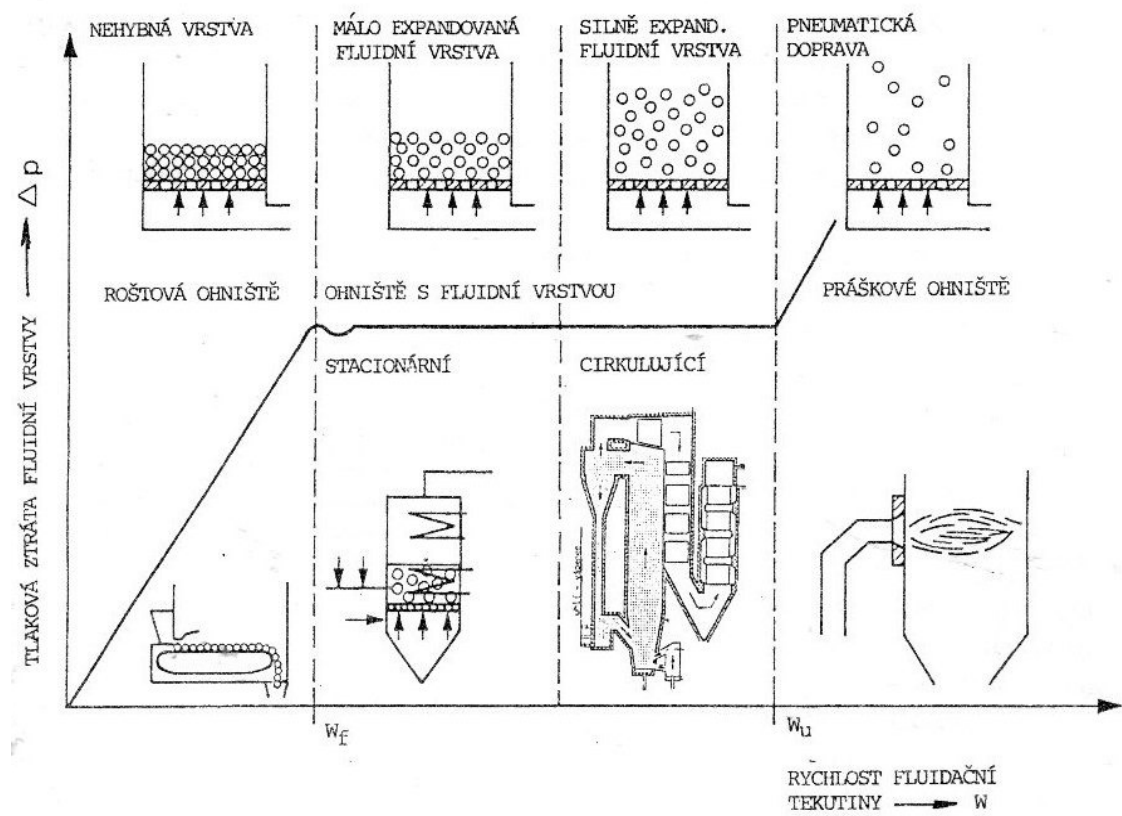


Obr. 3.2 Schéma pára-voda kotle K1

4. Spalování paliva

4.1. Princip ohnišť

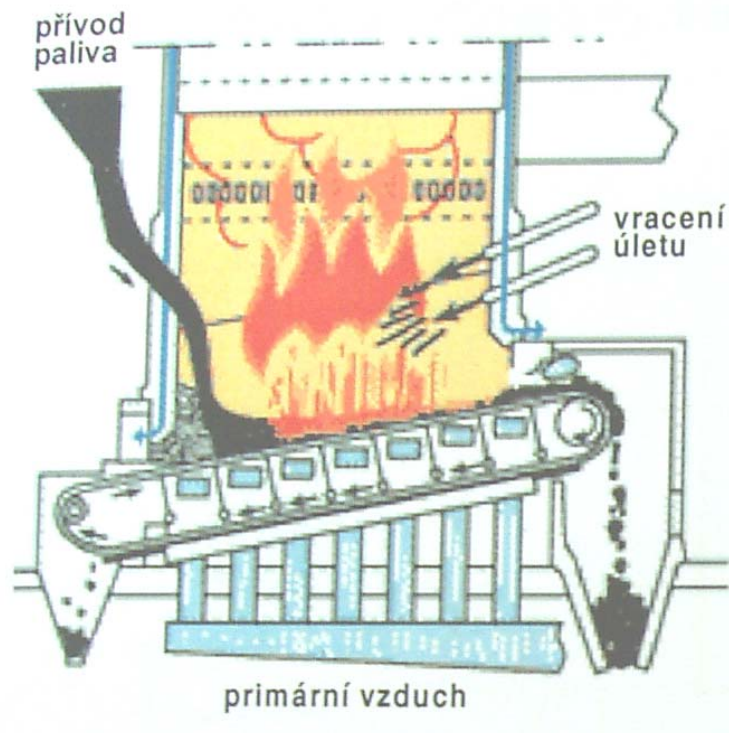
Ohniště kotle může mít několik provedení. Dělení ohnišť podle rychlosti proudění plynu je na obr.5.1. V nádobě nad roštem (obr. nad křivkou) je nejdříve nehybná vrstva zrnitého materiálu. Pod rošt se přivádí vzduch a s rostoucím množstvím vzduchu se zvyšuje tlaková ztráta nehybné vrstvy materiálu. Jakmile rychlost dosáhne prahové rychlosti fluidace, začnou částice fluidovat, vznikne fluidní vrstva a částice jsou v silové rovnováze. Při dalším zvyšování průtoku vzduchu se tlaková ztráta nemění, fluidní vrstva expanduje. Když se rychlost zvýší na hodnotu prahové rychlosti úletu, zaniká fluidní vrstva a začíná oblast pneumatické dopravy. Při zvyšování rychlosti nad hodnotu prahové rychlosti úletu se tlaková ztráta zvyšuje.



Obr. 4.1 Rozdělení ohnišť podle prahové rychlosti

4.2. Spalování ve škvárující fluidní vrstvě - IGNIFLUID

Kotel s označením IGNIFLUID je kotlem se škvárující fluidní vrstvou. Pro škvárující fluidní vrstvu je charakteristická vyšší teplota fluidní vrstvy než teplota měknutí popelovin spalovaného paliva. Dno ohniště tvoří pásový rošt uložený šikmo nahoru směrem k odvodu škváry. Tento šikmý pásový rošt je vyroben na základě licenční smlouvy. Je vhodný především pro spalování černého uhlí. Rošt plní funkci jak fluidního roštu tak i roštu vynášecího o dohořivacího. Protože ve fluidní vrstvě je výrazně intenzivnější sdílení tepla a hmoty než na klasickém roštu, není rošt proveden pod celým průřezem ohniště. Rychlost spalin k hladině fluidní vrstvy klesá. Větší částice paliva fluidují ve spodní části fluidní vrstvy a menší částice fluidují v horní části vrstvy. Teplota ve fluidní vrstvě je vyšší než teplota měknutí popeloviny, částice popeloviny se slepují a vytvářejí škvárované kusy. Škvárované kusy již nejsou schopny fluidace, klesají na rošt tam dohořívají a jsou vynášeny ze spalovací komory a padají do drtiče „MARTIN“.



Obr. 4.2 Fluidní rošt

4.3. Používané palivo v Teplárně Sviadnov

V kotli se škarující fluidní vrstvou se používá tuhé palivo. V kotli K1 se spaluje černé uhlí (hruboprach). V minulosti se v kotli také prováděly spalovací zkoušky k ověření možnosti kombinovaného spalování černého uhlí a různých druhů tuhých paliv, např. biomasa, PALOZO (směs papíru, textilu, plastu z komunálního odpadu), proplastky apod. Spalovací zkoušky byly většinou úspěšné, ale v současné době se v kotli spaluje černé uhlí, popřípadě směs černého uhlí s biomasou. Jedná se o hruboprach s granulometrií 0-20 mm dodávaný z lokality Ostravsko-Karvinského revíru nebo z Polska.

4.4. Analýza paliva

Jakost energetického uhlí se určuje na základě laboratorního rozboru analytického vzorku, který se získá úpravou dílčího vzorku surového paliva. Pro kontrolní tepelný výpočet kotle potřebuji znát složení paliva, výhřevnost paliva a charakteristiku popela (teplota měknutí, teplota tání, teplota tečení). Jelikož na kotli K1 před generální opravou bylo provedeno měření účinnosti kotle, byl odebrán vzorek paliva, propadu a škváry. Tyto vzorky byly odeslány do laboratoře na analýzu.

4.4.1. Postup odběrů vzorů

Škvára

Škvára byla odebírána z dopravní trasy škváry pod kotlem. Vzorek škváry byl odebírán v intervalu cca 30 minut. Metodicky byla odebírána pouze škvára z vodního uzávěru „Martin“ pod kotlem. Z celkového odebraného množství byl kvartací připraven průměrný laboratorní vzorek ze zkoušek pro stanovení obsahu spalitelných látek. Vzorky byly uloženy v plastových obalech s uzavíratelným víkem, aby nedošlo ke znehodnocení.

Propad

Propad pod roštem byl odebírán po zastavení vyhrnovače z dopravního pásu pod kotelnou. Při provozu kotle K2 bylo vyhrnování škváry a šnekování propadu odstaveno. V popelech byly stanoveny obsahy spalitelných látek pro výpočet účinnosti kotle.

Palivo

Palivo bylo odebíráno z podavače surového uhlí na vstupu paliva do kotle. Vzorek paliva byl odebírán v intervalu cca 15 min. v množství cca 3 kg. Následně byla po ukončení jednotlivých zkoušek provedena kvartace. Laboratorní vzorek byl uložen v plastovém obalu s uzavíratelným víkem pro zabránění úniku vlhkosti.

4.4.2. Výsledky rozborů paliva kotle K1

Ukazatel	Označení	Výsledky rozboru při výkonu kotle 22,54 t.h ⁻¹ páry	Výsledky rozboru při výkonu kotle 43,29 t.h ⁻¹ páry
Voda veškerá původní	W_t^r	6,8 %	8,3 %
Popel původní	A^r	15,84 %	13,06 %
Popel bezvodný	A^d	16,99 %	14,24 %
Spalné teplo v hořlavině	Q_s^{daf}	35,07 MJ/kg	33,93 MJ/kg
Výhřevnost původní	Q_i^r	26,06 MJ/kg	25,56 MJ/kg
Síra v hořlavině	S^{daf}	0,826 %	0,472 %
Dusík v hořlavině	N^{daf}	1,318 %	1,258 %
Uhlík v hořlavině	C^{daf}	88,729 %	86,321 %
Vodík v hořlavině	H^{daf}	5,02 %	4,947 %
Kyslík v hořlavině	O_d^{daf}	4,107 %	7,002 %

Tab. 4.1 Výsledky rozboru paliva

Výsledky rozborů propadu

Ukazatel	Výsledky rozboru při výkonu kotle 22,54 t.h ⁻¹ páry	Výsledky rozboru při výkonu kotle 43,29 t.h ⁻¹ páry
Spalitelné látky	48,87 %	17,91 %

Tab. 4.2 Výsledky rozboru propadu kotle K1

Výsledky rozborů škváry

Ukazatel	Výsledky rozboru při výkonu kotle 22,54 t.h ⁻¹ páry	Výsledky rozboru při výkonu kotle 43,29 t.h ⁻¹ páry
Spalitelné látky	17,83 %	23,73 %

Tab.4.3 Výsledky rozboru škváry kotle K1

4.5.Výhřevnost paliva

Výhřevnost je definována jako množství tepla, které se uvolní při dokonalém spálení analytického vzorku paliva a ochlazení vzniklých spalin na původní teplotu, přičemž se předpokládá, že voda obsažená v analytickém vzorku i voda vzniklá spálením vodíku zůstane v plynné fázi.

Spalné teplo se zjišťuje kalorimetricky, výpočet spalného tepla i výhřevnosti jsou předepsány normou ČSN 44 1352.

4.5.1.Výpočet výhřevnosti paliva z prvkového složení

Jestliže potřebujeme vypočítat výhřevnost paliva z prvkového rozboru, musíme přepočítat výsledky rozboru paliva, které určují procentuální zastoupení jednotlivých prvků v hořlavině, na původní stav paliva.

Pro výpočet obsahu popele v původním („r“) stavu paliva použijí vzorec (4-1) :

$$A^r = (1 - W_t^r) \cdot A^d \quad [\%] \quad (4-1)$$

kde : A^d obsah popele v bezvodém stavu [-]

W_t^r obsah veškeré vody v palivu [-]

$A^d = 0,142$ – výsledek z laboratoře

$W_t^r = 0,083$ – výsledek z laboratoře

Po dosazení do vztahu (4-1) vypočteme obsah popele v původním stavu :

$$A^r = (1 - W_t^r) \cdot A^d$$

$$A^r = (1 - 0,083) \cdot 0,142$$

$$A^r = 0,13 = 13 \%$$

Pro přepočítání obsahu uhlíku z hořlaviny („daf“) na obsah uhlíku v původním stavu paliva použijí vzorec (4-2) :

$$C^r = (1 - W_t^r - A^r) \cdot C^{daf} \quad [\%] \quad (4-2)$$

kde : A^r obsah popele v původním stavu [-]

W_t^r obsah veškeré vody v palivu [-]

C^{daf} obsah uhlíku v sušině [-]

$A^r = 0,13$ – výpočet dle vztahu (4-1)

$W_t^r = 0,083$ – výsledek z laboratoře

$C^{daf} = 0,863$ – výsledek z laboratoře

Po dosazení do vztahu (4-2) vypočteme obsah uhlíku v původním stavu („r^{cc}“) :

$$C^r = (1 - 0,083 - 0,13) \cdot 0,863$$

$$C^r = 0,679 = 67,9 \%$$

Pro přepočtení obsahu vodíku z hořlaviny („daf“) na obsah vodíku v původním stavu paliva použijí vzorec (4-3) :

$$H^r = (1 - W_t^r - A^r) H^{daf} \quad [\%] \quad (4-3)$$

kde : A^r obsah popele v původním stavu [-]
 W_t^r obsah veškeré vody v palivu [-]
 H^{daf} obsah vodíku v sušině [-]

$A^r = 0,13$ – výpočet dle vztahu (4-1)

$W_t^r = 0,083$ – výsledek z laboratoře

$H^{daf} = 0,0494$ – výsledek z laboratoře

Po dosazení do vztahu (4-3) vypočteme obsah vodíku v původním stavu („r^{cc}“) :

$$H^r = (1 - 0,083 - 0,13) \cdot 0,0494$$

$$H^r = 0,039 = 3,9 \%$$

Pro přepočtení obsahu kyslíku z hořlaviny („daf“) na obsah kyslíku v původním stavu paliva použijí vzorec (4) :

$$O^r = (1 - W_t^r - A^r) O^{daf} \quad [\%] \quad (4-4)$$

kde : A^r obsah popele v původním stavu [-]
 W_t^r obsah veškeré vody v palivu [-]
 O^{daf} obsah kyslíku v sušině [-]

$A^r = 0,13$ – výpočet dle vztahu (1)

$W_t^r = 0,083$ – výsledek z laboratoře

$O^{daf} = 0,07$ – výsledek z laboratoře

Po dosazení do vztahu (4-4) vypočteme obsah kyslíku v původním stavu („r“) :

$$O^r = (1 - 0,083 - 0,13) \cdot 0,07$$

$$O^r = 0,055 = 5,5 \%$$

Pro přepočtení obsahu dusíku z hořlaviny („daf“) na obsah dusíku v původním stavu paliva použijí vzorec (4-5) :

$$N^r = (1 - W_t^r - A^r) \cdot N^{daf} \quad [\%] \quad (4-5)$$

kde : A^r obsah popele v původním stavu [-]

W_t^r obsah veškeré vody v palivu [-]

N^{daf} obsah dusíku v sušině [-]

$A^r = 0,13$ – výpočet dle vztahu (4-1)

$W_t^r = 0,083$ – výsledek z laboratoře

$N^{daf} = 0,0125$ – výsledek z laboratoře

Po dosazení do vztahu (4-5) vypočteme obsah dusíku v původním stavu („r“) :

$$N^r = (1 - 0,083 - 0,13) \cdot 0,0125$$

$$N^r = 0,0098 = 0,98 \%$$

Pro přepočtení obsahu síry z hořlaviny („daf“) na obsah síry v původním stavu paliva použijí vzorec (4-6) :

$$S^r = (1 - W_t^r - A^r) \cdot S^{daf} \quad [\%] \quad (4-6)$$

kde : A^r obsah popele v původním stavu [-]
 W_t^r obsah veškeré vody v palivu [-]
 S^{daf} obsah síry v sušině [-]

$A^r = 0,13$ – výpočet dle vztahu (4-1)

$W_t^r = 0,083$ – výsledek z laboratoře

$S^{daf} = 0,0047$ – výsledek z laboratoře

Po dosazení do vztahu (4-6) vypočteme obsah síry v původním stavu („r“) :

$$S^r = (1 - 0,083 - 0,13) \cdot 0,0047$$

$$S^r = 0,0037 = 0,37 \text{ \%}$$

Pro výpočet výhřevnosti paliva použijí Mendělejevův vzorec (4-7) :

$$Q_i^r = 339 \cdot C^r + 1030 \cdot H^r - 109(O^r - S^r) - 24,5 \cdot W_t^r \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4-7)$$

kde: C^r původní obsah uhlíku v palivu [%]

H^r původní obsah vodíku v palivu [%]

O^r původní obsah kyslíku v palivu [%]

S^r původní obsah síry v palivu [%]

W_t^r obsah veškeré vody v palivu [%]

$C^r = 67,9 \text{ \%}$ – výpočet dle vztahu (4-2)

$H^r = 3,9 \text{ \%}$ – výpočet dle vztahu (4-3)

$O^r = 5,5 \text{ \%}$ – výpočet dle vztahu (4-4)

$S^r = 0,37 \text{ \%}$ – výpočet dle vztahu (4-6)

$W_t^r = 8,3 \text{ \%}$ – výsledek z laboratoře

Po dosazení do vztahu (4-7) vypočteme výhřevnost paliva :

$$Q_i^r = 339 \cdot 67,9 + 1030 \cdot 3,9 - 109(5,5 - 0,37) - 24,5 \cdot 8,3$$

$$Q_i^r = 26272 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

4.5.2. Kontrola výhřevnosti paliva

Kontrolu výhřevnosti provedu porovnáním kalorimetricky stanovené výhřevnosti s výhřevností vypočtenou dle prvkového paliva dle vzorce podle Mendělejeva.

Pro paliva s obsahem popela v bezvodém stavu $A^d \leq 25\%$ se nemá rozdíl výhřevnosti převyšovat $\pm 630 \text{ kJ.kg}^{-1}$ dle literatury [1]

Porovnání výhřevnosti paliva (4-8) :

$$\Delta Q_i^r = Q_{ikal}^r - Q_i^r \quad [\text{kJ.kg}^{-1}] \quad (4-8)$$

kde: Q_{ikal}^r výhřevnost stanovená kalorimetricky [kJ.kg^{-1}]
 Q_i^r výhřevnost vypočtená [kJ.kg^{-1}]

$Q_{ikal}^r = 25560 \text{ kJ.kg}^{-1}$ výsledek z laboratoře

$Q_i^r = 26272 \text{ kJ.kg}^{-1}$ výhřevnost vypočtená dle vzorce (4-7)

Po dosazení do vztahu (8) vypočteme rozdíl výhřevnost paliva :

$$\Delta Q_i^r = 25560 - 26272$$

$$\Delta Q_i^r = -712 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

Rozdíl výhřevnosti **nevyhovuje**.

4.5.3. Úprava prvkového složení paliva

Pro vyhovující výsledek upravím prvkový rozbor paliva, snížím obsah uhlíku a zároveň zvýším obsah kyslíku v hořlavině, aby se výsledný součet prvků obsahující v hořlavině rovnal 100%.

Ukazatel	Označení	Výsledky rozboru při výkonu kotle 43,29 t.h ⁻¹ páry
Voda veškerá původní	W_t^r	8,3 %
Popel bezvodný	A^d	14,24 %
Spalné teplo v hořlavině	Q_s^{daf}	33,93 MJ/kg
Výhřevnost kalorimetrická	Q_i^r	25,56 MJ/kg
Síra v hořlavině	S^{daf}	0,472 %
Dusík v hořlavině	N^{daf}	1,25 %
Uhlík v hořlavině	C^{daf}	85,7 %
Vodík v hořlavině	H^{daf}	4,94 %
Kyslík v hořlavině	O_d^{daf}	7,6 %

Tab. 4.4 Upravený rozbor paliva

4.5.4. Výpočet výhřevnosti z prvkového složení po úpravě paliva

Pro opakovaný výpočet použiji vzorce (4-2, 4-4, 4-7, 4-8), ve vzorcích upravím obsah uhlíku z C^{daf} 86,3 na 85,7 % a obsah kyslíku z O_d^{daf} 7,0% na 7,6 %.

Pro přepočtení obsahu uhlíku z hořlaviny („daf“) na obsah uhlíku v původním stavu paliva použiji vzorec (4-2) :

$$C^r = (1 - W_t^r - A^r) C^{daf} \quad [\%] \quad (4-2)$$

kde : A^r obsah popele v původním stavu [-]
 W_t^r obsah veškeré vody v palivu [-]
 C^{daf} obsah uhlíku v sušině [-]

$A^r = 0,13$ – výpočet dle vztahu (4-1)

$W_t^r = 0,83$ – výsledek z laboratoře

$C^{daf} = 0,857$ – upravený obsah uhlíku v sušině

Po dosazení do vztahu (4-2) vypočteme obsah uhlíku v původním stavu („r^c“) :

$$C^r = (1 - 0,083 - 0,13) \cdot 0,857$$

$$C^r = 0,6747 = 67,47 \%$$

Pro přepočtení obsahu kyslíku z hořlaviny („daf“) na obsah kyslíku v původním stavu paliva použijí vzorec (4-4) :

$$O^r = (1 - W_t^r - A^r) \cdot O^{daf} \quad [\%] \quad (4-4)$$

kde : A^r obsah popele v původním stavu [-]
 W_t^r obsah veškeré vody v palivu [-]
 O^{daf} obsah kyslíku v sušině [-]

$A^r = 0,13$ – výpočet dle vztahu (4-1)

$W_t^r = 0,083$ – výsledek z laboratoře

$O^{daf} = 0,076$ – upravená obsah kyslíku v sušině

Po dosazení do vztahu (4-4) vypočteme obsah kyslíku v původním stavu („r^c“) :

$$O^r = (1 - 0,083 - 0,13) \cdot 0,076$$

$$O^r = 0,0598 = 5,98 \%$$

Pro výpočet výhřevnosti paliva použijí Mendělejevův vzorec (4-7) :

$$Q_i^r = 339 \cdot C^r + 1030 \cdot H^r - 109(O^r - S^r) - 24,5 \cdot W_t^r \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4-7)$$

kde : C^r původní obsah uhlíku v palivu [%]
 H^r původní obsah vodíku v palivu [%]
 O^r původní obsah kyslíku v palivu [%]
 S^r původní obsah síry v palivu [%]
 W_t^r obsah veškeré vody v palivu [%]

$$\begin{aligned}C^r &= 67,47 \% - \text{výpočet dle vztahu (4-2)} \\H^r &= 3,9 \% - \text{výpočet dle vztahu (4-3)} \\O^r &= 5,98 \% - \text{výpočet dle vztahu (4-4)} \\S^r &= 0,37 \% - \text{výpočet dle vztahu (4-6)} \\W_t^r &= 8,3 \% - \text{obsah vody v původním stavu}\end{aligned}$$

Po dosazení do vztahu (4-7) vypočteme výhřevnost paliva :

$$\begin{aligned}Q_i^r &= 339 \cdot 67,47 + 1030 \cdot 3,9 - 109(5,98 - 0,37) - 24,5 \cdot 8,3 \\Q_i^r &= 26074 \text{ kJ.kg}^{-1}\end{aligned}$$

4.5.5. Kontrola výhřevnosti paliva po úpravě paliva

Porovnání výhřevnosti paliva (4-8) :

$$\Delta Q_i^r = Q_{ikal}^r - Q_i^r \quad [\text{kJ.kg}^{-1}] \quad (4-8)$$

kde : Q_{ikal}^r výhřevnost stanovena kalorimetricky [kJ.kg⁻¹]
 Q_i^r výhřevnost vypočtená [kJ.kg⁻¹]

$$\begin{aligned}Q_{ikal}^r &= 25560 \text{ kJ.kg}^{-1} \text{ výsledek z laboratoře} \\Q_i^r &= 26074 \text{ kJ.kg}^{-1} \text{ výhřevnost vypočtená dle vzorce (4-7)}\end{aligned}$$

Po dosazení do vztahu (4-8) vypočteme rozdíl výhřevnost paliva :

$$\begin{aligned}\Delta Q_i^r &= 25560 - 26074 \\ \Delta Q_i^r &= -514 \text{ kJ.kg}^{-1}\end{aligned}$$

Rozdíl výhřevnosti **vyhovuje**.

4.5.6. Kontrola maximálního poměrného objemu tříatomových plynů

Dle literatury [2] provádím kontrolu maximálního poměrného objemu tříatomových plynů, který musí být pro černé uhlí v rozsahu 18,4-19 %

Pro výpočet poměrného objemu tříatomových plynů použiji vzorec (4-9) :

$$\omega_{R02\max} = \frac{21}{1 + \beta} \quad [\%] \quad (4-9)$$

Pomocný výpočet β použiji vzorec (4-10) :

$$\beta = \frac{2,37(H^r - 0,125O^r)}{C^r + 0,3755S^r} \quad [-] \quad (4-10)$$

kde : H^r obsah vodíku v původním stavu [%]

O^r obsah kyslíku v původním stavu [%]

C^r obsah uhlíku v původním stavu [%]

S^r obsah síry v původním stavu [%]

$C^r = 67,47$ – výpočet dle vztahu (4-2)

$H^r = 3,9$ – výpočet dle vztahu (4-3)

$O^r = 5,9$ – výpočet dle vztahu (4-4)

$S^r = 0,37$ – výpočet dle vztahu (4-6)

Po dosazení do vztahu (4-10) vypočteme β :

$$\beta = \frac{2,37(3,9 - 0,125 \cdot 5,9)}{67,47 + 0,3755 \cdot 0,37}$$

$$\beta = 0,111$$

Po dosazení do vztahu (4-9) vypočtu poměr objemu tříatomových plynů :

$$\omega_{R02\max} = \frac{21}{1 + 0,111}$$

$$\omega_{R02\max} = 18,90$$

Poměr objemu tříatomových plynů **vyhovuje** dle literatury [2].

4.5.7.Složení výpočtového paliva

Ukazatel	Označení	Složení výpočtového paliva
Voda veškerá původní	W_t^r	8,3 %
Popel bezvodný	A^d	14,24 %
Spalné teplo v hořlavině	Q_s^{daf}	33,93 MJ/kg
Výhřevnost kalorimetrická	Q_i^r	25,56 MJ/kg
Síra v hořlavině	S^{daf}	0,47 %
Dusík v hořlavině	N^{daf}	1,25 %
Uhlík v hořlavině	C^{daf}	85,7 %
Vodík v hořlavině	H^{daf}	4,94 %
Kyslík v hořlavině	O_d^{daf}	7,6 %
Síra v původním stavu	S^r	0,37 %
Dusík v původním stavu	N^r	0,98 %
Uhlík v původním stavu	C^r	67,47 %
Vodík v původním stavu	H^r	3,9 %
Kyslík v původním stavu	O^r	5,98 %

Tab. 4.5 Složení výpočtového paliva

4.5.8.Kontrola složení výpočtového paliva v surovém stavu „ r“

Součet složení paliva v původním stavu „ r „ se musí rovnat 100%

Pro kontrolní výpočet ložení výpočtového paliva v původním stavu „ r „ použijí vzorec (4-11) :

$$100 = C^r + H^r + S^r + N^r + O^r + A^r + W_t^r \quad [\%] \quad (4-11)$$

kde : C^r obsah uhlíku v původním stavu [%]

H^r obsah vodíku v původním stavu [%]

S^r obsah síry v původním stavu [%]

N^r obsah dusíku v původním stavu [%]

O^r obsah kyslíku v původním stavu [%]

A^r obsah popele v původním stavu [%]

W_t^r obsah veškeré vody v původním stavu [%]

$C^r = 67,47$ – výpočet dle vztahu (4-2)

$H^r = 3,9$ – výpočet dle vztahu (4-3)

$S^r = 0,37$ – výpočet dle vztahu (4-6)

$N^r = 0,98$ – výpočet dle vztahu (4-5)

$O^r = 5,98$ – výpočet dle vztahu (4-4)

$A^r = 13$ – výpočet dle vztahu (4-1)

$W_t^r = 8,3$ – výsledek z laboratoře

Po dosazení do vztahu (4-11) zkontroluji složení paliva v surovém stavu „ r “ :

$$100 = 67,47 + 3,9 + 0,37 + 0,98 + 5,98 + 13 + 8,3$$

$$100 = 100$$

Složení výpočtového paliva **vyhovuje**

4.6. Stechiometrické výpočty

Výpočet potřebného množství vzduch pro dokonalé spalování.

Pro výpočet množství potřebného kyslíku pro spálení 1 kg paliva použijí vzorec (4-12)

$$V_{O_2\min} = 22,39 \cdot \left(\frac{C^r}{12,01} + \frac{H^r}{2 \cdot 2,016} + \frac{S^r}{32,06} - \frac{O^r}{32,00} \right) \quad [m_N^3 \cdot kg^{-1}] \quad (4-12)$$

kde : H^r obsah vodíku v původním stavu [-]
 O^r obsah kyslíku v původním stavu [-]
 C^r obsah uhlíku v původním stavu [-]
 S^r obsah síry v původním stavu [-]

$C^r = 0,674$ – výpočet dle vztahu (4-2)
 $H^r = 0,039$ – výpočet dle vztahu (4-3)
 $O^r = 0,059$ – výpočet dle vztahu (4-4)
 $S^r = 0,0037$ – výpočet dle vztahu (4-6)

Po dosazení do vztahu (4-12) vypočtu minimální množství kyslíku pro spálení 1 kg paliva :

$$V_{O_2\min} = 22,39 \cdot \left(\frac{0,674}{12,01} + \frac{0,039}{2 \cdot 2,016} + \frac{0,0037}{32,06} - \frac{0,059}{32,00} \right)$$

$$V_{O_2\min} = 1,434 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Pro výpočet minimálního množství suchého vzduchu pro spálení 1 kg paliva použiji vzorec (4-13)

$$V_{VS\min} = \frac{V_{O_2\min}}{0,21} \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4-13)$$

kde: $V_{O_2\min}$ min. množství kyslíku pro spalování 1 kg paliva [-]
 $V_{O_2\min} = 1,434 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ – výpočet dle vztahu (4-12)

Po dosazení do vztahu (4-13) vypočtu minimální množství suchého vzduchu pro spálení 1 kg paliva :

$$V_{VS\min} = \frac{1,434}{0,21}$$

$$V_{VS\min} = 6,828 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Pro výpočet vlhkého vzduchu pro spalování musím stanovit z relativní vlhkosti vzduch, kterou můžu změřit, měrnou vlhkost

Pro výpočet měrné vlhkosti vzduchu použiji vzorec (4-14) :

$$\nu = 1 + \left(\frac{\phi}{100} \right) \cdot \frac{p_s}{p_c - \left(\frac{\phi}{100} \right) \cdot p_s} \quad [-] \quad (4-14)$$

kde : ϕ relativní vlhkost vzduchu [-]
 p_s tlak vodní páry [MPa]
 p_c tlak vzduchu [MPa]

$\phi = 70 \%$
 $p_s = 0,00233$ MPa
 $p_c = 0,101325$ MPa

Po dosazení do vztahu (4-14) měrnou vlhkost vzduchu :

$$\nu = 1 + \left(\frac{70}{100} \right) \cdot \frac{0,00233}{0,101325 - \left(\frac{70}{100} \right) \cdot 0,00233}$$

$$\nu = 1,016$$

Pro výpočet vlhkého vzduchu použijí vzorec (4-15) :

$$V_{VV\min} = V_{VS\min} \cdot \nu \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4-15)$$

kde: $V_{VS\min}$ objem vzduchu minimálního suchého $[\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}]$
 ν měrná vlhkost vzduchu [-]

$V_{VS\min} = 6,828 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ – výpočet dle vztahu (4-13)
 $\nu = 1,016$ – výpočet dle vztahu (4-14)

Po dosazení do vztahu (4-15) výpočtu množství vlhkého vzduchu :

$$V_{VV\min} = 6,828 \cdot 1,016$$

$$V_{VV\min} = 6,937 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Výpočet vzniklých spalín po spalování.

Pro výpočet objemu vzniklého CO₂ ve spalínách použijí vzorec (4-16) :

$$V_{CO_2} = C^r \cdot \frac{22,27}{12,01} + 0,0003 \cdot V_{VS\min} \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4-16)$$

kde : C^r obsah uhlíku v původním stavu [-]
 $V_{VS\min}$ objem vzduchu minimálního suchého $[\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}]$

$C^r = 0,674$ – výpočet dle vztahu (4-2)
 $V_{VS\min} = 6,828 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ – výpočet dle vztahu (4-13)

Po dosazení do vztahu (4-16) vypočtu množství vzniklého CO₂ ve spalinách :

$$V_{CO_2} = 0,674 \cdot \frac{22,27}{12,01} + 0,0003 \cdot 6,828$$

$$V_{CO_2} = 1,252 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Pro výpočet objemu vzniklého SO₂ ve spalinách použiji vzorec (4-17) :

$$V_{SO_2} = S^r \cdot \frac{21,89}{32,06} \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4-17)$$

kde : S^r obsah síry v původním stavu [-]

$$S^r = 0,0037 \text{ – výpočet dle vztahu (4-6)}$$

Po dosazení do vztahu (4-17) vypočtu množství vzniklého SO₂ ve spalinách :

$$V_{SO_2} = 0,0037 \cdot \frac{21,89}{32,06}$$

$$V_{SO_2} = 0,0025 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Pro výpočet objemu vzniklého A_r ve spalinách použiji vzorec (4-18) :

$$V_{Ar} = 0,0093 \cdot V_{VS\min} \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4-18)$$

kde: $V_{VS\min}$ objem vzduchu minimálního suchého [m_N³·kg⁻¹]

$$V_{VS\min} = 6,828 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ – výpočet dle vztahu (4-13)}$$

Po dosazení do vztahu (4-18) vypočtu množství vzniklého A_r ve spalinách :

$$V_{Ar} = 0,0093 \cdot 6,828$$

$$V_{Ar} = 0,064 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Pro výpočet objemu vzniklého N₂ ve spalinách použiji vzorec (4-19) :

$$V_{N_2} = N^r \cdot \frac{22,24}{28,013} + 0,7805 \cdot V_{VS\min} \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4-19)$$

kde : N^r obsah dusíku v původním stavu [-]

$V_{VS\min}$ objem vzduchu minimálního suchého [m_N³·kg⁻¹]

$$N^r = 0,98 \text{ – výpočet dle vztahu (4-5)}$$

$$V_{VS\min} = 6,828 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ – výpočet dle vztahu (4-13)}$$

Po dosazení do vztahu (4-19) vypočtu množství vzniklého N₂ ve spalinách :

$$V_{N_2} = 0,98 \cdot \frac{22,4}{28,013} + 0,7805 \cdot 6,828$$

$$V_{N_2} = 5,337 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Pro výpočet objemu suchých spalin použiji vzorec (4-20) :

$$V_{SS \min} = V_{N_2} + V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{Ar} \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4-20)$$

kde :

V_{N_2}	objem dusíku ve spalinách	$[\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}]$
V_{CO_2}	objem CO ₂ ve spalinách	$[\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}]$
V_{SO_2}	objem SO ₂ ve spalinách	$[\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}]$
V_{Ar}	objem Ar ve spalinách	$[\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}]$

$$V_{N_2} = 5,337 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ – výpočet dle vztahu (4-19)}$$

$$V_{Ar} = 0,064 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ – výpočet dle vztahu (4-18)}$$

$$V_{SO_2} = 0,0025 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ – výpočet dle vztahu (4-17)}$$

$$V_{CO_2} = 1,252 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ – výpočet dle vztahu (4-16)}$$

Po dosazení do vztahu (4-20) vypočtu množství vzniklých suchých spalin :

$$V_{SS \min} = 5,337 + 1,252 + 0,0025 + 0,064$$

$$V_{SS \min} = 6,655 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Pro výpočet objemu vodní pára ve spalinách použiji vzorec (4-21) :

$$V_{H_2O} = \left(\frac{44,81}{4,032} \cdot H^r + \frac{22,41}{18,015} \cdot W^r \right) + (\nu - 1) \cdot V_{VS \min} \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4-21)$$

kde:

H^r	obsah vodíku v původním stavu	[-]
W^r	obsah vody v původním stavu	[-]
ν	měrná vlhkost vzduchu	[-]
$V_{VS \min}$	objem vzduchu minimálního suchého	$[\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}]$

$$H^r = 0,038 \text{ – výpočet dle vztahu (4-3)}$$

$$W^r = 0,083 \text{ – obsah vody v původní stavu paliva}$$

$$\nu = 1,016 \text{ – vypočtena dle vztahu (4-14)}$$

$$V_{VS \min} = 6,828 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ – výpočet dle vztahu (4-13)}$$

Po dosazení do vztahu (4-21) vypočtu objem vodní páry ve spalinách :

$$V_{H_2O} = \left(\frac{44,81}{4,032} \cdot 0,038 + \frac{22,41}{18,015} \cdot 0,083 \right) + (1,016 - 1) \cdot 6,828$$

$$V_{H_2O} = 0,646 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Pro výpočet objemu vlhkých spalin použiji vzorec (4-22) :

$$V_{SV \min} = V_{SS \min} + V_{H_2O} \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4-22)$$

kde: $V_{SS \min}$ objem suchých spalin minimálních $[\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}]$
 V_{H_2O} objem vodní páry ve spalinách $[\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}]$

$$V_{H_2O} = 0,646 \text{ – výpočet dle vztahu (4-21)}$$

$$V_{SS \min} = 6,655 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ – výpočet dle vztahu (4-20)}$$

Po dosazení do vztahu (22) vypočtu množství vlhkých spalin :

$$V_{SV \min} = 6,655 + 0,646$$

$$V_{SV \min} = 7,301 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

4.7. Výpočet přebytku vzduchu při spalování

Při skutečném spalování paliva se musí palivo spalovat s větším množstvím spalovacího vzduchu. Skutečný objem přivedeného vzduchu se vyjadřuje součinitelem přebytku vzduchu α , ale ani při větším množství vzduchu nelze zajistit dokonalé vyhoření paliva. Výpočet součinitele přebytku vzduchu provedu dle normy ČSN 07 0302. Výpočet přebytku vzduchu provedu v místě měření koncentrace O_2 a CO tj. na výstupu spalin z kotle (za EKO I).

Pro výpočet součinitele přebytku vzduchu použiji vzorec (4-23) :

$$\alpha = \frac{R_4 \cdot \omega_{O_2} + R_5 \cdot \omega_{CO} + R_6}{R_1 \cdot \omega_{O_2} + R_2 \cdot \omega_{CO} + R_3} \quad [-] \quad (4-23)$$

kde : $R_1 - R_6$ koeficienty $[-]$
 ω_{O_2} objem kyslíku ve spalinách $[-]$
 ω_{CO} objem CO ve spalinách $[-]$

$R_1 - R_6 =$ výpočet koeficientů dle vztahů (4-24 – 4-30)

$\omega_{O_2} = 0,05$ dle skutečného měření VŠB na kotli

$\omega_{CO} = \frac{148}{1000000}$ dle skutečného měření VŠB na kotli

Po dosazení do vztahu (4-23) vypočtu součinitel přebytku vzduchu na výstupu z kotle:

$$\alpha = \frac{(-0,213) \cdot 0,05 + (-0,757) \cdot 1,48 \cdot 10^{-4} + 1,706}{(-8,59) \cdot 0,05 + 3,380 \cdot 1,48 \cdot 10^{-4} + 1,799}$$

$$\alpha = 1,237$$

Pro výpočet koeficientů $R_1 - R_6$ použijí vzorce (4-24 – 4-30) :

$$R_1 = -V_{VS\min} \cdot V_{SCO} \quad (4-24)$$

$$R_2 = V_{VS\min} \cdot (0,5 \cdot V_{O_2C} - 0,2095 \cdot V_2) \quad (4-25)$$

$$R_3 = 0,2095 \cdot V_{VS\min} \cdot V_{SCO} \quad (4-26)$$

$$R_4 = V_{SCO} \cdot (V_1 + b \cdot V_3) \quad (4-27)$$

$$R_5 = V_2 \cdot (b \cdot V_{O_2C} - 0,2095 \cdot V_{VS\min}) - 0,5 \cdot V_{O_2C} \cdot (V_1 + b \cdot V_3) \quad (4-28)$$

$$R_6 = V_{SCO} \cdot (0,2095 \cdot V_{VS\min} - b \cdot V_{O_2C}) \quad (4-29)$$

$$R_7 = V_{VS\min} \cdot (0,2095 \cdot (V_1 + b \cdot V_3) + 0,2095 \cdot V_{VS\min} - b \cdot V_{O_2C}) \quad (4-30)$$

kde :	$V_{VS\min}$	objem vzduchu minimálního suchého	$[\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}]$
	V_{SCO}	objem CO při nedokonalém spalování	$[\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}]$
	V_{O_2C}	objem kyslíku při nedokonalém spalování	$[\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}]$
	$V_1 - V_3$	pomocné výpočty objemů vzduchu a spalin	$[\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}]$
	b	podíl nevyhořelého uhlíku, který odchází s kotle	[-]

$V_{VS\min} = 6,828 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ – výpočet dle vztahu (4-13)

$V_{SCO} = 1,258 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ – výpočet dle vztahu (4-31)

$V_{O_2C} = 1,257 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ – výpočet dle vztahu (4-32)

$V_1 = -0,17 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ – výpočet dle vztahu (4-34)

$V_2 = 0,637 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ – výpočet dle vztahu (4-35)

$V_3 = 0,008 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ – výpočet dle vztahu (4-36)

b = 0,0591 výpočet dle vztahu (4-37)

Po dosazení do vztahu (4-24) vypočtu koeficient R_1 :

$$\begin{aligned} R_1 &= -6,828 \cdot 1,257 & (4-24) \\ R_1 &= -8,59 \end{aligned}$$

Po dosazení do vztahu (4-25) vypočtu koeficient R_2 :

$$\begin{aligned} R_2 &= 6,828 \cdot (0,5 \cdot 1,257 - 0,2095 \cdot 0,637) & (4-25) \\ R_2 &= 3,380 \end{aligned}$$

Po dosazení do vztahu (4-26) vypočtu koeficient R_3 :

$$\begin{aligned} R_3 &= 0,2095 \cdot 6,828 \cdot 1,258 & (4-26) \\ R_3 &= 1,799 \end{aligned}$$

Po dosazení do vztahu (4-27) vypočtu koeficient R_4 :

$$\begin{aligned} R_4 &= 1,258 \cdot (-0,17 + 0,0591 \cdot 0,008) & (4-27) \\ R_4 &= -0,213 \end{aligned}$$

Po dosazení do vztahu (4-28) vypočtu koeficient R_5 :

$$\begin{aligned} R_5 &= 0,637 \cdot (0,0591 \cdot 1,257 - 0,2095 \cdot 6,828) - 0,5 \cdot 1,257 \cdot (-0,17 + 0,0591 \cdot 0,008) & (4-28) \\ R_5 &= -0,757 \end{aligned}$$

Po dosazení do vztahu (4-29) vypočtu koeficient R_6 :

$$\begin{aligned} R_6 &= 1,258 \cdot (0,2095 \cdot 6,828 - 0,0591 \cdot 1,257) & (4-29) \\ R_6 &= 1,706 \end{aligned}$$

Po dosazení do vztahu (4-30) vypočtu koeficient R_7 :

$$\begin{aligned} R_7 &= 6,828 \cdot (0,2095 \cdot (-0,17 + 0,0591 \cdot 0,008) + 0,2095 \cdot 6,828 - 0,0591 \cdot 1,257) \\ R_7 &= 9,017 \end{aligned}$$

Pro výpočet objemů V_{SCO} při nedokonalé spalování použijí vzorce (4-31) :

$$V_{SCO} = C^r \cdot \frac{22,41}{12,01} \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4-31)$$

kde : C^r obsah uhlíku v původním stavu [-]

$$C^r = 0,674 \text{ – výpočet dle vztahu (4-2)}$$

Po dosazení do vztahu (4-31) vypočtu množství vzniklého CO ve spalinách při nedokonalém spalování :

$$V_{SCO} = 0,674 \frac{22,41}{12,01}$$

$$V_{SCO} = 1,258 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Pro výpočet objemů V_{o_2C} při nedokonalé spalování použijí vzorce (4-32) :

$$V_{o_2C} = C^r \cdot \frac{22,39}{12,01} \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4-32)$$

kde : C^r obsah uhlíku v původním stavu [-]

$$C^r = 0,674 \text{ – výpočet dle vztahu (4-2)}$$

Po dosazení do vztahu (4-32) vypočtu množství vzniklého O₂ ve spalinách při nedokonalém spalování :

$$V_{o_2C} = 0,674 \frac{22,39}{12,01}$$

$$V_{o_2C} = 1,257 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Pro výpočet objemů V_{scO_2} při nedokonalé spalování použijí vzorce (4-33) :

$$V_{scO_2} = C^r \cdot \frac{22,26}{12,01} \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4-33)$$

kde : C^r obsah uhlíku v původním stavu [-]

$$C^r = 0,674 \text{ – výpočet dle vztahu (4-2)}$$

Po dosazení do vztahu (4-33) vypočtu množství vzniklého O₂ ve spalinách při nedokonalém spalování :

$$V_{scO_2} = 0,674 \frac{22,26}{12,01}$$

$$V_{scO_2} = 1,249 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Pro výpočet objemů V_1 použijí vzorce (4-34) :

$$V_1 = V_{SS\min} - V_{VS\min} \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4-34)$$

kde : $V_{VS\min}$ objem vzduchu minimálního suchého [$\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$]
 $V_{SS\min}$ objem spalin minimálních suchých [$\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$]

$$V_{VS\min} = 6,828 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1} - \text{výpočet dle vztahu (4-13)}$$

$$V_{SS\min} = 6,655 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1} - \text{výpočet dle vztahu (4-20)}$$

Po dosazení do vztahu (4-34) vypočtu V_1 :

$$V_1 = 6,655 - 6,828$$

$$V_1 = -0,17 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Pro výpočet objemů V_2 použijí vzorce (4-35) :

$$V_2 = V_{SCO} + 0,5 \cdot V_{O_2C} - V_{SCO_2} \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4-35)$$

kde : V_{SCO} objem spalin pro nedokonalé spalování [$\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$]
 V_{SCO_2} objem spalin pro dokonalé spalování [$\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$]
 V_{O_2C} objem kyslíku pro nedokonalé spalování [$\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$]

$$V_{SCO} = 1,258 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1} - \text{výpočet dle vztahu (4-31)}$$

$$V_{SCO_2} = 1,249 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1} - \text{výpočet dle vztahu (4-33)}$$

$$V_{O_2C} = 1,257 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1} - \text{výpočet dle vztahu (4-32)}$$

Po dosazení do vztahu (4-35) vypočtu V_2 :

$$V_2 = 1,258 + 0,5 \cdot 1,257 - 1,249$$

$$V_2 = 0,637 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Pro výpočet objemů V_3 použijí vzorce (4-36) :

$$V_3 = V_{O_2C} - V_{SCO_2} \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4-36)$$

kde : V_{SCO_2} objem spalin minimálních suchých [$\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$]
 V_{O_2C} objem spalin minimálních suchých [$\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$]

$$V_{SCO_2} = 1,249 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1} - \text{výpočet dle vztahu (4-33)}$$

$$V_{O_2C} = 1,257 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1} - \text{výpočet dle vztahu (4-32)}$$

Po dosazení do vztahu (4-36) vypočtu V_3 :

$$V_3 = 1,257 - 1,249$$

$$V_3 = 0,008 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Pro výpočet podílu neshořelého uhlíku b použiji vzorce (4-37) :

$$b = \frac{A^r}{C^r} \left(\frac{C_s \cdot X_s}{1 - C_s} + \frac{C_{CR} \cdot X_{CR}}{1 - C_{CR}} \right) \quad [-] \quad (4-37)$$

kde :	A^r obsah popele v původním stavu	[-]
	C^r původní obsah uhlíku v palivu	[-]
	C_s nedopal ve škváře	[-]
	C_{CR} nedopal v popílku	[-]
	X_s množství zachycení ve škváře	[-]
	X_{CR} množství zachycení v popílku	[-]

$A^r = 13 \%$ – výpočet dle vztahu (4-1)

$C^r = 67,4 \%$ – výpočet dle vztahu (4-2)

$C_s = 0,2373$ – výsledek z laboratoře

$C_{CR} = 0,1791$ – výsledek z laboratoře

$X_s = 0,95$ – výsledek z laboratoře

$X_{CR} = 0,05$ – výsledek z laboratoře

Po dosazení do vztahu (4-37) vypočtu podíl neshořelého uhlíku b :

$$b = \frac{0,13}{0,674} \left(\frac{0,2373 \cdot 0,95}{1 - 0,2373} + \frac{0,1791 \cdot 0,05}{1 - 0,1791} \right)$$

$$b = 0,0591$$

Pro výpočet podílu uhlíku α_1 , který shoří nedokonale na plynnou složku CO použiji vzorec (4-38) :

$$\alpha_1 = \frac{R_7 \cdot \omega_{CO}}{R_1 \cdot \omega_{O_2} + R_2 \cdot \omega_{CO} + R_3} \quad [-] \quad (4-38)$$

kde :	$R_1 - R_7$ koeficienty	[-]
	ω_{O_2} objem kyslíku ve spalinách	[-]
	ω_{CO} objem CO ve spalinách	[-]

$R_1 - R_7 =$ výpočet koeficientů dle vztahů (4-24 – 4-30)

$\omega_{O_2} = 0,05$ dle skutečného měření VŠB na kotli

$\omega_{CO} = \frac{148}{1000000}$ dle skutečného měření VŠB na kotli

Po dosazení do vztahu (4-38) vypočtu podíl neshořelého uhlíku b :

$$\alpha_1 = \frac{9,017.1,48.10^{-4}}{(-8,59).0,05 + 3,380.1,48.10^{-4} + 1,799}$$

$$\alpha_1 = 9,741.10^{-4}$$

4.8.Určení přebytků vzduchu vlivem netěsnosti kotle

Spaliny při průchodu kotlem přisávají vlivem netěsnosti spalínového traktu okolní vzduch. Dle literatury [3] jsou pro roštová ohniště součinitele přebytku vzduchu v jednotlivých částech kotle následující :

- spalovací komora	$\Delta\alpha_{kom} = 0$
- oblast šotů	$\Delta\alpha_{soty} = 0,01$
- oblast přehříváku páry PPII	$\Delta\alpha_{PPII} = 0,01$
- oblast přehříváku páry PP I	$\Delta\alpha_{PPI} = 0,01$
- oblast ohříváku vody EKO II	$\Delta\alpha_{EKOII} = 0,01$
- oblast ohříváku vody EKO I	$\Delta\alpha_{EKOI} = 0,03$

Vypočítaný přebytek vzduchu dle vzorce (4-23) při výstupu z kotle (za EKO I):

$$\alpha = 1,237$$

Přebytek vzduchu v oblasti ohříváku vody EKO 1 vypočtu dle vzorce (4-39) :

$$\alpha_{EKOI} = \alpha - \Delta\alpha_{EKOI} \quad [-] \quad (4-39)$$

Po dosazení do vztahu (4-39) vypočtu součinitel přebytku vzduchu v oblasti EKO I :

$$\alpha_{EKOI} = 1,237 - 0,03$$

$$\alpha_{EKOI} = 1,207$$

Přebytek vzduchu v oblasti ohříváku vody EKO II vypočtu dle vzorce (4-40) :

$$\alpha_{EKOII} = \alpha_{EKOII} - \Delta\alpha_{EKOII} \quad [-] \quad (4-40)$$

Po dosazení do vztahu (4-40) vypočtu součinitel přebytku vzduchu v oblasti EKO II :

$$\alpha_{EKOII} = 1,207 - 0,01$$

$$\alpha_{EKOII} = 1,197$$

Přebytek vzduchu v oblasti přehříváku PP I vypočtu dle vzorce (4-41) :

$$\alpha_{PPI} = \alpha_{EKOII} - \Delta\alpha_{PPI} \quad [-] \quad (4-41)$$

Po dosazení do vztahu (4-41) vypočtu součinitel přebytku vzduchu v oblasti PP I :

$$\alpha_{PPI} = 1,197 - 0,01$$

$$\alpha_{PPI} = 1,187$$

Přebytek vzduchu v oblasti přehříváku PP II vypočtu dle vzorce (4-42) :

$$\alpha_{PPII} = \alpha_{PPI} - \Delta\alpha_{PPI} \quad [-] \quad (4-42)$$

Po dosazení do vztahu (4-42) vypočtu součinitel přebytku vzduchu v oblasti PP II :

$$\alpha_{PPII} = 1,187 - 0,01$$

$$\alpha_{PPII} = 1,177$$

Přebytek vzduchu v oblasti šotů vypočtu dle vzorce (4-43) :

$$\alpha_{šoty} = \alpha_{PPI} - \Delta\alpha_{šoty} \quad [-] \quad (4-43)$$

Po dosazení do vztahu (4-43) vypočtu součinitel přebytku vzduchu v oblasti šotů :

$$\alpha_{šoty} = 1,177 - 0,01$$

$$\alpha_{šoty} = 1,167$$

Spalování paliva ve spalovací komoře probíhá s přebytkem vzduchu

$$\alpha_o = \alpha_s = 1,167$$

4.9. Spalování s přebytkem vzduchu

Pro výpočet skutečného spalovacího vzduchu použijí vzorec (4-44) :

$$V_{VVskut} = V_{VV\min} \cdot \alpha_o \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4-44)$$

kde : $V_{VV\min}$ objem vlhkého vzduchu minimálního $[\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}]$
 α_o přebytek vzduchu při spalování $[-]$

$$V_{VV\min} = 6,937 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1} - \text{výpočet dle vztahu (4-15)}$$

$$\alpha_o = 1,167 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1} - \text{výpočet dle vztahu (4-43)}$$

Po dosazení do vztahu (4-44) vypočtu množství skutečného vlhkého vzduchu :

$$V_{VVskut} = 6,937 \cdot 1,167$$

$$V_{VVskut} = 8,09 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Pro výpočet skutečných vlhkých spalin použijí vzorec (4-45) :

$$V_{SVskut} = V_{SV\min} + (\alpha_o - 1) V_{VV\min} \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4-45)$$

kde : $V_{SV\min}$ objem vlhkých minimálních spalin $[\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}]$
 $V_{VV\min}$ objem vlhkého vzduchu minimálního $[\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}]$
 α_o přebytek vzduchu při spalování $[-]$

$$V_{SV\min} = 7,301 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1} - \text{výpočet dle vztahu (4-22)}$$

$$V_{VV\min} = 6,937 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1} - \text{výpočet dle vztahu (4-15)}$$

$$\alpha_o = 1,167 - \text{výpočet dle vztahu (4-43)}$$

Po dosazení do vztahu (4-45) vypočtu množství skutečných vlhkých spalin :

$$V_{SVskut} = 7,301 + (1,167 - 1) \cdot 6,937$$

$$V_{SVskut} = 8,459 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

5. Tepelná bilance kotle K1

Pro sestavení tepelné bilance kotle použijí provozní naměřené hodnoty.

Pro výpočet výrobního tepla páry použijí vzorec (5-1) :

$$Q_{výr} = M_{pp} \cdot (i_{pp} - i_{NV}) + M_O \cdot (i' - i_{NV}) \quad [\text{kW}] \quad (5-1)$$

kde :	M_{pp} množství přehřáté páry	[kg.s ⁻¹]
	M_O množství odluhu z bubnu kotle	[kg.s ⁻¹]
	i_{pp} entalpie přehřáté páry	[kJ.kg ⁻¹]
	i_{NV} entalpie napájecí vody	[kJ.kg ⁻¹]
	i' entalpie vody na mezi sytosti	[kJ.kg ⁻¹]

$$M_{pp} = 12,5 \text{ kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} - \text{výpočet dle vztahu (5-2)}$$

$$M_O = 0,25 \text{ kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} - \text{výpočet dle vztahu (5-3)}$$

$$i_{pp} = 3161 \text{ kJ.kg}^{-1} - \text{určeno dle tabulek pro jmenovité parametry páry}$$

$$i_{NV} = 442 \text{ kJ.kg}^{-1} - \text{rčeno dle tabulek pro jmenovité parametry napájecí vody}$$

$$i' = 961 \text{ kJ.kg}^{-1} - \text{určeno dle tabulek pro parametry vody na mezi sytosti}$$

Po dosazení do vztahu (5-1) vypočtu výrobní teplo páry :

$$Q_{výr} = 12,5 \cdot (3161 - 442) + 0,25 \cdot (961 - 442)$$

$$Q_{výr} = 34,117 \text{ MW}$$

Pro výpočet množství přehřáté páry použijí vzorec (5-2) :

$$M_{pp} = M_{SP} + M_{VS} \quad [\text{kg.s}^{-1}] \quad (5-2)$$

kde :	M_{SP} množství syté páry	[kg.s ⁻¹]
	M_{VS} množství vstřiku kondenzátu	[kg.s ⁻¹]

$$M_{SP} = 12,5 \text{ kJ.s}^{-1} - \text{určeno pro jmenovitý výkon kotle}$$

$$M_{VS} = 0 \text{ kJ.s}^{-1} - \text{nepočítám se vstřikem kondenzátu při jmenovitém výkonu kotle (odchylka teploty páry je v toleranci } \pm 15^{\circ}\text{C}$$

Po dosazení do vztahu (5-2) vypočtu množství přehřáté páry :

$$M_{pp} = 12,5 + 0$$

$$M_{pp} = 12,5 \text{ kg.s}^{-1}$$

Pro výpočet množství odluhu z bubnu použijí vzorec (5-3) :

$$M_o = M_{EKO} - M_{SP} \quad [\text{kg.s}^{-1}] \quad (5-3)$$

kde : M_{SP} množství syté páry [kg.s⁻¹ -]

M_{EKO} množství vody vstupující do EKO I [kg.s⁻¹ -]

$M_{SP} = 12,5 \text{ kJ.s}^{-1}$ – určeno pro jmenovitý výkon kotle

$M_{EKO} = 12,75 \text{ kJ.s}^{-1}$ – určeno dle měřících přístrojů kotle

Po dosazení do vztahu (5-3) vypočtu množství odluhu z bubnu :

$$M_o = 12,75 - 12,5$$

$$M_o = 0,25 \text{ kg.s}^{-1}$$

6. Výpočet účinnosti kotle K1

Výpočet účinnosti provedu nepřímou metodou dle normy ČSN 07 302 (Přejímací zkoušky parních kotlů z roku 1999).

Pro výpočet skutečného spalovacího vzduchu použijí vzorec (6-1) :

$$\eta = 1 - \xi_{CO} - \xi_C - \xi_k - \xi_f - \xi_{sv} - \xi_{ch} \quad [-] \quad (6-1)$$

kde : ξ_{CO} ztráta hořlavinou ve spalinách [-]

ξ_C ztráta hořlavinou v tuhých zbytcích [-]

ξ_k ztráta fyzickým teplem spalin (komínová) [-]

ξ_f ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků [-]

ξ_{sv} ztráta sdílením tepla do okolí [-]

ξ_{ch} ztráta chlazením [-]

ξ_{CO} – výpočet dle vztahu (6-2)

ξ_C – výpočet dle vztahu (6-3)

ξ_k – výpočet dle vztahu (6-4)

ξ_f – výpočet dle vztahu (6-5)

ξ_{sv} – výpočet dle vztahu (6-9)

ξ_{ch} – tuto ztrátu nepočítáme

Po dosazení do vztahu (6-1) vypočtu účinnost parního kotle nepřímou metodou :

$$\eta = 1 - 6,016 \cdot 10^{-4} - 0,051 - 0,078 - 3,760 \cdot 10^{-3} - 7,251 \cdot 10^{-3} - 0$$

$$\eta = 0,859 \Rightarrow 85,9\%$$

Pro výpočet ztrát hořlavinou ve spalinách použiji vzorec (6-2) :

$$\xi_{CO} = \frac{12640 \cdot \alpha_1 \cdot V_{SCO}}{Q_i^r} \quad [-] \quad (6-2)$$

kde : α_1 podíl uhlíku který shoří nedokonale na plynnou složku CO [-]
 V_{SCO} objem spalin pro nedokonalé spalování [m_N³·kg⁻¹]
 Q_i^r teplo přivedené do kotle 1 kg paliva [kJ.kg⁻¹]

$$\alpha_1 = 9,741 \cdot 10^{-4} - \text{výpočet dle vztahu (4-38)}$$

$$V_{SCO} = 1,249 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1} - \text{výpočet dle vztahu (4-34)}$$

$$Q_i^r = 25560 \text{ kJ.kg}^{-1} \text{ kalorimetrická výhřevnost}$$

Po dosazení do vztahu (6-2) vypočtu množství ztráty hořlavinou :

$$\xi_{CO} = \frac{12640 \cdot 9,741 \cdot 10^{-4} \cdot 1,249}{25560}$$

$$\xi_{CO} = 6,016 \cdot 10^{-4}$$

Pro výpočet ztrát hořlavinou v tuhých zbytcích použiji vzorec (6-3) :

$$\xi_C = \frac{b \cdot C^r \cdot 32600}{Q_i^r} \quad [-] \quad (6-3)$$

kde : b podíl neshořelého uhlíku [kg·kg⁻¹]
 C^r původní obsah uhlíku v palivu [-]
 Q_i^r teplo přivedené do kotle 1 kg paliva [kJ.kg⁻¹]
 $b = 0,0591 \text{ kg.kg}^{-1}$ – výpočet dle vztahu (4-37)
 $C^r = 0,674$ – výpočet dle vztahu (4-2)
 $Q_i^r = 25560 \text{ kJ.kg}^{-1}$ kalorimetrická výhřevnost

Po dosazení do vztahu (6-3) vypočtu množství ztrát hořlavinou v tuhých zbytcích :

$$\xi_C = \frac{0,0591 \cdot 0,674 \cdot 32600}{25560}$$

$$\xi_C = 0,051$$

Pro výpočet ztrát teplem spalin (komínová) použijí vzorec (6-4) :

$$\xi_k = \frac{V_{SVskut} \cdot c_s \cdot (t_k - t_o)}{Q_i^r} \quad [-] \quad (6-4)$$

kde :	V_{SVskut} objem vlhkých skutečných spalin	$[m_N^3 \cdot kg^{-1}]$
	c_s střední měrná tepelná kapacita spalin	$[kJ \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}]$
	t_k teplota vystupujících spalin z kotle	$[^{\circ}C]$
	t_o vztažná teplota	$[^{\circ}C]$
	Q_i^r teplo přivedené do kotle 1 kg paliva	$[kJ \cdot kg^{-1}]$

$V_{SVskut} = 8,459 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ – výpočet dle vztahu (4-45)

$c_s = 1,713 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$ – výpočet dle vztahu (4-55)

$t_k = 158 \text{ }^{\circ}C$ – dle měření teploty spalin

$t_o = 20 \text{ }^{\circ}C$ – dle normy ČSN 07 0302

$Q_i^r = 25560 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ kalorimetrická výhřevnost

Po dosazení do vztahu (6-4) vypočtu ztrát teplem spalin :

$$\xi_k = \frac{8,459 \cdot 1,713 \cdot (158 - 20)}{25560}$$

$$\xi_k = 0,078$$

Pro výpočet ztrát fyzickým teplem tuhých zbytků použijí vzorec (6-5) :

$$\xi_f = \frac{A^r \cdot \left(\frac{c_{sk} (t_{sk} - t_o) X_s}{1 - C_s} + \frac{c_{CR} (t_{cr} - t_o) X_{CR}}{1 - C_{CR}} \right)}{Q_i^r} \quad [-] \quad (6-5)$$

kde :	A^r obsah popele v původním stavu	$[-]$
	c_s střední měrná tepelná kapacita spalin	$[kJ \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}]$
	t_{sk} teplota vystupujících škváry z kotle	$[^{\circ}C]$
	t_{cr} teplota popílku	$[^{\circ}C]$
	t_o vztažná teplota	$[^{\circ}C]$
	c_{sk} střední měrná tepelná kapacita škváry	$[kJ \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}]$
	c_{cr} střední měrná tepelná kapacita popílku	$[kJ \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}]$
	Q_i^r teplo přivedené do kotle 1 kg paliva	$[kJ \cdot kg^{-1}]$

X_S množství zachycení ve škváře	[-]
X_{CR} množství zachycení v popílku	[-]
C_S nedopal ve škváře	[-]
C_{CR} nedopal v popílku	[-]

$A^r = 0,13$ – výpočet dle vztahu (1)

$t_{sk} = 600$ °C- dle měření na výstupu z kotle

$t_{pop} = 158$ °C- dle měření na výstupu z kotle

$t_o = 20$ °C – dle normy ČSN 07 0302

$c_{sk} = 1,013$ kJ.m⁻³.K⁻¹ – výpočet dle vztahu (56)

$c_{cr} = 0,792$ kJ.m⁻³.K⁻¹ – výpočet dle vztahu (57)

$Q_i^r = 25560$ kJ.kg⁻¹ kalorimetrická výhřevnost

$X_S = 0,95$ – výsledek z laboratoře

$X_{CR} = 0,05$ – výsledek z laboratoře

$C_S = 0,2373$ – výsledek z laboratoře

$C_{CR} = 0,1791$ – výsledek z laboratoře

Po dosazení do vztahu (6-5) vypočtu ztrátu fyzickým teplem tuhých zbytků :

$$\xi_f = \frac{0,13 \cdot \left(\frac{1,013(600 - 20) \cdot 0,95}{1 - 0,2373} + \frac{0,792 \cdot (158 - 20) \cdot 0,05}{1 - 0,1791} \right)}{25560}$$

$$\xi_f = 3,760 \cdot 10^{-3}$$

Pro výpočet střední měrné tepelné kapacity spalín použijí vzorec (6-6) :

$$c_s = \frac{\left(At + B + \frac{C}{t} \right)}{V_s} \quad [\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (6-6)$$

kde : t teplota spalín [°C]

A, B, C konstanty [-]

V_s měrný objem spalín při dokonalém spalování

$t = 158$ °C- dle měření na výstupu z kotle

A, B, C - výpočet dle ČSN 07 0302

V_s -- výpočet dle ČSN 07 0302

Výpočet střední měrné tepelné kapacity saplin byl proveden v programu MathCad. Výpočet se skládá s několika rovnic.

$$c_s = 1,713 \text{ kJ.m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$$

Pro výpočet střední měrné tepelné kapacity škváry tuhých zbytků použijí vzorec (6-7)

$$c_{sk} = 0,712 + 0,502 \cdot 10^{-3} \cdot t_{sk} \quad [-] \quad (6-7)$$

kde : t_{sk} teplota vystupujících škváry z kotle [°C]

$$t_{sk} = 600 \text{ °C} - \text{dle měření na výstupu z kotle}$$

Po dosazení do vztahu (6-7) vypočtu měrnou tepelnou kapacitu tuhých zbytků :

$$c_{sk} = 0,712 + 0,502 \cdot 10^{-3} \cdot 600$$

$$c_{sk} = 1,013$$

Pro výpočet střední měrné tepelné kapacity škváry tuhých zbytků použijí vzorec (6-8) :

$$c_{cr} = 0,712 + 0,502 \cdot 10^{-3} \cdot t_{cr} \quad [-] \quad (6-8)$$

kde : t_{cr} teplota vystupujícího popílku z kotle [°C]

$$t_{cr} = 158 \text{ °C} - \text{dle měření na výstupu z kotle}$$

Po dosazení do vztahu (6-8) vypočtu měrnou tepelnou kapacitu tuhých zbytků :

$$c_{cr} = 0,712 + 0,502 \cdot 10^{-3} \cdot 158$$

$$c_{cr} = 0,792$$

Pro výpočet ztrát sdílením tepla do okolí použijí vzorec (6-9) :

$$\xi_{SV} = k_1 \cdot Q_{v\dot{y}r}^{-0,35} \cdot 10^{-2} \cdot \frac{Q_{v\dot{y}rj}}{Q_{v\dot{y}r}} \quad [-] \quad (6-9)$$

kde : k_1 konstanta dle druhu paliva [-]
 $Q_{v\dot{y}rj}$ jmenovité výrobní teplo kotle [MW]
 $Q_{v\dot{y}r}$ výrobní teplo kotle z tepelné bilance [MW]

$$k_1 = 2,5 \text{ – konstanta pro černé uhlí}$$

$$Q_{vyrj} = 34 \text{ MW – dle dokumentace kotle}$$

$$Q_{vyr} = 34,117 \text{ MW – výpočet dle vzorce (5-1)}$$

Po dosazení do vztahu (6-9) vypočtu ztrátu sdílením tepla do okolí v závislosti na výkonu kotle :

$$\xi_{sv} = 2,5 \cdot 34^{-0,35} \cdot 10^{-2} \cdot \frac{34}{34,117}$$

$$\xi_{sv} = 7,251 \cdot 10^{-3}$$

7. Výpočet množství paliva

Pro výpočet množství přivedeného paliva do kotle při jmenovitém výkonu kotle použijí vzorec (7-1) :

$$M_{pal} = \frac{Q_{vyr}}{Q_i^r \cdot \eta} \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (7-1)$$

kde :

Q_i^r teplo přivedené do kotle 1 kg paliva	[kJ.kg ⁻¹]
η celková účinnost kotle	[-]
Q_{vyr} výrobní teplo kotle z tepelné bilance	[kJ.kg ⁻¹]

$$\eta = 0,859 \text{ – výpočet dle vztahu (6-1)}$$

$$Q_v = 34117 \text{ kJ.kg}^{-1} \text{ – výpočet dle vzorce (5-1)}$$

$$Q_i^r = 25560 \text{ kJ.kg}^{-1} \text{ kalorimetrická výhřevnost}$$

Po dosazení do vztahu (7-1) vypočtu množství přivedeného paliva do kotle :

$$M_{pal} = \frac{34117}{25560 \cdot 0,859}$$

$$M_{pal} = 1,553 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Pro výpočet množství výpočtového paliva použijí vzorec (7-2) :

$$M_{pv} = M_{pal} (1 - \xi_C) \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (7-2)$$

kde : M_{pal} množství přivedeného paliva do kotle [kg.s⁻¹]
 ξ_C ztráta hořlavinou v tuhých zbytcích [-]

$M_{pal} = 1,553 \text{ kg.s}^{-1}$ – výpočet dle vztahu (7-1)

$\xi_C = 0,051$ – výpočet dle vzorce (6-3)

Po dosazení do vztahu (7-2) vypočtu množství výpočtového paliva :

$$M_{pv} = 1,553(1 - 0,051)$$

$$M_{pv} = 1,473 \text{ kg.s}^{-1}$$

8. Teplosměnné plochy kotle K1

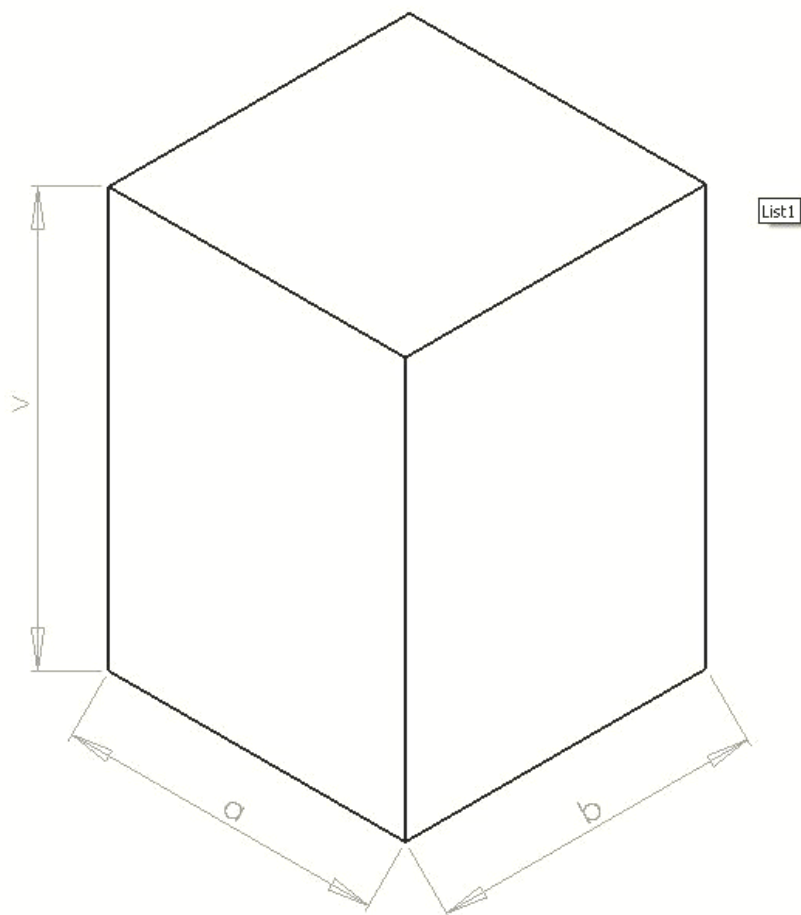
Pro kontrolní tepelný výpočet si rozdělím výhřevné ploch do následujících sekcí :

- ohniště – od roštu kotle po první trubky vodních šotů
- výparné šoty
- nástěnný výparník v oblasti vodních šotů
- vypařovací mříž
- nástěnný výparník v oblasti žaluziového odlučovače
- nástěnný výparník v oblasti prvního a druhého přehříváku
- přehřívák páry PPII
- přehřívák páry PI
- ohřívák vody EKO II
- Doležalův kondenzátor
- Ohřívák vody EKO I

8.1. Ohniště

Ohniště kotle K1 se nachází v dolní části I tahu kotle. Ohniště je ohraničeno ve spodní části roštěm a v horní části spodními trubkami vodních šotů. Boční stěny ohniště jsou tvořeny membránovými stěnami. Membránové stěny jsou vyrobeny z trubek Ø 60,3 x 4mm a materiálu jakosti 12021.1 a P265 GH. V přední stěně membránové stěny se nacházejí chlazené dvířka a otvor pro vstup paliva. V zadní stěně ohniště

je otvor pro potrubí vratného popílku. Vstupní a výstupní komory membránových stěn jsou vyrobeny z trubek $\varnothing 219 \times 16$ a materiálu 12 021.1. Zavodňovací a převáděcí trubky jsou rozměru $\varnothing 133 \times 5,6$ a materiál trubek je 12 021.1.



Obr. 8.1 Náčr ohniště s označením rozměrů

Pro výpočet povrchu ohniště použijí vzorec (8-1) :

$$S_o = 2.(v_o.b_o) + 2.(v_o.a_o) + 2.(b_o.a_o) [m^2] \quad (8-1)$$

kde : v_o výška ohniště [m]
 a_o šířka ohniště [m]
 b_o hloubka ohniště [m]

$$v_o = 7 \text{ m rozměr dle výkresu kotle}$$

$$a_o = 3,8 \text{ m rozměr dle výkresu kotle}$$

$$b_o = 4,6 \text{ m rozměr dle výkresu kotle}$$

Po dosazení do vztahu (8-1) vypočtu povrch ohniště :

$$S_o = 2.(7.4,6) + 2.(7.3,8) + 2.(4,6.3,8)$$

$$S_o = 152,56 \text{ m}^2$$

Pro výpočet sálavé plochy ohniště (otrupkované plochy ohniště) použiji vzorec (8-2):

$$S_{osal} = 2.(v_o.b_o) + 2.(v_o.a_o) \quad [\text{m}^2] \quad (8-2)$$

kde :

v_o výška ohniště	[m]
a_o šířka ohniště	[m]
b_o hloubka ohniště	[m]

$$v_o = 7 \text{ m rozměr dle výkresu kotle}$$

$$a_o = 3,8 \text{ m rozměr dle výkresu kotle}$$

$$b_o = 4,6 \text{ m rozměr dle výkresu kotle}$$

Po dosazení do vztahu (8-2) vypočtu povrch ohniště :

$$S_{osal} = 2.(7.4,6) + 2.(7.3,8)$$

$$S_{osal} = 117,6 \text{ m}^2$$

Pro výpočet objemu ohniště použiji vzorec (8-3) :

$$V_o = (v_o.b_o.a_o) \quad [\text{m}^3] \quad (8-3)$$

kde :

v_o výška ohniště	[m]
a_o šířka ohniště	[m]
h_o hloubka ohniště	[m]
$v_o = 7 \text{ m}$ rozměr dle výkresu kotle	
$a_o = 3,8 \text{ m}$ rozměr dle výkresu kotle	
$b_o = 4,6 \text{ m}$ rozměr dle výkresu kotle	

Po dosazení do vztahu (8-3) vypočtu povrch ohniště :

$$V_o = (7.4,6.3,8)$$

$$V_o = 122,36 \text{ m}^3$$

Pro výpočet plochy výstupního otvoru ohniště použijí vzorec (8-4) :

$$S_{ok} = b_o \cdot a_o \quad [\text{m}^2 \cdot] \quad (8-4)$$

kde : a_o šířka ohniště [m]

b_o hloubka ohniště [m]

$a_o = 3,8$ m rozměr dle výkresu kotle

$b_o = 4,6$ m rozměr dle výkresu kotle

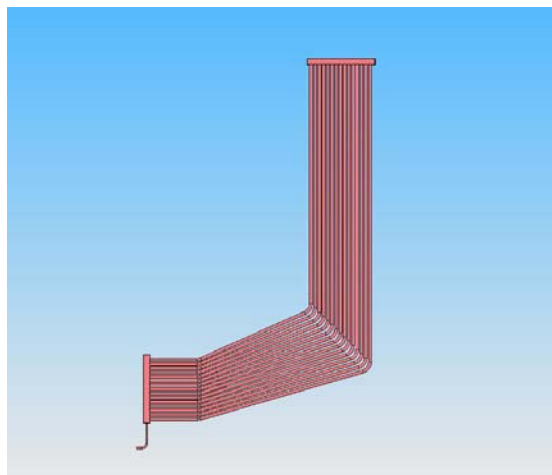
Po dosazení do vztahu (8-4) vypočtu povrch výstupního okna ohniště :

$$S_{ok} = 4,6 \cdot 3,8$$

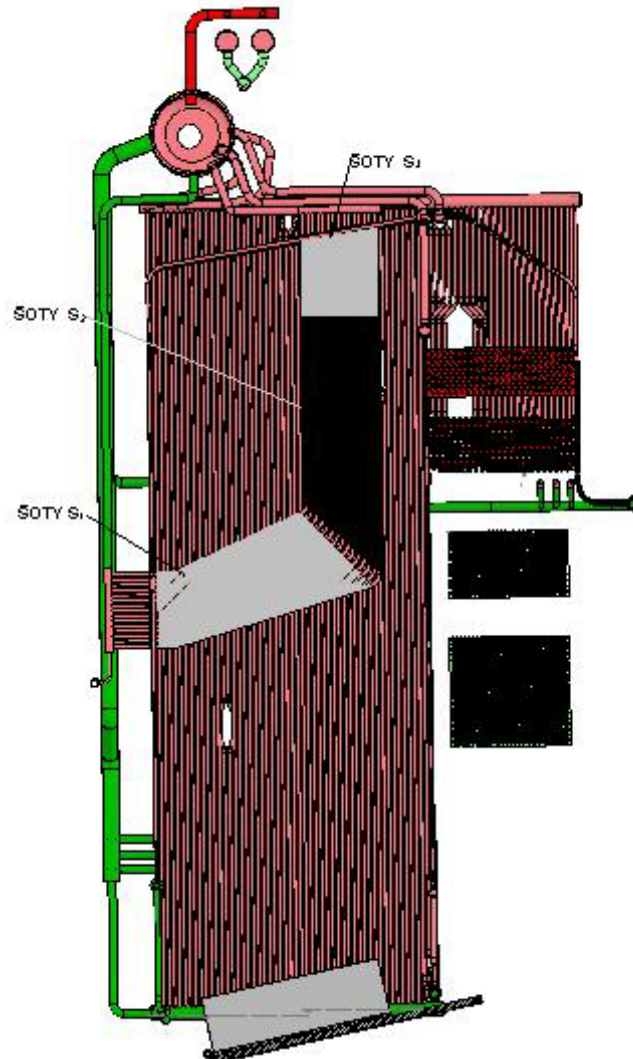
$$S_{ok} = 17,48 \text{ m}^2$$

8.2. Výparné šoty

Výparné šoty se nacházejí v horní části I tahu kotle. Výparné šoty jsou v kotli zapojeny jako výparné plochy. Zavodňovací a výstupní komory vodních šotů jsou dimenze $\text{Ø } 133 \times 8$ mm, materiálu jakosti 12021.1. Trubky, které tvoří 7 kusů výparných šotů jsou z trubek dimenze $\text{Ø } 60,3 \times 4$ mm, materiálu jakosti 12021.1.



Obr. 8.2 Model výparných šotů



Obr. 8.3 Model kotle K1 s rozdělením výhřevných ploch šotů

Pro výpočet výhřevné plochy šotů obtékaných spalinami příčně použijí vzorec (8-5) :

$$S_{spř} = l_{spř} \cdot n_s \cdot 2 \cdot b_s \quad [m^2] \quad (8-5)$$

kde : $l_{spř}$ - délka trubek šotu obtékaných příčně [m]
 n_s - počet šotů [ks]
 b_s - rozteč mezi 1 a poslední trubkou v šotu [m]

$l_{spř} = 4,6$ m rozměr dle výkresu kotle

$n_s = 7$ ks počet dle výkresu kotle

$b_s = 1,190$ m rozměr dle výkresu kotle

Po dosazení do vztahu (8-5) vypočtu výhřevnou plochu šotů obtékaných spaliny příčně :

$$S_{spř} = 4,6.7.2.1,190$$

$$S_{spř} = 76,636 \text{ m}^2$$

Pro výpočet výhřevné plochy šotů obtékaných spaliny podélně použiji vzorec (8-6):

$$S_{spod} = l_{spod} \cdot n_s \cdot n_{str} \cdot \pi \cdot D_{str} \quad [\text{m}^2 \cdot] \quad (8-6)$$

kde : l_{spod} - délka trubek šotu obtékaných podélně [m]

n_s počet šotů [ks]

n_{str} počet trubek v jednom šotu [ks]

D_{str} vnější průměr trubky šotu [m]

$l_{spod} = 3,3 \text{ m}$ rozměr dle výkresu kotle

$n_s = 7 \text{ ks}$ počet dle výkresu kotle

$n_{str} = 15 \text{ ks}$ počet dle výkresu kotle

$D_{str} = 0,06 \text{ m}$ dle výkresu kotle

Po dosazení do vztahu (8-6) vypočtu výhřevnou plochu šotů obtékaných podélně :

$$S_{spod} = 3,3.7.15 \cdot \pi \cdot 0,06$$

$$S_{spod} = 65,31 \text{ m}^2$$

8.3 Nástěnný výparník v oblasti výparných šotů

Výparník v oblasti vodních šotů kotle K1 se nachází v horní části I tahu kotle. Výparník plynule navazuje na membránové stěny ohniště. Boční stěny ohniště jsou tvořeny membránovými stěnami. Membránové stěny jsou vyrobeny z trubek $\varnothing 60,3 \times 4 \text{ mm}$ a materiálu jakosti 12021.1 a P265GH. Přední stěna kotle plynule navazuje na strop kotle. Zadní stěna I tahu kotle je ukončena komorou, na kterou je napojena mříž kotle. Vstupní a výstupní komory membránových stěn jsou vyrobeny z trubek $\varnothing 219 \times 16$ a materiálu 12 021.1.

Pro výpočet výhřevné plochy stěn výparníku v oblasti šotů použijí vzorec (8-7) :

$$S_{vš} = 2.(v_{všb} \cdot b_{všb}) + (v_{všp} \cdot a_{vš}) + (v_{všz} \cdot a_{vš}) \quad [\text{m}^2 \cdot] \quad (8-7)$$

kde : $v_{všb}$ výška boční MeS v oblasti šotů [m]
 $v_{všp}$ výška přední+ stropu MeS v oblasti šotů [m]
 $v_{všz}$ výška zadní MeS v oblasti šotů [m]
 $b_{všb}$ šířka boční MeS v oblasti šotů [m]
 $a_{vš}$ šířka přední a zadní MeS v oblasti šotů [m]

$v_{všb} = 6$ m rozměr dle výkresu kotle
 $v_{všp} = 9,8$ m rozměr dle výkresu kotle
 $v_{všz} = 4,4$ m rozměr dle výkresu kotle
 $b_{všb} = 4,6$ m rozměr dle výkresu kotle
 $a_{vš} = 3,8$ m rozměr dle výkresu kotle

Po dosazení do vztahu (8-7) vypočtu výhřevnou plochu stěn výparníku v oblasti šotů :

$$S_{vš} = 2.(6 \cdot 4,6) + (9,8 \cdot 3,8) + (4,4 \cdot 3,8)$$

$$S_{vš} = 109,16 \text{ m}^2$$

8.4. Vypařovací mříž

Vypařovací mříž kotle K1 se nachází mezi I A ii tahem kotle. Vypařovací mříž plynule navazuje na výstupní komoru zadní MeS I tahu. Mříž je z 6 trubek $\varnothing 133 \times 5,6$ mm a materiálu jakosti 12021.1. Vstupní komora mříže je vyrobena z trubek $\varnothing 219 \times 16$ a materiálu 12 021.1.

Pro výpočet výhřevné plochy mříže použijí vzorec (8-8) :

$$S_{mř} = n_{mř} \cdot \pi \cdot D_{mřt} \cdot v_{mř} \quad [\text{m}^2 \cdot] \quad (8-8)$$

kde : $n_{mř}$ počet trubek mříže [ks]
 $D_{mřt}$ vrchní průměr trubky mříže [m]
 $v_{mř}$ výška mříže [m]

$n_{mř} = 6$ ks dle výkresu kotle
 $D_{mřt} = 0,133$ m rozměr dle výkresu kotle
 $v_{mř} = 1,6$ m rozměr dle výkresu kotle

Po dosazení do vztahu (8-8) vypočtu výhřevnou plochu mříže :

$$S_{mř} = 6 \cdot \pi \cdot 0,133 \cdot 1,6$$

$$S_{mř} = 4,011 \text{ m}^2$$

8.5 Výparník v oblasti žaluziového odlučovače

Výparník v oblasti žaluziového odlučovače kotle K1 se nachází v horní části II tahu kotle. Výparník je tvořen membránovými stěnami. Membránové stěny jsou vyrobeny z trubek $\varnothing 60,3 \times 4\text{mm}$ a materiálu jakosti 12021.1 a P265 GH. Zadní stěna II kotle plynule navazuje na strop kotle. Boční stěny II tahu kotle jsou ukončeny komorami. Vstupní komory membránových stěn jsou vyrobeny z trubek $\varnothing 219 \times 16$ a materiálu 12 021.1.

Pro výpočet výhřevné plochy stěn výparníku v oblasti žaluziového odlučovače použiji vzorec (8-9) :

$$S_{vžal} = 2 \cdot (v_{žalb} \cdot b_{žalb}) + (v_{žalz} \cdot a_{žalz}) \quad [\text{m}^2] \quad (8-9)$$

kde: $v_{žalb}$ výška boční MeS v oblasti žaluziového odlučovače [m]
 $v_{žalz}$ výška zadní+ stropu MeS v oblasti žaluziového odlučovače [m]
 $b_{žalb}$ hloubka boční MeS v oblasti žaluziového odlučovače [m]
 $a_{žalz}$ šířka zadní MeS v oblasti žaluziového odlučovače [m]

$$v_{žalb} = 1,5 \text{ m rozměr dle výkresu kotle}$$

$$v_{žalz} = 3 \text{ m rozměr dle výkresu kotle}$$

$$b_{žalb} = 2,4 \text{ m rozměr dle výkresu kotle}$$

$$a_{žalz} = 3,8 \text{ m rozměr dle výkresu kotle}$$

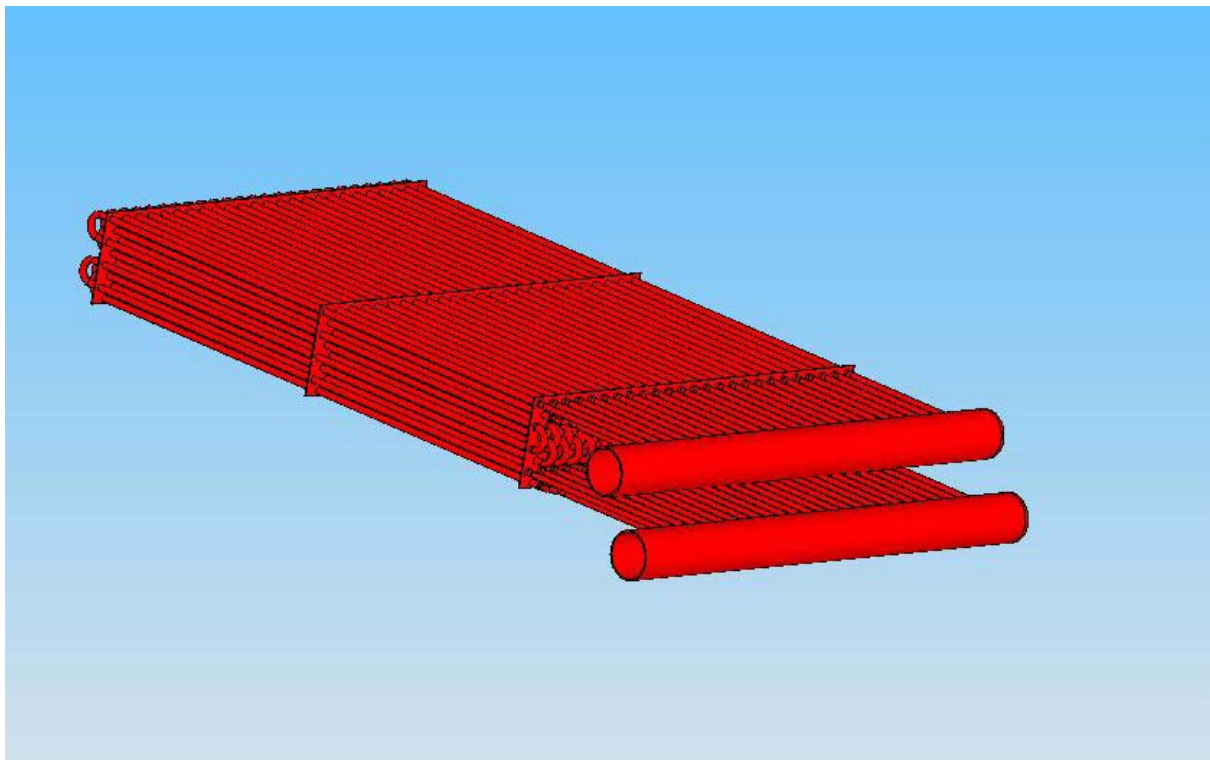
Po dosazení do vztahu (8-9) vypočtu výhřevnou plochu stěn výparníku v oblasti žaluziového odlučovače :

$$S_{vžal} = 2 \cdot (1,5 \cdot 2,4) + (3 \cdot 3,8)$$

$$S_{vžal} = 18,6 \text{ m}^2$$

8.6 Původní horní konvekční přehřívák páry PP II

Přehřívák páry PP II se nachází v II tahu kotle pod žaluziovým odlučovačem. Přehřívák je vyroben z trubek dimenze $\varnothing 38 \times 3,6$ mm, materiálu jakosti 15 110.5. Vstupní a výstupní komora je dimenze $\varnothing 273 \times 10$ mm, materiálu jakosti 15 110.5.



Obr. 8.4 Model přehříváku páry před navýšením teplosměnné plochy

Pro výpočet výhřevné plochy původního přehříváku páry PPII použijí vzorec (8-10) :

$$S_{PPII_{p_{uv}}} = l_{PPII_{p_{uv}}} \cdot \frac{z_{2PPII_{p_{uv}}}}{2} \cdot n_{trPPII_{p_{uv}}} \cdot \pi \cdot D_{trPPII_{p_{uv}}} \quad [m^2] \quad (8-10)$$

kde :

$l_{PPII_{p_{uv}}}$	- délka původního PPII	[m]
$z_{2PPII_{p_{uv}}}$	- počet řad trubek PPII	[ks]
$n_{trPPII_{p_{uv}}}$	počet trubek PPII	[ks]
$D_{trPPII_{p_{uv}}}$	vrchní průměr trubky PPII	[m]

$l_{PPII_{puv}} = 3,65$ m rozměr dle výkresu kotle

$z_{2PPII_{puv}} = 8$ m rozměr dle výkresu kotle

$n_{trPPII_{puv}} = 49$ m rozměr dle výkresu kotle

$D_{trPPII_{puv}} = 0,038$ m rozměr dle výkresu kotle

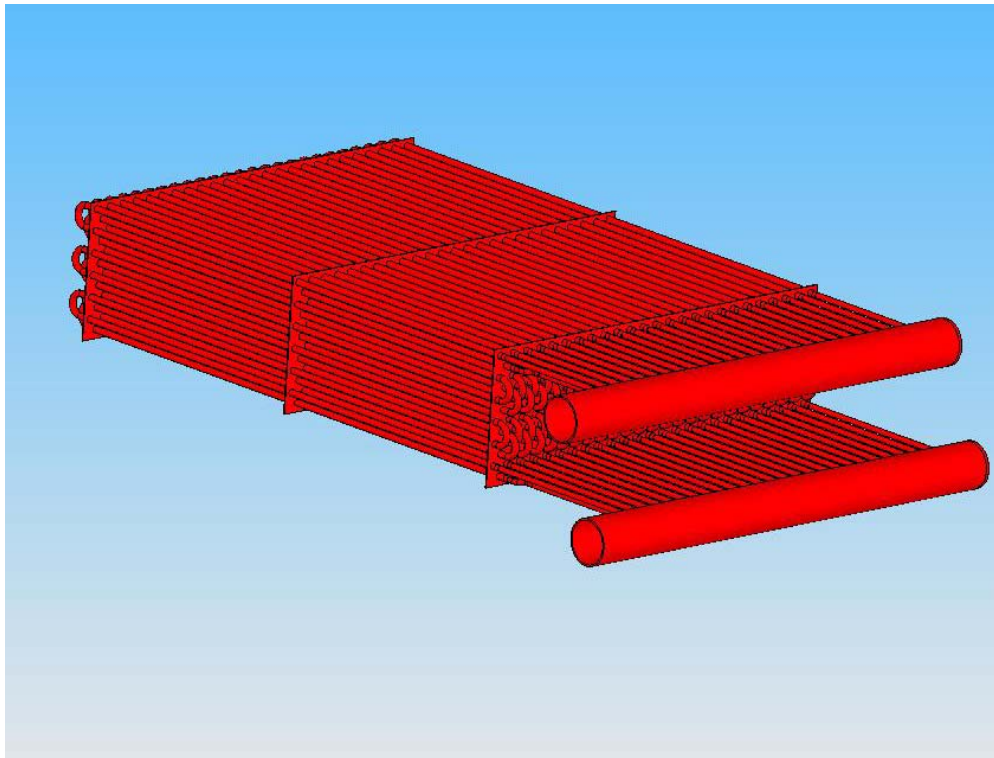
Po dosazení do vztahu (8-10) vypočtu původní výhřevnou plochu PPII :

$$S_{PPII_{puv}} = 3,65 \cdot \frac{8}{2} \cdot 49 \cdot \pi \cdot 0,038$$

$$S_{PPII_{puv}} = 85,40 \text{ m}^2$$

8.7. Horní konvekční přehřívák páry PP II po rekonstrukci

Přehřívák páry PP II se nachází v II tahu kotle pod žaluziovým odlučovačem. Přehřívák je vyroben z trubek dimenze $\text{Ø } 38 \times 3,6$ mm, materiálu jakosti 16Mo3. Vstupní a výstupní komora je dimenze $\text{Ø } 273 \times 10$ mm, materiálu jakosti 16Mo3 .



Obr. 8.5 Model přehříváku páry po navýšení teplosměnné plochy

Pro výpočet výhřevné plochy rekonstruovaného přehříváku páry PPII použijí vzorec (8-11) :

$$S_{PPIIrek} = l_{PPIIrek} \cdot \frac{z_{2PPIIrek}}{2} \cdot n_{trPPIIrek} \cdot \pi \cdot D_{trPPIIrek} \quad [m^2] \quad (8-11)$$

kde : $l_{PPIIrek}$ délka PPII po rekonstrukci [m]
 $z_{2PPIIrek}$ počet řad trubek PPII po rekonstrukci [ks]
 $n_{trPPIIrek}$ počet trubek PPII po rekonstrukci [ks]
 $D_{trPPIIrek}$ vrchní průměr trubky PPII po rekonstrukci [m]

$l_{PPIIrek} = 3,65$ m rozměr dle výkresu kotle

$z_{2PPIIrek} = 12$ m rozměr dle výkresu kotle

$n_{trPPIIrek} = 49$ m rozměr dle výkresu kotle

$D_{trPPIIrek} = 0,038$ m rozměr dle výkresu kotle

Po dosazení do vztahu (8-11) vypočtu výhřevnou plochu PPII po rekonstrukci :

$$S_{PPIIrek} = 3,65 \cdot \frac{12}{2} \cdot 49 \cdot \pi \cdot 0,038$$

$$S_{PPIIrek} = 128,11 \text{ m}^2$$

8.8 Stěnový výparník v oblasti přehříváku páry PP II

Výparník se nachází u přehříváku páry PP II. Výparník je tvořen membránovými stěnami. Membránové stěny jsou vyrobeny z trubek $\varnothing 60,3 \times 4$ mm a materiálu jakosti 12021.1.

Pro výpočet výhřevné plochy stěn výparníku v oblasti PPII použijí vzorec (8-12) :

$$S_{vPPII} = 2 \cdot (v_{vPPIIb} \cdot b_{vPPIIb}) + 2 \cdot (v_{vPPII} \cdot a_{vPPII}) \quad [m^2] \quad (8-12)$$

kde : v_{vPPIIb} výška boční MeS v oblasti PPII [m]
 v_{vPPII} výška zadní a přední MeS v oblasti PPII [m]
 b_{vPPIIb} šířka boční MeS v v oblasti PPII [m]
 a_{vPPII} šířka zadní a přední MeS v v oblasti PPII [m]

$v_{vPPIIb} = 1$ m rozměr dle výkresu kotle

$v_{vPPII} = 1$ m rozměr dle výkresu kotle

$b_{vPPIIb} = 2,3$ m rozměr dle výkresu kotle

$a_{vPPII} = 3,65$ m rozměr dle výkresu kotle

Po dosazení do vztahu (8-12) vypočtu výhřevnou plochu stěn výparníku v oblasti PPII:

$$S_{vPPII} = 2 \cdot (1,2,3) + 2 \cdot (1,3,65)$$

$$S_{vPPII} = 11,9 \text{ m}^2$$

8.9. Dolní konvekční přehřívák páry PP I

Přehřívák páry PP I se nachází pod přehřívákem páry P II. Přehřívák je vyroben z trubek dimenze $\varnothing 38 \times 3,6$ mm, materiálu jakosti 16Mo3. Vstupní a výstupní komora je dimenze $\varnothing 273 \times 10$ mm, materiálu jakosti 16Mo3.

Pro výpočet výhřevné plochy přehříváku páry PPI použiji vzorec (8-13) :

$$S_{PPI} = l_{PPI} \cdot \frac{z_{2PPI}}{2} \cdot n_{trPPI} \cdot \pi \cdot D_{trPPI} \quad [\text{m}^2 \cdot] \quad (8-13)$$

kde : l_{PPI} délka PPI po rekonstrukci [m]
 z_{2PPI} počet řad trubek PPI po rekonstrukci [ks]
 n_{trPPI} počet trubek PPI po rekonstrukci [ks]
 D_{trPPI} vrchní průměr trubky PPI po rekonstrukci [m]

$l_{PPI} = 3,65$ m rozměr dle výkresu kotle

$z_{2PPI} = 16$ ks rozměr dle výkresu kotle

$n_{trPPI} = 49$ ks počet dle výkresu kotle

$D_{trPPI} = 0,038$ m rozměr dle výkresu kotle

Po dosazení do vztahu (8-13) vypočtu výhřevnou plochu PPI :

$$S_{PPI} = 3,65 \cdot \frac{16}{2} \cdot 49 \cdot \pi \cdot 0,038$$

$$S_{PPI} = 170,81 \text{ m}^2$$

8.10. Nástěnný výparník v oblasti přehříváku páry PP I

Výparník se nachází u přehříváku páry PP I. Výparník je tvořen membránovými stěnami. Membránové stěny jsou vyrobeny z trubek $\varnothing 60,3 \times 4$ mm a materiálu jakosti 12021.1.

Pro výpočet výhřevné plochy stěn výparníku v oblasti PPI použijí vzorec (8-14) :

$$S_{v_{PPI}} = 2.(v_{PPIb} \cdot b_{PPIb}) + 2.(v_{PPI} \cdot a_{PPI}) \quad [m^2 \cdot] \quad (8-14)$$

kde : v_{PPIb} výška boční MeS v oblasti PPII [m]
 v_{PPI} výška zadní a přední MeS v oblasti PPII [m]
 b_{PPIb} šířka boční MeS v v oblasti PPII [m]
 a_{PPI} šířka zadní MeS v v oblasti PPII [m]

$v_{PPIb} = 1,5$ m rozměr dle výkresu kotle

$v_{PPI} = 1,5$ m rozměr dle výkresu kotle

$b_{PPIb} = 2,3$ m rozměr dle výkresu kotle

$a_{PPI} = 3,65$ m rozměr dle výkresu kotle

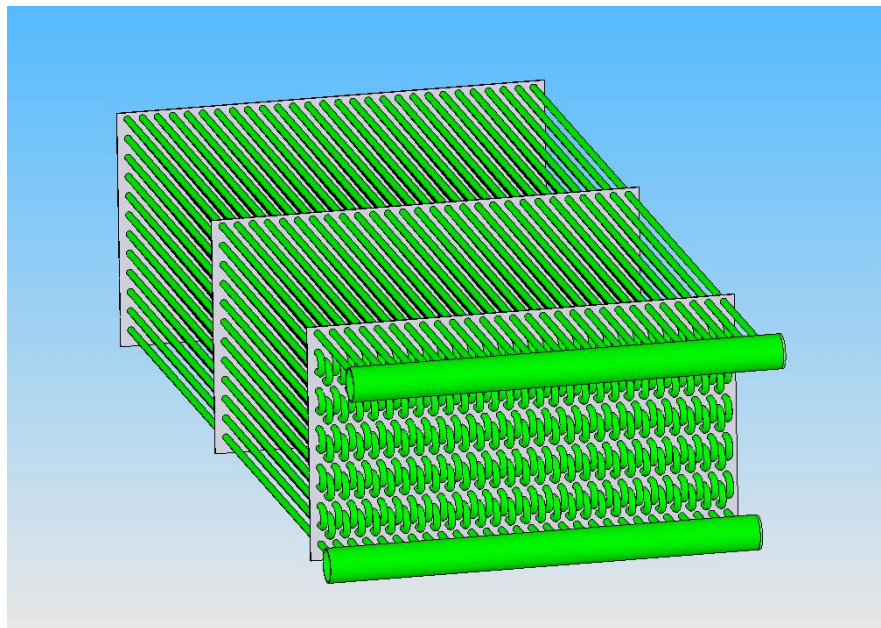
Po dosazení do vztahu (8-14) vypočtu výhřevnou plochu stěn výparníku v oblasti PPI :

$$S_{v_{PPI}} = 2.(1,5 \cdot 2,3) + 2.(1,5 \cdot 3,65)$$

$$S_{v_{PPI}} = 12,3 \text{ m}^2$$

8.11. Horní ohřívák vody EKO II

Horní konvekční ohřívák vody EKO II se nachází pod přehřívákem páry P I. EKO II je vyrobeno z trubek dimenze $\varnothing 31,8 \times 5$ mm, materiálu jakosti 12 021.1. Vstupní a výstupní komory jsou dimenze $\varnothing 159 \times 6,3$ mm, materiálu jakosti 12 021.1.



Obr. 8. 6 Model horního ohříváku vody EKO II

Pro výpočet výhřevné plochy ohříváku vody EKO II použijí vzorec (8-15) :

$$S_{EKOII} = l_{EKOII} \cdot z_{2EKOII} \cdot n_{trEKOII} \cdot \pi \cdot D_{trEKOII} \quad [m^2] \quad (8-15)$$

kde : l_{EKOII} délka ohříváku vody EKO II [m]

z_{2EKOII} počet řad trubek ohříváku vody EKO II [ks]

$n_{trEKOII}$ počet trubek ohříváku vody EKO II [ks]

$D_{trEKOII}$ vrchní průměr trubky ohříváku vody EKO II [m]

$l_{EKOII} = 3,9$ m rozměr dle výkresu kotle

$z_{2EKOII} = 12$ m rozměr dle výkresu kotle

$n_{trEKOII} = 55$ ks rozměr dle výkresu kotle

$D_{trEKOII} = 0,031$ m rozměr dle výkresu kotle

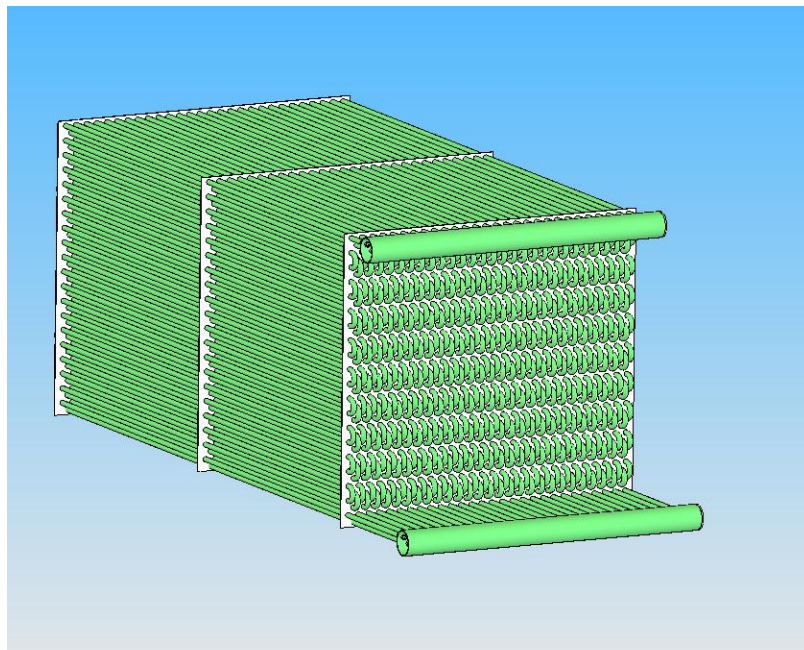
Po dosazení do vztahu (8-15) vypočtu výhřevnou plochu EKA II :

$$S_{EKOII} = 3,9 \cdot 12 \cdot 55 \cdot \pi \cdot 0,031$$

$$S_{EKOII} = 250,68 \text{ m}^2$$

8.12. Dolní ohřívák vody EKO I

Horní konvekční ohřívák vody EKO I se nachází pod EKO II. EKO I je vyrobeno z trubek dimenze $\varnothing 31,8 \times 5$ mm, materiálu jakosti 12 021.1. Vstupní a výstupní komory jsou dimenze $\varnothing 159 \times 6,3$ mm, materiálu jakosti 12 021.1.



Obr. 8.7 Model dolního ohříváku vody EKO I

Pro výpočet výhřevné plochy ohříváku vody EKO I použiji vzorec (8-16) :

$$S_{EKOI} = l_{EKOI} \cdot z_{2EKOI} \cdot n_{trEKOI} \cdot \pi \cdot D_{trEKOI} \quad [\text{m}^2 \cdot] \quad (8-16)$$

kde : l_{EKOI} délka ohříváku vody EKO I [m]

z_{2EKOI} počet řad trubek ohříváku vody EKO I [ks]

n_{trEKOI} počet trubek ohříváku vody EKO I [ks]

D_{trEKOI} vrchní průměr trubky ohříváku vody EKO I [m]

$l_{EKOI} = 3,9$ m rozměr dle výkresu kotle

$z_{2EKOI} = 20$ m rozměr dle výkresu kotle

$n_{trEKOI} = 55$ ks rozměr dle výkresu kotle

$D_{trEKOI} = 0,031$ m rozměr dle výkresu kotle

Po dosazení do vztahu (8-16) vypočtu výhřevnou plochu EKA I :

$$S_{EKOI} = 3,9 \cdot 20 \cdot 55 \cdot \pi \cdot 0,031$$

$$S_{EKOI} = 417,8 \text{ m}^2$$

8.13. Doležalův kondenzátor

Dvojitý Doležalův kondenzátor je umístěn vedle bubnu kotle. Vstupní pára z bubnu do kondenzátoru vstupuje potrubím dimenze $\varnothing 159 \times 6,3$ mm, materiálu jakosti 12 021.1. Voda z ohříváku vody EKO II vstupuje do trubkovnice Doležalova kondenzátoru potrubím dimenze $\varnothing 159 \times 6,3$ mm, materiálu jakosti 12 021.1.

Pro výpočet výhřevné plochy Doležalova kondenzátoru použiji vzorec (8-17) :

$$S_{kond} = 2 \cdot (l_{trkond} \cdot n_{trkond} \cdot \pi \cdot D_{trkond}) \quad [\text{m}^2 \cdot] \quad (8-17)$$

kde : l_{trkond} délka trubky Doležalova kondenzátoru [m]

n_{trkond} počet trubek Doležalova kondenzátoru [ks]

D_{trkond} vrchní průměr trubky Doležalova kondenzátoru [m]

$l_{trkond} = 4$ m rozměr dle výkresu kotle

$n_{trkond} = 9$ ks počet dle výkresu kotle

$D_{trkond} = 0,038$ m rozměr dle výkresu kotle

Po dosažení do vztahu (8-17) výpočtu výhřevnou plochu Doležalova kondenzátoru :

$$S_{kond} = 2.(4.9.\pi.0,038)$$

$$S_{kond} = 8,595 \text{ m}^2$$

9. Matematický model kotle sestavený v programu KOTEL

Pro sestavení matematického modelu kotle potřebuji dopočítat a zjistit některé údaje z měřících přístrojů kotle K1. Po setavení matematického modelu kotle provedu kontrolní tepelný výpočet kotle před rekonstrukcí přehříváku páry PPII a po rekonstrukci. Kontrolní tepelný výpočet parního kotle K1 provedu v programu KOTEL 3.1. Tento výpočtový program mi byl dočasně zapůjčen firmou VÍTKOVICE POWER ENGINEERING, a.s. za účelem vypracování diplomové práce.

Program je vytvořen podle ruského normativu Rasčot 1973, jinak TRKA (Teplovoj Rasčot Kotelnych Agregatov). Tento ruský normativ je obsažen v oborové normě ON 070417 (1984) vypracované v SES Tlumače a je také obsažen ve skriptech pro výpočty kotlů, Doc. Ing. Budaje z energetického centra VUT Brno.

V další části diplomové práce uvedu postup vytvoření matematického modelu parního kotle v programu KOTEL 3.1. Po spuštění programu, pomocí příkazu Vložit, vložím postupně do sestavy výhřevné plochy :

- Komora - ohniště
- Výparník
- Výparné šoty
- Nástěnný výparník v oblasti vodních šotů
- Vypařovací mříž
- Nástěnný výparník v oblasti žaluziového odlučovače
- Nástěnný výparník v oblasti prvního a druhého přehříváku
- Přehřívák páry PPII
- Přehřívák páry PPI
- Ohřívák vody EKO II
- Ohřívák vody EKO I
- Buben – součástí bubnu je Doležalův kondenzátor

Po ukotvení každé výhřevné plochy se otevře menu, pomocí kterého zadám potřebné údaje pro kontrolní výpočet kotle. V následující části práce provedu zadání a dopočet potřebných údajů k jednotlivým výhřevným plochám.

9.1. Komora - ohniště

Sálavá tloušťka

Pro výpočet sálavé tloušťky použiji vzorec (9-1) :

$$S_{osal} = 3,6 \cdot \frac{V_o}{S_o} \quad [\text{m}] \quad (9-1)$$

$$\begin{aligned} \text{kde : } S_o & \text{ povrch ohniště} & [\text{m}^2] \\ V_o & \text{ objem ohniště} & [\text{m}^3] \end{aligned}$$

$$S_o = 152,56 \text{ m}^2 - \text{výpočet dle vztahu (8-2)}$$

$$V_o = 122,36 \text{ m}^3 - \text{výpočet dle vztahu (8-3)}$$

Po dosazení do vztahu (9-1) vypočtu sálavou tloušťku ohniště :

$$S_{osal} = 3,6 \cdot \frac{122,36}{152,56}$$

$$S_{osal} = 2,887 \text{ m}$$

Objem spalovací komory

Výpočet dle vztahu (8-3) :

$$V_o = 122,36 \text{ m}^3$$

Úhlový součinitel osálení okna

Úhlový součinitel osálení okna je určen dle literatury [3] :

$$\delta = 0,98$$

Projekční plocha okna

Výpočet dle vztahu (8-4) :

$$S_{ok} = 17,48 \text{ m}^2$$

Součinitel zanesení okna

Pro výpočet součinitele zanesení okna použijí vzorec (9-2) :

$$\xi_s = \xi_o \cdot \beta \quad [\cdot] \quad (9-2)$$

kde : ξ_o součinitel zanesení stěn ohniště [-]
 β opravný součinitel [-]

$$\xi_o = 0,48 \text{ - dle literatury [5]}$$

$$\beta = 0,98 \text{ - dle literatury [5]}$$

Po dosazení do vztahu (9-2) vypočtu součinitel zanesení okna :

$$\xi_s = 0,48 \cdot 0,98$$

$$\xi_s = 0,470$$

Součinitel nerovnoměrnosti tepelného toku okna

Součinitel nerovnoměrnosti tepelného toku okna dle literatury [3]

$$\delta = 0,45$$

Součinitel polohy maximální teploty plamene

Pro výpočet použijí vzorec (9-3) :

$$M_{pl} = 0,59 - 0,5 \cdot x_{pl} \quad [\cdot] \quad (9-3)$$

kde : x_{pl} součinitel pro rošt. ohniště [-]

$$x_{pl} = 0,14 \text{ dle literatury [5]} \quad [-]$$

Po dosazení do vztahu (9-3) vypočtu součinitel polohy max. plamene :

$$M_{pl} = 0,59 - 0,5 \cdot 0,14$$

$$M_{pl} = 0,52$$

Dle literatury [5] pro roštová ohniště se volí součinitel maximálně 0,5.

Přebytek vzduchu na vstupu do spalovací komory

Výpočet dle vztahu (4-43) :

$$\alpha_o = 1,167$$

Přísátí vzduchu v komoře

Přísátí vzduchu v komoře :

$$\Delta\alpha_o = 0$$

Plocha roštu

Pro výpočet plochy roštu použijí vzorec (9-4) :

$$S_{rošt} = l_{rošt} \cdot a_{rošt} \quad [\cdot] \quad (9-4)$$

kde : $l_{rošt}$ délka roštu [m]
 $a_{rošt}$ šířka roštu [m]

$$l_{rošt} = 4,6 \text{ - určeno dle výkresu}$$

$$a_{rošt} = 0,5 \text{ m - určeno dle výkresu}$$

Po dosazení do vztahu (9-4) vypočtu plochu roštu :

$$S_{rošt} = 4,6 \cdot 0,5$$

$$S_{rošt} = 2,3 \text{ m}$$

Teplo odvedené roštěm

Teplo odvedené roštěm dle provozovatele kotle :

$$Q_{rošt} = 20 \text{ Kw} \cdot \text{m}^{-2}$$

Jméno spalovací komory : Spalovací komora

Sálavá tloušťka [m] :	2,887
Objem spalovací komory [m ³] :	122,360
Součinitel charakteru plamene [-] :	1,000
Úhlový součinitel osálení okna [-] :	0,980
Projekční plocha okna [m ²] :	17,480
Součinitel zanesení okna [-] :	0,470
Souč. nerovnoměrnosti tep. toku okna [-] :	0,450
Součinitel polohy max. teploty plamene [-] :	0,500
Přebytek vzduchu na vstupu do komory [-] :	1,167
Přísátí vzduchu v komoře [-] :	0,000
Teplota přísátí [°C] :	0,0
Plocha roštu [m ²] :	2,300
Teplo odvedené roštem [kW/m ²] :	20,0

Zónový výpočet

Obr. 9.1 Zadání údajů spalovací komory do matematického modelu kotle

Palivo

Výhřevnost paliva

Kalorimetrická výhřevnost paliva :

$$Q_i^r = 25560 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

Fyzické teplo v palivu

Pro výpočet fyzického tepla v palivu použijí vzorec (9-5) :

$$Q_{fpv} = (4,2 \cdot W_r + c_{spv} \cdot (1 - W_r)) \cdot t_{pv} \quad [\text{kJ.kg}^{-1}] \quad (9-5)$$

kde : W_r obsah vody v palivu [-]
 c_{spv} střední specifická tepelná kapacita paliva v bezvodném stavu [kJ.kg⁻¹.K⁻¹.]
 t_{pv} teplota paliva přiváděného do kotle [°C]

$W_r = 0,083$ – výsledek z laboratoře

$c_{spv} = 0,995 \text{ kJ.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. dle literatury [5] str. 34

$t_{pv} = 25 \text{ °C}$

Po dosazení do vztahu (9-5) vypočtu fyzické teplo paliva :

$$Q_{fpv} = (4,2 \cdot 0,083 + 0,995 \cdot (1 - 0,083)) \cdot 25$$

$$Q_{fpv} = 31,525 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Množství paliva

Výpočet dle vztahu (7-1) :

$$M_{pal} = 1,553 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} = 5,59 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$$

Obr. 9.2 Zadání údajů paliva do matematického modelu kotle

Zadání paliva

Obsah uhlíku v původním stavu

Výpočet dle vztahu (4-2) :

$$C^r = 0,674 = 67,4 \%$$

Obsah dusíku v původním stavu

Výpočet dle vztahu (4-5) :

$$N^r = 0,0098 = 0,98 \%$$

Obsah síry v původním stavu („r“)

Výpočet proveden dle vztahu (4-6) :

$$S^r = 0,0037 = 0,37 \%$$

Obsah popele v původním stavu

Výpočet dle vztahu (4-1) :

$$A^r = 0,13 = 13\%$$

Obsah vodíku v původním stavu

Výpočet proveden dle vztahu (4-3) :

$$H^r = 0,039 = 3,9 \%$$

Obsah kyslíku v původním stavu

Výpočet proveden dle vztahu (4-4) :

$$O^r = 0,0598 = 5,98 \%$$

Obsah vody v původním stavu

Obsah vody v palivu je dosazen dle výsledku z laboratoře :

$$W_i^r = 0,083 = 8,3\%$$

Úlet popílku

Veškerý popílek který je zachycen za kotlem v odlučovacích a filtrech je vrácen vratným potrubím zpět do kotle a proto dosazují do programu nulový úlet popílku.

Průměrná částice popílku

Dle měření velikosti částic je průměrná velikost částice

$$d_{kp} = 18 \mu m$$

Oslabení sálání částicemi koksu

Pro výpočet oslabení sáláním částicemi koksu použijí vzorec (9-6) :

$$k_{ko} = k_{kok} \cdot \chi_1 \cdot \chi_2 \quad [m^{-1} \cdot MPa^{-1}] \quad (9-6)$$

kde : k_{kok} sálání částic koksu [$m^{-1}.MPa^{-1}$]
 χ_1 koeficient charakteristiky paliva [-]
 χ_2 koeficient způsobu spalování [-]

$k_{kok} = 10 m^{-1}.MPa^{-1}$ – dle literatury [5]

$\chi_1 = 0,5$ – dle literatury [5]

$\chi_2 = 0,03$ – dle literatury [5]

Po dosazení do vztahu (9-6) vypočtu oslabení sáláním částicemi koksu :

$$k_{ko} = 10 \cdot 0,5 \cdot 0,03$$

$$k_{ko} = 0,15 m^{-1}.MPa^{-1}$$

Uhlík [%]	Dusík [%]	Síra [%]	Popel [%]	Vodík [%]	Kyslík [%]	Voda [%]	Úlet popílku [%]	Průměrná částice popílku [µm]	Oslabení sálání částicemi koksu [1/MPam]
67,400	0,980	0,370	13,060	3,900	5,980	8,300	0,000	18,000	0,150

Obr. 9.3 Zadání údajů rozboru paliva
do matematického modelu kotle

9.2. Výparník

Úhlový součinitel osálání plochy

Pro membránové stěny je dle literatury [5] je úhlový součinitel osálání plochy :

$$x_s = 1$$

Projekční plocha stěn

Výpočet projekční plochy je shodný s výpočtem ploch osálení ohniště dle zorece (8-2):

$$S_{proj} = S_{osal} = 117,6 \text{ m}^2$$

Součinitel zanesení

Dle literatury [5] je součinitel zanesení :

$$\xi = 0,5$$

Součinitel nerovnoměrnosti tepelného toku

Úhlový součinitel osálení okna je určen dle literatury [3] :

$$\delta = 0,98$$

Vstupní tlak vody na mezi sytosti

$$p_{v1} = 2,6 \text{ MPa}$$

Výstupní tlak páry na mezi sytosti

$$p_{v2} = 2,6 \text{ MPa}$$

Label	Value
Jméno :	Výparník
Úhlový součinitel osálení plochy [-] :	1,000
Projekční plocha stěn [m ²] :	117,600
Součinitel zanesení [-] :	0,500
Součinitel nerovnoměrnosti tepelného toku [-] :	0,442
Tlak vstupní [MPa] :	2,600
Tlak výstupní [MPa] :	2,600

Obr. 9.4 Zadání údajů výparníku
do matematického modelu kotle

9.3. Výparné šoty

Přísátí vzduchu v oblasti výparných šotů

Pro šoty volím :

$$\alpha_{šoty} = 0,01$$

Počet překřížení

Počet překřížení proudu spalin a vody v trubkách šotů:

$$n_{spř} = 2$$

Sálavá tloušťka

Pro výpočet sálavé tloušťky použijí vzorec (9-7) :

$$S_{ssal} = \frac{1,8}{\frac{1}{A} + \frac{1}{B} + \frac{1}{C}} \quad [\text{m} \cdot] \quad (9-7)$$

kde :	A	výška jednotlivého prostoru, ohraničeného dvěma sousedními šoty	[m]
	B	šířka jednotlivého prostoru, ohraničeného dvěma sousedními šoty	[m]
	C	hloubka jednotlivého prostoru, ohraničeného dvěma sousedními šoty	[m]

$$A = 7,9\text{m} \quad \text{dle výkresu kotle}$$

$$B = 1,19\text{m} \quad \text{dle výkresu kotle}$$

$$C = 0,47\text{m} \quad \text{dle výkresu kotle}$$

Po dosazení do vztahu (9-7) vypočtu sálavou tloušťku šotu :

$$S_{ssal} = \frac{1,8}{\frac{1}{7,9} + \frac{1}{1,19} + \frac{1}{0,47}}$$

$$S_{ssal} = 0,582 \text{ m}$$

Součinitel zanesení

Dle literatury [5] je součinitel zanesení :

$$\xi_s = 0,005 \text{ m.K.W}^{-1}$$

Sálání prázdných objemů

Sálání prázdných objemů se do matematického modelu dosazuje 0

Součinitel obtékání plochy

Dle literatury [5] je součinitel obtékání plochy :

$$\omega_s = 0,85$$

Součinitel osálení plochy

Dle literatury [5] je součinitel osálení plochy :

$$x_{ssal} = 0,98$$

Plocha výstupního okna – výstupní okno tvoří mříž

Pro výpočet výstupního okna použiji vzorec (9-8) :

$$S_{svo} = (a_{mř} \cdot b_{mř}) - (n_{mř} \cdot D_{trmř} \cdot b_{mř}) \quad [\cdot] \quad (9-8)$$

kde:	$a_{mř}$	šířka mříže	[m]
	$b_{mř}$	výška mříže	[m]
	$n_{mř}$	počet trubek v mříži	[ks]
	$D_{trmř}$	vnější rozměr trubky mříže	[m]

$$a_{mř} = 3,8 \text{ m} - \text{určeno dle výkresu}$$

$$b_{mř} = 1,6 \text{ m} - \text{určeno dle výkresu}$$

$$n_{mř} = 6 \text{ ks} - \text{určeno dle výkresu}$$

$$D_{trmř} = 0,133 \text{ m} - \text{určeno dle výkresu}$$

Po dosazení do vztahu (9-8) vypočtu plochu výstupního okna :

$$S_{vo\dot{s}otu} = (3,8 \cdot 1,6) - (6 \cdot 0,133 \cdot 1,6)$$

$$S_{vo\dot{s}otu} = 4,803 \text{ m}^2$$

Délka šotů ve směru proudění spalin

Dle výkresu je délka šotů ve směru proudění spalin :

$$l_s = 6,3 \text{ m}$$

Vstupní tlak vody na mezi sytosti

$$p_{v1} = 2,6 \text{ MPa}$$

Výstupní tlak páry na mezi sytosti

$$p_{v2} = 2,55 \text{ MPa}$$

Obtěkání za sebou**Výhřevná plocha**

Výpočet dle vztahu (8-5) :

$$S_{spř} = 76,636 \text{ m}^2$$

Průtočný průřez spalin

Pro výpočet průtočného průřezu spalin použiji vzorec (9-9) :

$$S_{sp} = a_{sp} \cdot b_{sp} - n_{\xi} (l_{sp} \cdot D_{tr\xi}) \quad [\cdot] \quad (9-9)$$

kde :	a_{sp}	šířka výstupního okna	[m]
	b_{sp}	hloubka výstupního okna	[m]
	n_{ξ}	počet šotových desek	[ks]
	l_{sp}	délka trubek šotů v příčném směru	[m]
	$D_{tr\text{šotu}}$	vnější rozměr trubek šotů	[m]

$$a_{sp} = 3,8 \text{ m} - \text{určeno dle výkresu}$$

$$b_{sp} = 4,6 \text{ m} - \text{určeno dle výkresu}$$

$$n_{\xi} = 7 \text{ ks} - \text{určeno dle výkresu}$$

$$l_{sp} = 4,6 \text{ m} - \text{určeno dle výkresu}$$

$$D_{tr\text{šotu}} = 0,06 \text{ m} - \text{určeno dle výkresu}$$

Po dosazení do vztahu (9-9) vypočtu průtočný průřez spalin :

$$S_{sp} = 3,8 \cdot 4,6 - 7(4,6 \cdot 0,06)$$

$$S_{sp} = 15,548 \text{ m}^2$$

Počet paralelních trubek média

Dle výkresu je počet paralelních trubek média :

$$z_{tr\text{š}} = 105 \text{ ks}$$

Vnější průměr trubky

Dle výkresu je vnější průměr trubky :

$$D_{tr\text{š}} = 0,0603 \text{ m}$$

Vnitřní průměr trubky

Pro výpočet výstupního okna použijí vzorec (9-10) :

$$d_{trš} = D_{trš} - 2 \cdot t_{trš} \quad [\text{m}] \quad (9-10)$$

kde : $t_{trš}$ tloušťka stěny trubky šotu [m]

$D_{trš}$ vnější rozměr trubek šotů [m]

$t_{trš} = 0,004$ m - určeno dle výkresu

$D_{trš} = 0,0603$ m - určeno dle výkresu

Po dosazení do vztahu (9-10) vypočtu vnější průměr trubky :

$$d_{trš} = 0,0603 - 2 \cdot 0,004$$

$$d_{trš} = 0,05230 \text{ m}$$

Počet řad trubek po spalínách

Dle výkresu je počet řad trubek po spalínách :

$$z_{1trš} = 15 \text{ ks}$$

Příčná rozteč trubek

Dle výkresu je příčná rozteč trubek :

$$s_{1trš} = 0,470 \text{ m}$$

Podélná rozteč trubek

Dle výkresu je podélná rozteč trubek :

$$s_{2trš} = 0,085 \text{ m}$$

Obtékání podélné

Výhřevná plocha

Výpočet proveden dle vztahu (8-6) :

$$S_{\text{špod}} = 65,31 \text{ m}^2$$

Průtočný průřez spalin

Pro výpočet průřezu spalin použijí vzorec (9-11) :

$$S_{sppod} = a_{sp} \cdot b_{sp} - n_s \cdot n_{s1tr} \left(\frac{\pi \cdot D_{trš}^2}{4} \right) \quad [\text{m}^2 \cdot] \quad (9-11)$$

kde:	a_{sp} šířka výstupního okna	[m]
	b_{sp} hloubka výstupního okna	[m]
	n_s počet šotových desek	[ks]
	n_{s1tr} počet trubek v desce šotu	[ks]
	$D_{trš}$ vnější rozměr trubek šotů	[m]

$a_{sp} = 3,8$ m - určeno dle výkresu
 $b_{sp} = 4,6$ m - určeno dle výkresu
 $n_s = 7$ ks - určeno dle výkresu
 $n_{s1tr} = 15$ ks - určeno dle výkresu
 $D_{trš} = 0,06$ m - určeno dle výkresu

Po dosazení do vztahu (9-11) vypočtu průtočný průřez spalin :

$$S_{sppod} = 3,8 \cdot 4,6 - 7 \cdot 15 \left(\frac{\pi \cdot 0,060^2}{4} \right)$$

$$S_{sppod} = 17,18 \text{ m}^2$$

Počet paralelních trubek média

Dle výkresu je počet paralelních trubek média :

$$z_{trš} = 105 \text{ ks}$$

Vnější průměr trubky

Dle výkresu je vnější průměr trubky :

$$D_{trš} = 0,0603 \text{ m}$$

Ekvivalentní průřez spalin

Pro výpočet ekvivalentního průřezu spalin použijí vzorec (9-12) :

$$d_{ekš} = \frac{4 \left(a_{šp} \cdot b_{šp} - n_{trš} \cdot \frac{\pi \cdot D_{trš}^2}{4} \right)}{2(a_{šp} + b_{šp}) + n_{trš} \cdot \pi \cdot D_{trš}} \quad [\text{m}] \quad (9-12)$$

kde : $a_{šp}$ šířka výstupního okna [m]

$b_{šp}$ hloubka výstupního okna [m]

$n_{trš}$ počet všech trubek šotů [ks]

$D_{trš}$ vnější rozměr trubek šotů [m]

$a_{šp} = 3,8$ m - určeno dle výkresu

$b_{šp} = 4,6$ m - určeno dle výkresu

$n_{trš} = 105$ ks - určeno dle výkresu

$D_{trš} = 0,06$ m - určeno dle výkresu

Po dosazení do vztahu (9-12) vypočtu ekvivalentní průřez spalin :

$$d_{ekš} = \frac{4 \left(3,8 \cdot 4,6 - 105 \cdot \frac{\pi \cdot 0,06^2}{4} \right)}{2(3,8 + 4,6) + 105 \cdot \pi \cdot 0,06}$$

$$d_{ekš} = 1,878 \text{ m}$$

Vnitřní průměr trubky

Výpočet dle vzorce (9-10) :

$$d_{trš} = 0,05230 \text{ m}$$

Délka obtékání

Dle výkresu je délka obtékání :

$$l_{štrpod} = 3,3 \text{ m}$$

Příčná rozteč trubek

Dle výkresu je příčná rozteč trubek :

$$s_{1trš} = 0,470 \text{ m}$$

Podélná rozteč trubek

Dle výkresu je podélná rozteč trubek :

$$s_{2trš} = 0,085 \text{ m}$$

Vnější průměr trubky

Dle výkresu je vnější průměr trubky :

$$D_{trš} = 0,0603 \text{ m}$$

Obr. 9.5 Zadání údajů výparných šotů
do matematického modelu kotle

9.4. Vypařovací mříž**Přísátí vzduchu v oblasti mříže**

Pro mříž volím :

$$\alpha_{mř} = 0$$

Počet překřížení

Počet překřížení proudu spalin mříže:

$$n_{mřř} = 1$$

Sálavá tloušťka mříže

Pro výpočet sálavé tloušťky použijí vzorec (9-13) :

$$S_{msal} = \frac{1,8}{\frac{1}{A} + \frac{1}{B} + \frac{1}{C}} \quad [m \cdot] \quad (9-13)$$

kde: A příčná rozteč trubek [m]
 B proměr trubky mříže ; [m]
 C výška mříže [m]

A= 0,54m dle výkresu kotle
 B= 0,133m dle výkresu kotle
 C=1,6 m - určeno dle výkresu

Po dosazení do vztahu (9-13) vypočtu sálavou tloušťku šotu :

$$S_{mřřsa} = \frac{1,8}{\frac{1}{0,54} + \frac{1}{0,133} + \frac{1}{1,6}}$$

$$S_{mřřsa} = 0,18 \text{ m}$$

Součinitel zanesení

Dle literatury [5] je součinitel zanesení :

$$\xi_{mř} = 0,004 \text{ m.K.W}^{-1}$$

Sálání prázdných objemů

Sálání prázdných objemů se do matematického modelu dosazuje 0

Součinitel obtékání plochy

Dle literatury [5] je součinitel obtékání plochy :

$$\omega_{mř} = 1$$

Teplotní rozdíl mezi stěnou trubky a médiem

Zanedbávám teplotní rozdíl mezi teplotou stěny trubky a médiem

$$t = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Vstupní tlak vody na mezi sytosti

$$p_{v1} = 2,6 \text{ MPa}$$

Výstupní tlak páry na mezi sytosti

$$p_{v2} = 2,6 \text{ MPa}$$

Obtékání za sebou

Výhřevná plocha

Výpočet proveden dle vztahu (8-8) :

$$S_{mř} = 4,011 \text{ m}^2$$

Průtočný průřez spalin

Pro výpočet průtočného průřezu spalin použiji vzorec (9-14) :

$$S_{Smř} = a_{mř} \cdot v_{mř} - n_{mř} (v_{mž} \cdot D_{trmř}) \quad [\cdot] \quad (9-14)$$

kde: $a_{mř}$ šířka mříže [m]

$v_{mř}$ výška mříže [m]

$n_{mř}$ počet trubek mříže [ks]

$D_{trmř}$ vnější rozměr trubek mříže [m]

$a_{mř} = 3,8 \text{ m}$ - určeno dle výkresu

$v_{mř} = 1,6 \text{ m}$ - určeno dle výkresu

$n_{mř} = 6 \text{ ks}$ - určeno dle výkresu

$D_{trmř} = 0,133 \text{ m}$ - určeno dle výkresu

Po dosazení do vztahu (9-14) vypočtu průtočný průřez spalin :

$$S_{Smř} = 3,8 \cdot 1,6 - 6(1,6 \cdot 0,133)$$

$$S_{Smř} = 4,803 \text{ m}^2$$

Počet paralelních trubek média

Dle výkresu je počet paralelních trubek média :

$$z_{trmř} = 6 \text{ ks}$$

Vnější průměr trubky

Dle výkresu je vnější průměr trubky :

$$D_{trmř} = 0,133 \text{ m}$$

Vnitřní průměr trubky

Pro výpočet vnitřního průměru trubky použiji vzorec (9-15) :

$$d_{trmř} = D_{trmř} - 2 \cdot t_{trmř} \quad [\text{ m }] \quad (9-15)$$

kde: $t_{trmř}$ tloušťka stěny trubky šotu [m]

$D_{trmř}$ vnější rozměr trubek šotů [m]

$t_{trmř} = 0,0056 \text{ m}$ - určeno dle výkresu

$D_{trmř} = 0,133 \text{ m}$ - určeno dle výkresu

Po dosazení do vztahu (9-15) vypočtu vnější průměr trubky :

$$d_{trmř} = 0,133 - 2 \cdot 0,0056$$

$$d_{trmř} = 0,1218 \text{ m}$$

Počet řad trubek po spalínách

Dle výkresu je počet řad trubek po spalínách :

$$z_{1trmř} = 1$$

Příčná rozteč trubek

Dle výkresu je příčná rozteč trubek :

$$s_{1trmř} = 0,540 \text{ m}$$

Podélná rozteč trubek

Dle výkresu je mříž tvořena jednou řadou trubek :

$$s_{2trmř} = 0 \text{ m}$$

Obr. 9.6 Zadání údajů výparné mříže do matematického modelu kotle

9.5. Stěnový výparník v oblasti žaluziového odlučovače popílku

Přísátí vzduchu ve výparníku v oblasti žaluziového odlučovače popílku

Pro výparník v oblasti žaluziového odlučovače popílku volím :

$$\alpha_{vžal} = 0,00$$

Počet překřížení

Počet překřížení proudu spalin :

$$n_{vžal} = 0$$

Sálavá tloušťka výparníku v oblasti žaluziového odlučovače

Pro výpočet sálavé tloušťky použiji vzorec (9-16) :

$$S_{zalsal} = 3,6 \frac{a_{zal} \cdot b_{zal} \cdot h_{zal}}{S_{vzal}} \quad [\text{m}] \quad (9-16)$$

kde : a_{zal} šířka II tahu [m]
 b_{zal} hloubka II tahu [m]
 h_{zal} výška II tahu v oblasti žal. odlučovače popítku [m]
 S_{vzal} výhřevná plocha v oblasti žaluz.odlučovače [m²]

$a_{zal} = 3,8\text{m}$ dle výkresu kotle

$b_{zal} = 2,4\text{m}$ dle výkresu kotle

$h_{zal} = 1,5\text{m}$ dle výkresu kotle

$S_{vzal} = 18,6\text{m}^2$ – výpočet dle vztahu 68

Po dosazení do vztahu (9-16) vypočtu sálavou tloušťku :

$$S_{zalsal} = 3,6 \frac{3,8 \cdot 2,4 \cdot 1,5}{18,6}$$

$$S_{zalsal} = 2,648 \text{ m}$$

Součinitel zanesení

Dle literatury [5] je součinitel zanesení :

$$\xi_{zal} = 0,006 \text{ m.K.W}^{-1}$$

Sálání prázdných objemů

Sálání prázdných objemů se do matematického modelu dosazuje 0

Součinitel obtékání plochy

Dle literatury [5] je součinitel obtékání plochy :

$$\omega_{zal} = 1$$

Teplotní rozdíl mezi stěnou trubky a médiem

Zanedbávám teplotní rozdíl mezi teplotou stěny trubky a médiem

$$t = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Vstupní tlak vody na mezi sytosti

$$p_{v1} = 2,6 \text{ MPa}$$

Výstupní tlak páry na mezi sytosti

$$p_{v2} = 2,6 \text{ MPa}$$

Obtékání podélné

Výhřevná plocha

Výpočet proveden dle vztahu (8-9) :

$$S_{vžal} = 18,6 \text{ m}^2$$

Průtočný průřez spalin

Pro výpočet průřezu spalin použijí vzorec (9-17) :

$$S_{vžal} = a_{žal} \cdot b_{žal} \quad [\text{m}^2] \quad (9-17)$$

$$\text{kde : } a_{žal} \text{ šířka II tahu} \quad [\text{m}]$$

$$b_{žal} \text{ hloubka II tahu} \quad [\text{m}]$$

$$a_{žal} = 3,8 \text{ m dle výkresu kotle}$$

$$b_{žal} = 2,4 \text{ m dle výkresu kotle}$$

Po dosazení do vztahu (9-17) vypočtu průtočný průřez spalin :

$$S_{vžal} = 3,8 \cdot 2,4$$

$$S_{vžal} = 9,12 \text{ m}^2$$

Počet paralelních trubek média

Dle výkresu je počet paralelních trubek média :

$$z_{tržal} = 76 \text{ ks}$$

Ekvivalentní průřez spalin

Pro výpočet ekvivalentního průřezu spalin použijí vzorec (9-18) :

$$d_{ekžal} = \frac{4 \cdot S_{vžal}}{2 \cdot (a_{žal} + b_{žal})} \quad [\text{m}] \quad (9-18)$$

kde : $a_{\dot{z}al}$ šířka II tahu [m]
 $b_{\dot{z}al}$ hloubka II tahu [m]
 $S_{v\dot{z}al}$ - průtočný průřez spalin [m²]

$a_{\dot{z}al} = 3,8\text{m}$ dle výkresu kotle
 $b_{\dot{z}al} = 2,4\text{m}$ dle výkresu kotle
 $S_{v\dot{z}al} = 9,12$ výpočet dle vztahu (9-17)

Po dosazení do vztahu (9-18) vypočtu vnější průměr trubky :

$$d_{ek\dot{z}al} = \frac{4,9,12}{2 \cdot (3,8 + 2,4)}$$

$$d_{ek\dot{z}al} = 2,942\text{ m}$$

Vnitřní průměr trubky

Pro výpočet vnitřního průměru trubky použiji vzorec (9-19) :

$$d_{vr\dot{z}al} = D_{vr\dot{z}al} - 2 \cdot t_{vr\dot{z}al} \quad [\text{m}] \quad (9-19)$$

kde : $t_{vr\dot{z}al}$ tloušťka stěny trubky MeS [m]
 $D_{vr\dot{z}al}$ vnější rozměr trubek MeS [m]

$t_{vr\dot{z}al} = 0,0004$ m - určeno dle výkresu
 $D_{vr\dot{z}al} = 0,060$ m - určeno dle výkresu

Po dosazení do vztahu (9-19) vypočtu vnitřní průměr trubky :

$$d_{vr\dot{z}al} = 0,060 - 2 \cdot 0,0004$$

$$d_{vr\dot{z}al} = 0,052\text{ m}$$

Délka obtékání

Dle výkresu je délka obtékání :

$$l_{vr\dot{z}al} = 3,0\text{ m}$$

Obr. 9.7 Zadání údajů stěnového výparníku v oblasti žaluziového odučovače do matematického modelu kotle

9.6. Výstupní původní přehřívák páry PP II

Přísátí vzduchu v oblasti přehříváku páry PPII

Pro přehřívák páry PPII volím :

$$\alpha_{PPII_{pv}} = 0,01$$

Počet překřížení

Počet překřížení proudu spalín přehříváku páry PPII:

$$n_{PPII_{pv}} = 4$$

Sálavá tloušťka PPII

Pro výpočet sálavé tloušťky použijí vzorec (9-20) :

$$S_{sPPII} = 0,9 \cdot D_{wPPII} \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{s_{1PPII} \cdot s_{2PPII}}{D_{wPPII}^2} - 1 \right) \quad [\text{m}] \quad (9-20)$$

kde : D_{wPPII} vnější průměr trubky PPII [m]

s_{1PPII} příčná rozteč trubek PPII [m]

s_{2PPII} podélná rozteč trubek PPII [m]

$D_{wPPII} = 0,038 \text{ m}$ dle výkresu kotle

$s_{1PPII} = 0,098 \text{ m}$ dle výkresu kotle

$s_{2PPII} = 0,065 \text{ m}$ dle výkresu kotle

Po dosazení do vztahu (9-20) vypočtu sálavou tloušťku PPII :

$$S_{sPPII} = 0,9 \cdot 0,038 \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{0,098 \cdot 0,065}{0,038^2} - 1 \right)$$

$$S_{sPPII} = 0,158 \text{ m}$$

Součinitel zanesení

Dle literatury [5] je součinitel zanesení :

$$\xi_{PPII} = 0,005 \text{ m} \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Sálání prázdných objemů

Sálání prázdných objemů se do matematického modelu dosazuje 0

Součinitel obtékání plochy

Dle literatury [5] je součinitel obtékání plochy :

$$\omega_{PPII} = 0,98$$

Teplotní rozdíl mezi stěnou trubky a médiem

Zanedbávám teplotní rozdíl mezi teplotou stěny trubky a médiem

$$t = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Vstupní tlak vody na mezi sytosti

$$p_{v1} = 2,39 \text{ MPa}$$

Výstupní tlak páry na mezi sytosti

$$p_{v2} = 2,34 \text{ MPa}$$

Obtékání za sebou

Výhřevná plocha

Výpočet proveden dle vztahu (8-10) :

$$S_{PPII_{piv}} = 85,40 \text{ m}^2$$

Průtočný průřez spalin

Pro výpočet průtočného průřezu spalin použiji vzorec (9-21) :

$$S_{SPPII} = a_{PPII} \cdot b_{PPII} - n_{trPPII} (b_{PPII} \cdot D_{trPPII}) \quad [\text{m}^2 \cdot] \quad (9-21)$$

kde :	a_{PPII}	šířka II tahu	[m]
	b_{PPII}	hloubka II tahu	[m]
	n_{trPPII}	počet trubek přehříváku PPII	[ks]
	D_{trPPII}	vnější rozměr trubek přehříváku PPII	[m]

$a_{PPII} = 3,8$	m - určeno dle výkresu
$b_{PPII} = 2,4$	m - určeno dle výkresu
$n_{trPPII} = 49$	ks - určeno dle výkresu
$D_{trPPII} = 0,038$	m - určeno dle výkresu

Po dosazení do vztahu (9-21) vypočtu průtočný průřez spalin :

$$S_{SPPII} = 3,8 \cdot 2,4 - 49(2,4 \cdot 0,038)$$

$$S_{SPPII} = 4,651 \text{ m}^2$$

Počet paralelních trubek média

Dle výkresu je počet paralelních trubek media :

$$z_{trPPII} = 49 \text{ ks}$$

Vnější průměr trubky

Dle výkresu je vnější průměr trubky :

$$D_{trPPII} = 0,038 \text{ m}$$

Vnitřní průměr trubky

Pro výpočet vnitřního průměru trubky použijí vzorec (9-22) :

$$d_{trPPII} = D_{trPPII} - 2 \cdot t_{trPPII} \quad [\text{m}] \quad (9-22)$$

kde : t_{trPPII} tloušťka stěny trubky PPII [m]

D_{trPPII} vnější rozměr trubek PPII [m]

$t_{trPPII} = 0,0036 \text{ m}$ - určeno dle výkresu

$D_{trPPII} = 0,038 \text{ m}$ - určeno dle výkresu

Po dosazení do vztahu (9-22) vypočtu vnější průměr trubky :

$$d_{trPPII} = 0,038 - 2 \cdot 0,0036$$

$$d_{trPPII} = 0,0308 \text{ m}$$

Počet řad trubek po spalínách

Dle výkresu je počet řad trubek po spalínách :

$$z_{1trPPII} = 8$$

Příčná rozteč trubek

Dle výkresu je příčná rozteč trubek :

$$s_{1trPPII} = 0,098 \text{ m}$$

Podélná rozteč trubek

Dle výkresu je podélná rozteč trubek :

$$s_{2trPPII} = 0,065 \text{ m}$$

Jméno výhřevné plochy : Výstupní přehřívák páry PPII

Proud
 Sou proud Protiproud

Obtékání
 Jednoznačné
 Kombinované
 Žebra

Obtékání příčné
 Vystřídané
 Za sebou
 Podélné

Obtékání vystřídané nebo za sebou
Výhřevná plocha [m²]: 85,400
Průtočný průřez spalin [m²]: 4,651
Počet paralelních trubek média: 49
Vnější průměr trubky [m]: 0,03800
Vnitřní průměr trubky [m]: 0,03080
Počet řad: 8
Příčná rozteč [m]: 0,0980
Podélná rozteč [m]: 0,0650

Obtékání podélné
Výhřevná plocha [m²]: 0,000
Průtočný průřez spalin [m²]: 0,000
Počet paralelních trubek média: 0
Ekvivalentní průměr spalin [m]: 0,000
Vnitřní průměr trubky [m]: 0,00000
Délka obtékání [m]: 0,00000

Prísátí vzduchu [-]: 0,010
Teplota přísátí [°C]: 0,0
Počet překřížení: 4
Sálavá tloušťka [m]: 0,158
Součinitel zanesení [m²·°C/W]: 0,01500
Součinitel sálání prázdných objemů [-]: 0,00000
Součinitel obtékání plochy [-]: 0,98000
Teplotní rozdíl mezi stěnou trubky a médiem [°C]: 0,000
Tlak vstupní [MPa]: 2,390
Tlak výstupní [MPa]: 2,340

Obr. 9.8 Zadání údajů původního výstupního přehříváku páry PPII do matematického modelu kotle

9.7. Přehřívák páry PP I

Přísátí vzduchu v oblasti přehříváku páry PPI

Pro přehřívák páry PPI volím :

$$\alpha_{PPI} = 0,01$$

Počet překřížení

Počet překřížení proudu spalin přehříváku páry PPI:

$$n_{PPI} = 8$$

Sálavá tloušťka PPI

Pro výpočet sálavé tloušťky použiji vzorec (9-23) :

$$S_{SPPI} = 0,9 \cdot D_{trPPI} \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{s_{1PPI} \cdot s_{2PPI}}{D_{trPPI}^2} - 1 \right) \quad [\text{m}] \quad (9-23)$$

kde: D_{trPPI} vnější průměr trubky PPII [m]
 s_{1PPI} příčná rozteč trubek PPI [m]
 s_{2PPI} podélná rozteč trubek PPI [m]

$D_{trPPI} = 0,038 \text{ m}$ dle výkresu kotle

$s_{1PPI} = 0,098 \text{ m}$ dle výkresu kotle

$s_{2PPI} = 0,055 \text{ m}$ dle výkresu kotle

Po dosazení do vztahu (9-23) vypočtu sálavou tloušťku PPI :

$$S_{SPPI} = 0,9 \cdot 0,038 \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{0,098 \cdot 0,055}{0,038^2} - 1 \right)$$

$$S_{SPPI} = 0,128 \text{ m}$$

Součinitel zanesení

Dle literatury [5] je součinitel zanesení :

$$\xi_{PPI} = 0,005 \text{ m.K.W}^{-1}$$

Sálání prázdných objemů

Sálání prázdných objemů se do matematického modelu dosazuje 0

Součinitel obtékání plochy

Dle literatury [5] je součinitel obtékání plochy :

$$\omega_{PPI} = 0,98$$

Teplotní rozdíl mezi stěnou trubky a médiem

Zanedbávám teplotní rozdíl mezi teplotou stěny trubky a médiem

$$t = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Vstupní tlak vody na mezi sytosti

$$p_{v1} = 2,44 \text{ MPa}$$

Výstupní tlak páry na mezi sytosti

$$p_{v2} = 2,40 \text{ MPa}$$

Obtékání za sebou

Výhřevná plocha

Výpočet proveden dle vztahu (8-13) :

$$S_{PPI} = 170,81 \text{ m}^2$$

Průtočný průřez spalin

Výpočet průtočného průřezu spalin přes PPI je totožný s výpočtem pro PPII :

$$S_{SPPI} = S_{SPPII} = 1,788 \text{ m}^2$$

Počet paralelních trubek média

Dle výkresu je počet paralelních trubek média :

$$z_{trPPI} = 49 \text{ ks}$$

Vnější průměr trubky

Dle výkresu je vnější průměr trubky :

$$D_{trPPII} = 0,038 \text{ m}$$

Vnitřní průměr trubky

Výpočet vnitřního průměru trubky PPI je totožný s výpočtem pro PPII :

$$d_{trPPI} = d_{trPPII} = 0,0308 \text{ m}$$

Počet řad trubek po spalinách

Dle výkresu je počet řad trubek po spalinách :

$$z_{1trPPI} = 16$$

Příčná rozteč trubek

Dle výkresu je příčná rozteč trubek :

$$s_{1trPPI} = 0,098 \text{ m}$$

Podélná rozteč trubek

Dle výkresu je mříž tvořena jednou řadou trubek :

$$s_{2trPPI} = 0,055 \text{ m}$$

Obr. 9.9 Zadání údajů přehříváku páry PPI
do matematického modelu kotle

9.9. Ohřívák vody EKO II**Přísátí vzduchu v oblasti ohříváku vody EKO II**

Pro ohřívák vody EKO II volím :

$$\alpha_{EKOH} = 0,01$$

Počet překřížení

Počet překřížení proudu spalin přehříváku ohřívák vody EKO II:

$$n_{EKOII} = 12$$

Sálavá tloušťka

Pro výpočet sálavé tloušťky použijí vzorec (9-24) :

$$S_{sEKOII} = 0,9 \cdot D_{trEKOII} \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{s_{1EKOII} \cdot s_{2EKOII}}{D_{trEKOII}^2} - 1 \right) \quad [\text{m}] \quad (9-24)$$

kde :	$D_{trEKOII}$ vnější průměr trubky EKOII	[m]
	s_{1EKOII} příčná rozteč trubek EKOII	[m]
	s_{2EKOII} podélná rozteč trubek EKOII	[m]

$D_{trEKOII} = 0,031$ m	dle výkresu kotle
$s_{1EKOII} = 0,070$ m	dle výkresu kotle
$s_{2EKOII} = 0,045$ m	dle výkresu kotle

Po dosazení do vztahu (9-24) vypočtu sálavou tloušťku EKOII :

$$S_{sEKOII} = 0,9 \cdot 0,031 \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{0,070 \cdot 0,045}{0,031^2} - 1 \right)$$

$$S_{sEKOII} = 0,089 \text{ m}$$

Součinitel zanesení

Dle literatury [5] je součinitel zanesení :

$$\xi_{EKOII} = 0,007 \text{ m} \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Sálání prázdných objemů

Sálání prázdných objemů se do matematického modelu dosazuje 0

Součinitel obtékání plochy

Dle literatury [5] je součinitel obtékání plochy :

$$\omega_{EKOII} = 1$$

Teplotní rozdíl mezi stěnou trubky a médiem

Zanedbávám teplotní rozdíl mezi teplotou stěny trubky a médiem

$$t = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Vstupní tlak vody

$$p_{v1} = 2,70 \text{ MPa}$$

Výstupní tlak vody

$$p_{v2} = 2,70 \text{ MPa}$$

Obtékání za sebou

Výhřevná plocha

Výpočet proveden dle vztahu (8-15) :

$$S_{EKOII} = 250,68 \text{ m}^2$$

Průtočný průřez spalin

Pro výpočet průtočného průřezu spalin použiji vzorec (9-25) :

$$S_{SEKOII} = a_{EKOII} \cdot b_{EKOII} - n_{EKOII} (b_{EKOII} \cdot D_{trEKOII}) \quad [\cdot] \quad (9-25)$$

kde :	a_{EKOII}	šířka II tahu v oblasti EKO II	[m]
	b_{EKOII}	hloubka II tahu v oblasti EKOII	[m]
	$n_{trEKOII}$	počet trubek ohříváku vody EKOII	[ks]
	$D_{trEKOII}$	vnější rozměr trubek ohříváku vody EKOII	[m]

$$a_{EKOII} = 3,8 \text{ m} - \text{určeno dle výkresu}$$

$$b_{EKOII} = 2 \text{ m} - \text{určeno dle výkresu}$$

$$n_{trEKOII} = 55 \text{ ks} - \text{určeno dle výkresu}$$

$$D_{trEKOII} = 0,031 \text{ m} - \text{určeno dle výkresu}$$

Po dosazení do vztahu (9-25) vypočtu průtočný průřez spalin :

$$S_{SEKOII} = 3,8 \cdot 2 - 55(3,8 \cdot 0,031)$$

$$S_{SEKKOII} = 1,121 \text{ m}^2$$

Počet paralelních trubek média

Dle výkresu je počet paralelních trubek media :

$$z_{trEKOII} = 55 \text{ ks}$$

Vnější průměr trubky

Dle výkresu je vnější průměr trubky :

$$D_{trEKOII} = 0,031 \text{ m}$$

Vnitřní průměr trubky

Pro výpočet vnitřního průměru trubky použiji vzorec (9-26) :

$$d_{trEKOII} = D_{trEKOII} - 2 \cdot t_{trEKOII} \quad [\text{m}] \quad (9-26)$$

kde: $t_{trEKOII}$ tloušťka stěny trubky EKOII [m]

$D_{trEKOII}$ vnější rozměr trubek EKOII [m]

$$t_{trEKOII} = 0,0036 \text{ m} - \text{určeno dle výkresu}$$

$$D_{trEKOII} = 0,031 \text{ m} - \text{určeno dle výkresu}$$

Po dosazení do vztahu (9-26) vypočtu vnější průměr trubky :

$$d_{trEKOII} = 0,031 - 2 \cdot 0,0036$$

$$d_{trEKOII} = 0,0238 \text{ m}$$

Počet řad trubek po spalínách

Dle výkresu je počet řad trubek po spalínách :

$$z_{1trEKOII} = 24$$

Příčná rozteč trubek

Dle výkresu je příčná rozteč trubek :

$$s_{1trEKOII} = 0,070 \text{ m}$$

Podélná rozteč trubek

Dle výkresu je mříž tvořena jednou řadou trubek :

$$s_{2trEKOII} = 0,045 \text{ m}$$

Obr. 9.10 Zadání údajů ohříváku vody EKO II
do matematického modelu kotle

9.9. Ohřívák vody EKO I

Přísátí vzduchu v oblasti ohříváku vody EKO I

Pro ohřívák vody EKO I volím :

$$\alpha_{EKOI} = 0,03$$

Počet překřížení

Počet překřížení proudu spalin EKOI:

$$P_{přPEKOI} = 20$$

Sálavá tloušťka

Sálavou složku spalin pro EKO I můžeme zanedbat :

Součinitel zanesení

Dle literatury [5] je součinitel zanesení :

$$\xi_{EKOI} = 0,007 \text{ m.K.W}^{-1}$$

Sálání prázdných objemů

Sálání prázdných objemů se do matematického modelu dosazuje 0

Součinitel obtékání plochy

Dle literatury [5] je součinitel obtékání plochy :

$$\omega_{EKOI} = 1$$

Teplotní rozdíl mezi stěnou trubky a médiem

Zanedbávám teplotní rozdíl mezi teplotou stěny trubky a médiem

$$t = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Vstupní tlak vody

$$p_{v1} = 2,80 \text{ MPa}$$

Výstupní tlak vody

$$p_{v2} = 2,80 \text{ MPa}$$

Obtékání za sebou

Výhřevná plocha

Výpočet proveden dle vztahu (8-16) :

$$S_{EKOI} = 417,8 \text{ m}^2$$

Průtočný průřez spalin

Výpočet průtočného průřezu spalin přes EKOI je shodný s výpočtem dle vzorce (99) :

$$S_{SEKKOI} = S_{SEKKOII} = 1,121 \text{ m}^2$$

Počet paralelních trubek média

Dle výkresu je počet paralelních trubek média :

$$z_{trEKOI} = 55 \text{ ks}$$

Vnější průměr trubky

Dle výkresu je vnější průměr trubky :

$$D_{trEKOII} = 0,031 \text{ m}$$

Vnitřní průměr trubky

Výpočet vnitřního průměru trubky EKO I shodný jako pro EKO II dle vzorce (9-26) :

$$d_{trEKOI} = d_{trEKOII} = 0,0238 \text{ m}$$

Počet řad trubek po spalínách

Dle výkresu je počet řad trubek po spalínách :

$$z_{1trEKOI} = 40$$

Příčná rozteč trubek

Dle výkresu je příčná rozteč trubek :

$$s_{1trEKOI} = 0,070 \text{ m}$$

Podélná rozteč trubek

Dle výkresu je podélná rozteč trubek :

$$s_{2trEKOI} = 0,045 \text{ m}$$

Obr. 9.11 Zadání údajů ohříváku vody EKO I do matematického modelu kotle

9.10. Stěnový výparník v oblasti šotů

Přísátí vzduchu ve výparníku v oblasti šotů

Pro výparník v oblasti žaluziového odlučovače popílků volím :

$$\alpha_{v1šoty} = 0,0$$

Počet překřížení

Počet překřížení proudu spalin :

$$n_{vžal} = 0$$

Sálavá tloušťka výparníku v oblasti šotů

Pro výpočet sálavé tloušťky použiji vzorec (9-27) :

$$S_{všsal} = 3,6 \frac{(a_{vš} \cdot b_{vš} \cdot v_{všb}) - \left((l_{špod} + l_{špř}) n_{š} \cdot n_{š1tr} \left(\frac{\pi \cdot D_{trš}^2}{4} \right) \right)}{S_{vš}} \quad [\text{m}] \quad (9-27)$$

kde :	$a_{vš}$ šířka I tahu	[m]
	$b_{vš}$ hloubka I tahu	[m]
	$v_{všb}$ výška I tahu v oblasti šotů	[m]
	$S_{vš}$ výhřevná plocha v oblasti šotů	[m ²]
	$l_{špod}$ - délka trubek šotu obtékaných podélně	[m]
	$l_{špř}$ - délka trubek šotu obtékaných příčně	[m]
	$n_{š}$ počet šotových desek	[ks]
	$n_{š1tr}$ počet trubek v desce šotu	[ks]

$a_{vš} = 3,8\text{m}$ dle výkresu kotle

$b_{vš} = 4,6$ dle výkresu kotle

$v_{vš} = 6\text{ m}$ dle výkresu kotle

$S_{vš} = 109,16\text{m}^2$ – výpočet dle vztahu 66

$l_{špod} = 3,3\text{ m}$ rozměr dle výkresu kotle

$l_{špř} = 4,6\text{ m}$ rozměr dle výkresu kotle

$n_{š} = 7\text{ ks}$ - určeno dle výkresu

$n_{š1tr} = 15\text{ ks}$ - určeno dle výkresu

Po dosazení do vztahu (9-27) vypočtu sálavou tloušťku :

$$S_{všsal} = 3,6 \frac{3,8 \cdot 4,6 \cdot 6 - \left((3,3 + 4,6) \cdot 7 \cdot 15 \left(\frac{\pi \cdot 0,06^2}{4} \right) \right)}{109,06}$$

$$S_{všsal} = 3,313\text{ m}^2$$

Součinitel zanesení

Dle literatury [5] je součinitel zanesení :

$$\xi_{vš} = 0,007\text{ m.K.W}^{-1}$$

Sálání prázdných objemů

Sálání prázdných objemů se do matematického modelu dosazuje 0

Součinitel obtékání plochy

Dle literatury [5] je součinitel obtékání plochy :

$$\omega_{vš} = 1$$

Součinitel osálení plochy

Dle literatury [5] je součinitel osálení plochy :

$$x_{ssal} = 0,98$$

Plocha výstupního okna – výstupní okno tvoří mříž

Výpočet proveden dle vzorec (9-8) :

$$S_{vořotu} = 4,803 \text{ m}^2$$

Délka šotů ve směru proudění spalin

Dle výkresu je délka šotů ve směru proudění spalin :

$$l_s = 6,3 \text{ m}$$

Vstupní tlak vody na mezi sytosti

$$p_{v1} = 2,6 \text{ MPa}$$

Výstupní tlak páry na mezi sytosti

$$p_{v2} = 2,6 \text{ MPa}$$

Obtékání podélné

Výhřevná plocha

Výpočet proveden dle vztahu (8-7) :

$$S_{vš} = 109,16 \text{ m}^2$$

Průtočný průřez spalin

Výpočet průřezu spalin je shodný s výpočtem dle vzorve (9-11) :

$$S_{Svš} = 17,18 \text{ m}^2$$

Počet paralelních trubek média

Dle výkresu je počet paralelních trubek media :

$$z_{vtrš} = 186 \text{ ks}$$

Ekvivalentní průřez spalin

Výpočet ekvivalentního průřezu spalin je shodný s výpočtem dle vzorce (9-12) :

$$d_{ekš} = 2,438 \text{ m}$$

Vnitřní průměr trubky

Výpočet vnitřního průměru trubky je shodný s výpočtem dle vztahu (9-10) :

$$d_{trš} = 0,052$$

Délka obtékání

Dle výkresu je délka obtékání :

$$l_{trš} = 6 \text{ m}$$

Příčná rozteč trubek

Dle výkresu je příčná rozteč trubek :

$$s_{1trš} = 0,470 \text{ m}$$

Podélná rozteč trubek

Dle výkresu je podélná rozteč trubek :

$$s_{2trš} = 0,085 \text{ m}$$

Vnější průměr trubky

Dle výkresu je vnější průměr trubky :

$$D_{trš} = 0,0603 \text{ m}$$

Obr. 9.12 Zadání údajů stěnového výparníku v oblasti šotů do matematického modelu kotle

9.11. Stěnový výparník v oblasti přehříváku páry PP II

Přísátí vzduchu ve výparníku v přehříváku páry PP II

Pro výparník v oblasti přehříváku páry PPII volím :

$$\alpha_{vPPII} = 0,0$$

Počet překřížení

Počet překřížení proudu spalin :

$$n_{vPPII} = 0$$

Sálavá tloušťka výparníku v oblasti přehříváku páry PP II

Výpočet sálavé tloušťky použiji vzorec (9-28) :

$$S_{vPPIIsal} = 3,6 \frac{(a_{vPPII} \cdot b_{vPPII} \cdot v_{vPPII}) - \left(l_{PPIIpuv} \cdot n_{vPPIIpuv} \cdot \frac{\pi \cdot D^2_{vPPIIpuv}}{4} \right)}{S_{vPPII}} \quad [m] \quad (9-28)$$

kde :	a_{vPPII}	šířka II tahu	[m]
	b_{vPPII}	hloubka II tahu	[m]
	v_{vPPII}	výška II tahu v oblasti přehříváku páry PPII	[m]
	$l_{PPIIpuv}$	- délka původního PPII	[m]
	$n_{trPPIIpuv}$	počet trubek PPII	[ks]
	$D_{trPPIIpuv}$	vřchní průměr trubky PPII	[m]
	$S_{PPIIpuv}$	výhřevná plocha v oblasti PPII	[m ²]

$a_{vPPII} = 3,65$ m rozměr dle výkresu kotle

$b_{vPPIIb} = 2,3$ m rozměr dle výkresu kotle

$v_{vPPII} = 1$ m rozměr dle výkresu kotle

$l_{PPIIpuv} = 3,65$ m rozměr dle výkresu kotle

$n_{trPPIIpuv} = 49$ m rozměr dle výkresu kotle

$D_{trPPIIpuv} = 0,038$ m rozměr dle výkresu kotle

$S_{vPPII} = 11,9$ – výpočet dle vztahu (8-12)

Po dosazení do vztahu (9-28) vypočtu sálavou tloušťku :

$$S_{vPPIIsal} = 3,6 \frac{(3,65 \cdot 2,3 \cdot 1) - \left(3,65 \cdot 49 \cdot \frac{\pi \cdot 0,038^2}{4} \right)}{11,9}$$

$$S_{vPPIIsal} = 2,47 \text{ m}$$

Součinitel zanesení

Dle literatury [5] je součinitel zanesení :

$$\xi_{vPPII} = 0,004 \text{ m.K.W}^{-1}$$

Sálání prázdných objemů

Sálání prázdných objemů se do matematického modelu dosazuje 0

Součinitel obtékání plochy

Dle literatury [5] je součinitel obtékání plochy :

$$\omega_{vPPII} = 1$$

Teplotní rozdíl mezi stěnou trubky a médiem

Zanedbávám teplotní rozdíl mezi teplotou stěny trubky a médiem

$$t = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Vstupní tlak vody na mezi sytosti

$$p_{v1} = 2,6 \text{ MPa}$$

Výstupní tlak páry na mezi sytosti

$$p_{v2} = 2,6 \text{ MPa}$$

Obtékání podélné**Výhřevná plocha**

Výpočet proveden dle vztahu (8-12) :

$$S_{vPPII} = 11,9 \text{ m}^2$$

Průtočný průřez spalin

Pro výpočet průřezu spalin použiji vzorec (9-29) :

$$S_{VPPII} = (a_{PPII} \cdot b_{PPII}) - (n_{trPPII} \cdot D_{trPPII} \cdot a_{PPII}) \quad [\text{m}^2] \quad (9-29)$$

kde : a_{PPII} šířka II tahu [m]

b_{PPII} hloubka II tahu [m]

n_{trPPII} počet trubek PPII po rekonstrukci [ks]

D_{trPPII} vrchní průměr trubky PPII po rekonstrukci [m]

$a_{PPII} = 3,65 \text{ m}$ dle výkresu kotle

$b_{PPII} = 2,3 \text{ m}$ dle výkresu kotle

$n_{trPPII} = 49 \text{ ks}$ dle výkresu kotle

$D_{trPPII} = 0,038 \text{ m}$ dle výkresu kotle

Po dosazení do vztahu (9-29) vypočtu průtočný průřez spalin :

$$S_{VPPII} = (3,65 \cdot 2,3) - (49 \cdot 0,038 \cdot 3,65)$$

$$S_{VPPII} = 1,599 \text{ m}^2$$

Počet paralelních trubek média

Dle výkresu je počet paralelních trubek media :

$$z_{trVPPII} = 104 \text{ ks}$$

Ekvivalentní průřez spalin

Pro výpočet ekvivalentního průřezu spalin použijí vzorec (9-30) :

$$d_{ekVPPII} = \frac{4 \cdot \left((a_{PPII} \cdot b_{PPII}) - (n_{trPPII} \cdot n_{trPPIIkř}) \cdot \frac{\pi \cdot D_{trPPII}^2}{4} \right)}{2 \cdot (a_{PPII} + b_{PPII}) + n_{trPPII} \cdot n_{trPPIIkř} \cdot \pi \cdot D_{trPPII}} \quad [\text{m}] \quad (9-30)$$

kde :	a_{PPII}	šířka II tahu	[m]
	b_{PPII}	hloubka II tahu	[m]
	n_{trPPII}	počet trubek PPII	[ks]
	$n_{trPPIIkř}$	počet křížení trubky spalin	[ks]
	D_{trPPII}	vrchní průměr trubky PPII	[m]

$$a_{PPII} = 3,65\text{m} \text{ dle výkresu kotle}$$

$$b_{PPII} = 2,3\text{m} \text{ dle výkresu kotle}$$

$$n_{trPPII} = 49 \text{ ks} \text{ dle výkresu kotle}$$

$$n_{trPPIIkř} = 4 \text{ ks} \text{ dle výkresu kotle}$$

$$D_{trPPII} = 0,038\text{m} \text{ dle výkresu kotle}$$

Po dosazení do vztahu (9-30) vypočtu ekvivalentní průřez spalin :

$$d_{ekPPII} = \frac{4 \cdot \left(3,65 \cdot 2,3 - 49 \cdot 4 \cdot \frac{\pi \cdot 0,038^2}{4} \right)}{2 \cdot (3,65 + 2,3) + 49 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 0,038}$$

$$d_{ekPPII} = 1,376 \text{ m}$$

Vnitřní průměr trubky

Výpočet vnitřního průměru trubky je shodný s výpočtem dle vztahu (9-19) :

$$d_{trVPPII} = 0,052 \text{ m}$$

Délka obtékání

Dle výkresu je délka obtékání :

$$l_{trVPPII} = 1 \text{ m}$$

Obr. 9.13 Zadání údajů stěnového výparníku v oblasti přehřívá páry PII do matematického modelu kotle

9.12. Stěnový výparník v oblasti přehříváku páry PP I

Přísátí vzduchu ve výparníku v oblasti přehříváku páry PPI

Pro výparník v oblasti přehříváku páry PPI volím :

$$\alpha_{v1PPI} = 0,0$$

Počet překřížení

Počet překřížení proudu spalin :

$$n_{v1PPI} = 0$$

Sálavá tloušťka výparníku v oblasti přehříváku páry PPI

Pro výpočet sálavé tloušťky použiji vzorec (9-31) :

$$S_{vPPIsal} = 3,6 \frac{(a_{vPPI} \cdot b_{vPPI} \cdot v_{vPPI}) - \left(l_{PPI} \cdot n_{vPPI} \cdot \frac{\pi \cdot D_{trPPI}^2}{4} \right)}{S_{vPPI}} \quad [m] \quad (9-31)$$

kde :	a_{vPPI} šířka II tahu	[m]
	b_{vPPI} hloubka II tahu	[m]
	v_{vPPI} výška II tahu v oblasti přehříváku páry PPI	[m]
	l_{PPI} délka přehříváku páry PPI	[m]
	n_{trPPI} počet trubek přehříváku páry PPI	[ks]
	D_{trPPI} vrchní průměr trubky PPI	[m]
	S_{PPI} výhřevná plocha v oblasti PPI	[m ²]

$a_{vPPI} = 3,65$ m rozměr dle výkresu kotle

$b_{vPPI} = 2,3$ m rozměr dle výkresu kotle

$v_{vPPI} = 1,5$ m rozměr dle výkresu kotle

$l_{PPI} = 3,65$ m rozměr dle výkresu kotle

$n_{trPPI} = 49$ m rozměr dle výkresu kotle

$D_{trPPI} = 0,038$ m rozměr dle výkresu kotle

$S_{vPPI} = 12,3$ – výpočet dle vztahu (8-14)

Po dosazení do vztahu (9-31) vypočtu sálavou tloušťku :

$$S_{vPPIsal} = 3,6 \frac{(3,65 \cdot 2,3 \cdot 1,5) - \left(3,65 \cdot 49 \cdot \frac{\pi \cdot 0,038^2}{4} \right)}{12,3}$$

$$S_{vPPIsal} = 3,57 \text{ m}$$

Součinitel zanesení

Dle literatury [5] je součinitel zanesení :

$$\xi_{vPPI} = 0,004 \text{ m.K.W}^{-1}$$

Sálání prázdných objemů

Sálání prázdných objemů se do matematického modelu dosazuje 0

Součinitel obtékání plochy

Dle literatury [5] je součinitel obtékání plochy :

$$\omega_{vPPI} = 1$$

Teplotní rozdíl mezi stěnou trubky a médiem

Zanedbávám teplotní rozdíl mezi teplotou stěny trubky a médiem

$$t = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Vstupní tlak vody na mezi sytosti

$$p_{v1} = 2,6 \text{ MPa}$$

Výstupní tlak páry na mezi sytosti

$$p_{v2} = 2,6 \text{ MPa}$$

Obtékání podélné

Výhřevná plocha

Výpočet proveden dle vztahu (8-14) :

$$S_{vPPI} = 12,3 \text{ m}^2$$

Průtočný průřez spalin

Výpočet průřezu spalin výparníku v oblasti PPI je stejné jako u PPII dle (9-29) :

$$S_{VPPI} = 1,599 \text{ m}^2$$

Počet paralelních trubek média

Dle výkresu je počet paralelních trubek média :

$$z_{trVPPII} = 104 \text{ ks}$$

Ekvivalentní průřez spalin

Pro výpočet ekvivalentního průřezu spalin použiji vzorec (9-32) :

$$d_{ekVPPI} = \frac{4 \cdot \left((a_{PPI} \cdot b_{PPI}) - (n_{trPPI} \cdot n_{trkPPIpř}) \cdot \frac{\pi \cdot D_{trPPI}^2}{4} \right)}{2 \cdot (a_{PPI} + b_{PPI}) + n_{trPPI} \cdot n_{trPPIpř} \cdot \pi \cdot D_{trPPI}} \quad [\text{m}] \quad (9-32)$$

kde :	a_{PPI}	šířka II tahu	[m]
	b_{PPI}	hloubka II tahu	[m]
	n_{trPPI}	počet trubek PPII po rekonstrukci	[ks]
	$n_{trPPIpř}$	počet křížení trubky spalini	[ks]
	D_{trPPI}	vřchní průměr trubky PPII po rekonstrukci	[m]

$$a_{PPI} = 3,65\text{m} \text{ dle výkresu kotle}$$

$$b_{PPI} = 2,3\text{m} \text{ dle výkresu kotle}$$

$$n_{trPPI} = 49 \text{ ks dle výkresu kotle}$$

$$n_{trPPIpř} = 8 \text{ ks dle výkresu kotle}$$

$$D_{trPPI} = 0,038\text{m} \text{ dle výkresu kotle}$$

Po dosazení do vztahu (9-32) vypočtu ekvivalentní průřez spalin :

$$d_{ekPPI} = \frac{4 \cdot \left(3,65 \cdot 2,3 - 49 \cdot 8 \cdot \frac{\pi \cdot 0,038^2}{4} \right)}{2 \cdot (3,65 + 2,3) + 49 \cdot 8 \cdot \pi \cdot 0,038}$$

$$d_{ekPPI} = 0,542 \text{ m}$$

Vnitřní průměr trubky

Výpočet vnitřního průměru trubky je shodný s výpočtem dle vztahu (9-19) :

$$d_{trVPPI} = 0,052$$

Délka obtékání

Dle výkresu je délka obtékání :

$$l_{trVPPI} = 1,5 \text{ m}$$

Obr. 9.14 Zadání údajů stěnového výparníku v oblasti přehřívá páry PI do matematického modelu kotle

9.13. Buben

Tlak páry v bubnu

Tlak páry v bubnu : :

$$p_{buben} = 2,3 \text{ MPa}$$

Odběr syté vody z bubnu

Výpočet množství odběru syté vody z bubnu se rovná množství odluhu z kotle dle vzorce (5-3) :

$$M_{sv} = 0,25 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Suchost odchozí páry

Pára odcházející z bubnu do přehříváku PPI a Doležalova kondenzátoru má suchost :

$$x = 1$$

Obr. 9.15 Zadání údajů bubnu
do matematického modelu kotle

9.14. Doležalův kondenzátor

Výhřevná plocha

Pro výpočet výhřevné plochy Doležalova kondenzátoru použijí vzorec (9-33) :

$$S_{DK} = 2 \cdot (l_{trDK} \cdot n_{trDK} \cdot \pi \cdot D_{trDK}) \quad [m^2] \quad (9-33)$$

kde : l_{trDK} délka trubky v kondenzátoru [m]
 n_{trDK} počet trubek v kondenzátoru [ks]
 D_{trDK} vrchní průměr trubky kondenzátoru [m]

$l_{trDK} = 4$ m rozměr dle výkresu kotle

$n_{trDK} = 9$ ks počet dle výkresu kotle

$D_{trDK} = 0,038$ m rozměr dle výkresu kotle

Po dosazení do vztahu (9-33) vypočtu výhřevnou plochu Doležalova kondenzátoru :

$$S_{DK} = 2 \cdot (4 \cdot 9 \cdot \pi \cdot 0,038)$$

$$S_{DK} = 8,595 \text{ m}^2$$

Vstupní tlak chladnějšího média

Vstupní tlak vody z EKA I : :

$$p_{1EKOI} = 2,8 \text{ MPa}$$

Vystupní tlak chladnějšího média

Vystupní tlak vody z Doležalova kondenzátoru do EKA II : :

$$p_{1EKOII} = 2,7 \text{ MPa}$$

Vstupní tlak teplejšího média

Vstupní tlak páry na mezi sytosti z bubnu : :

$$p_{1DK} = 2,3 \text{ MPa}$$

Vystupní tlak teplejšího média

Vystupní tlak vody z Doležalova kondenzátoru do vstříku VSI : :

$$p_{1VSI} = 2,3 \text{ MPa}$$

Průtočný průřez uvnitř trubek

Pro výpočet průtočného průřezu uvnitř trubek Doležalova kondenzátoru použijí vzorec (9-33) :

$$S_{pDK} = \frac{2 \cdot n_{trDK} \cdot \pi \cdot D_{strDK}^2}{4} \quad [\text{m}^2 \cdot] \quad (9-34)$$

kde: n_{trDK} počet trubek v kondenzátoru [ks]

D_{strDK} střední průměr trubky kondenzátoru [m]

$n_{trDK} = 9$ ks počet dle výkresu kotle

$D_{strDK} = 0,0364$ m rozměr dle výkresu kotle

Po dosazení do vztahu (3-34) vypočtu průřezu uvnitř trubek Doležalova kondenzátoru :

$$S_{pDK} = \frac{2 \cdot 9 \cdot \pi \cdot 0,0364^2}{4}$$

$$S_{pDK} = 0,0187 \text{ m}^2$$

Vnitřní průměr trubky

Vnitřního průměru trubky je dle výkresu :

$$d_{trDK} = 0,0348$$

Tloušťka stěny trubky

Tloušťka stěny trubky je dle výkresu :

$$t_{trDK} = 0,0016 \text{ m}$$

Ekvivalentní vnější průřez trubky

Pro výpočet ekvivalentního průřezu trubky spalín použiji vzorec (9-35) :

$$d_{ekDK} = \frac{4 \cdot \left(\frac{\pi \cdot D_{DK}^2}{4} - (2 \cdot n_{trDK}) \cdot \frac{\pi \cdot D_{trDK}^2}{4} \right)}{2 \cdot (\pi \cdot D_{DK}) + 2 \cdot n_{trDK} \pi \cdot D_{trDK}} \quad [\text{m}] \quad (9-35)$$

kde : n_{trDK} počet trubek v kondenzátoru [ks]

D_{trDK} vrchní průměr trubky kondenzátoru [m]

D_{DK} vnitřní průměr kondenzátoru [m]

$n_{trDK} = 9$ ks počet dle výkresu kotle

$D_{trDK} = 0,038$ m rozměr dle výkresu kotle

$D_{DK} = 0,345$ m rozměr dle výkresu kotle

Po dosazení do vztahu (9-35) vypočtu vnější průměr trubky :

$$d_{ekDK} = \frac{4 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 0,345^2}{4} - (2 \cdot 9) \cdot \frac{\pi \cdot 0,038^2}{4} \right)}{2 \cdot (\pi \cdot 0,345) + 2 \cdot 9 \pi \cdot 0,038}$$

$$d_{ekDK} = 0,067 \text{ m}$$

Průtočný průřez meziprostoru

Pro výpočet průtočného průřezu Doležalova kondenzátoru použiji vzorec (9-36) :

$$d_{DK} = \frac{\pi \cdot D_{DK}^2}{4} - (2 \cdot n_{trDK}) \cdot \frac{\pi \cdot D_{trDK}^2}{4} \quad [\text{m}] \quad (9-36)$$

kde : n_{trDK} počet trubek v kondenzátoru [ks]

D_{trDK} vrchní průměr trubky kondenzátoru [m]

D_{DK} vnitřní průměr kondenzátoru [m]

$n_{trDK} = 9$ ks počet dle výkresu kotle

$D_{trDK} = 0,038$ m rozměr dle výkresu kotle

$D_{DK} = 0,345$ m rozměr dle výkresu kotle

Po dosazení do vztahu (9-36) vypočtu vnější průměr trubky :

$$d_{DK} = \frac{\pi \cdot 0,345^2}{4} - (2,9) \cdot \frac{\pi \cdot 0,038^2}{4}$$

$$d_{DK} = 0,073 \text{ m}^2$$

Součinitel tepelné vodivosti kovů

Součinitel tepelné vodivosti ocele dle tabulek :

$$\lambda = 52,552 \text{ W} \cdot \text{m} \cdot \text{K}^{-1}$$

Jméno plochy: Doležalův kondenzátor

Chlazení plochy :
 kotlovou vodou napájecí vodou

Parametry plochy :

Výhřevná plocha [m²] : 8,595

Prostup tepla [W/m² °C] : 400,000

Vstupní tlak chladnějšího média [MPa] : 2,800

Výstupní tlak chladnějšího média [MPa] : 2,700

Vstupní tlak teplejšího média [MPa] : 2,30

Výstupní tlak teplejšího média [MPa] : 2,300

Výpočet prostupu tepla :

Průtočný průřez uvnitř trubek [m²] : 0,0187

Vnitřní průměr trubky [m] : 0,0348

Tloušťka stěny trubky [m] : 0,0016

Ekv. vnější průměr trubky [m] : 0,067

Průtočný průřez mezitr. prostoru [m²] : 0,073

Součinitel vodivosti kovu [W/mC] : 52,52

Součinitel využití plochy [m²] : 1,000

OK Zrušit

Obr. 9.16 Zadání údajů Doležalova kondenzátoru
do matematického modelu kotle

9.15. Okolí a ztráty kotle

Teplota okolí

Pro výpočet zadám srovnávací teplotu okolí :

$$t_{ok} = 25^{\circ}\text{C}$$

Poměr vlhkého a suchého vzduchu

Pro výpočet zadám součinitel respektující zvětšení objemu suchého vzduchu v důsledku vlhkosti :

$$\kappa_v = 1,016$$


Tlak spalin

Pro výpočet zadám srovnávací teplotu okolí :

$$p_{spal} = 0,098 MPa$$

Sálání prázdných objemů

Sálání prázdných objemů se do matematického modelu dosazuje 0



Obr. 9.17 Zadání údajů okolí a ztrát do matematického modelu kotle

Ztráty paliva

Ztráta hořlavinou ve spalinách

Výpočet je proveden dle vzorce (6-2) :

$$\xi_{CO} = 6,016 \cdot 10^{-4}$$

Ztráta hořlavinou v tuhých zbytcích

Výpočet je proveden dle vzorce (6-3) :

$$\xi_C = 0,051$$

Ztráta sáláním

Výpočet je proveden dle vzorce (6-9) :

$$\xi_{SV} = 7,251 \cdot 10^{-3}$$

Ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků

Výpočet je proveden dle vzorce (6-5) :

$$\xi_f = 3,760 \cdot 10^{-3}$$



Typ ztráty	Hodnota [%]
chemická	0,062
mechanická	5,1
sáláním	0,725
fyzická	0,376
jiná	0,000

Obr. 9.18 Zadání údajů ztrát spalování do matematického modelu kotle

9.16. Regulace teploty páry

Do matematického modelu musíme zadat regulaci teploty přehřáté páry. Jmenovitá výstupní teplota kotle K1 je 365°C.



Parametr	Hodnota
Místo regulace	za plochou
Přehřívák výstupní PPII	(102)
Regulovaná teplota [°C]	365
Regulovat	✓

Obr. 9.19 Zadání údajů pro regulaci vstřikem do matematického modelu kotle

9.17. Paralelní plochy

Do matematického modelu je nutno zadat, které plochy v modelu jsou hlavní a které paralelní k plochám hlavním. Hlavní plocha je zařazena do spalínového okruhu a paralelní nikoliv. V matematickém modelu zadávám tyto paralelní plochy k plochám hlavním.

Hlavní plocha – Výparné šoty

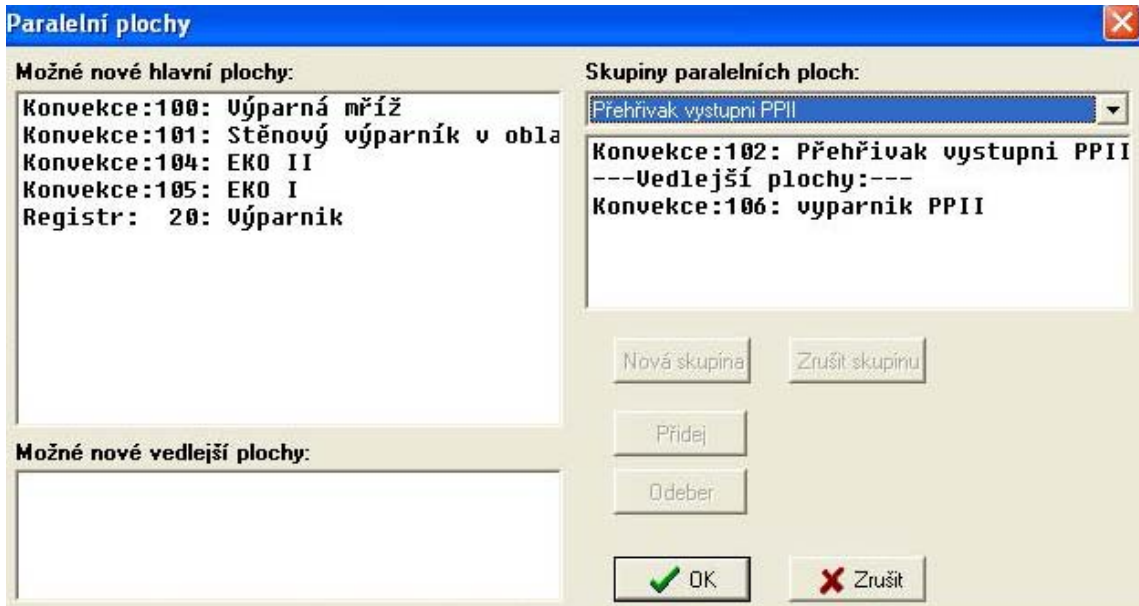
Paralelní plocha – Stěnový výparník v oblasti šotů



Obr. 9.20 Zadání údajů paralelní plochy výparnách šotů
do matematického modelu kotle

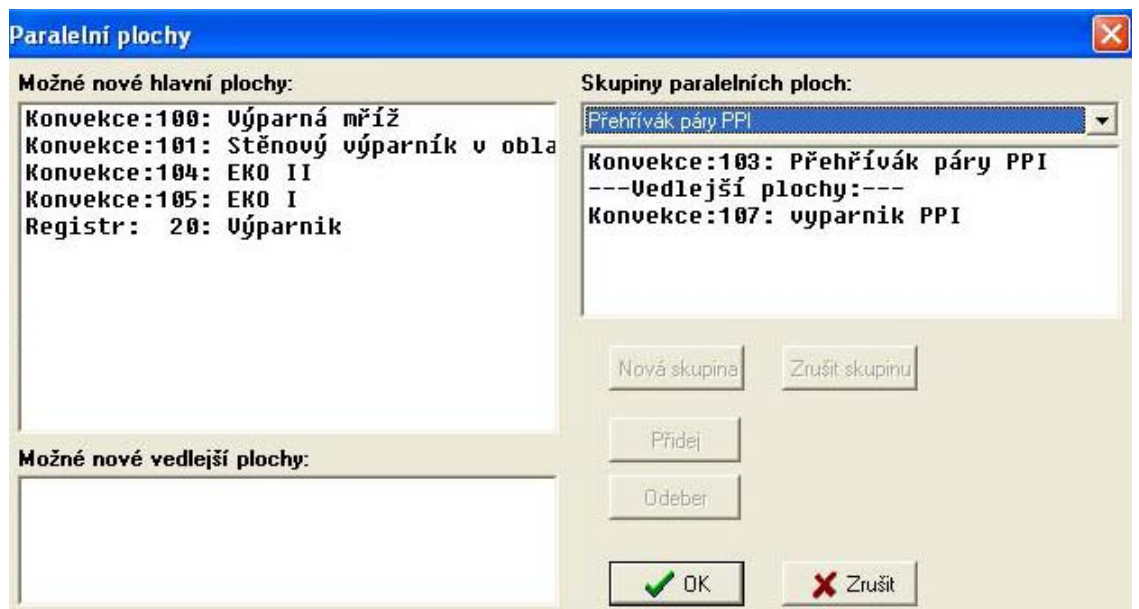
Hlavní plocha – Výstupní přehřívák PPII

Paralelní plocha – Stěnový výparník PPII



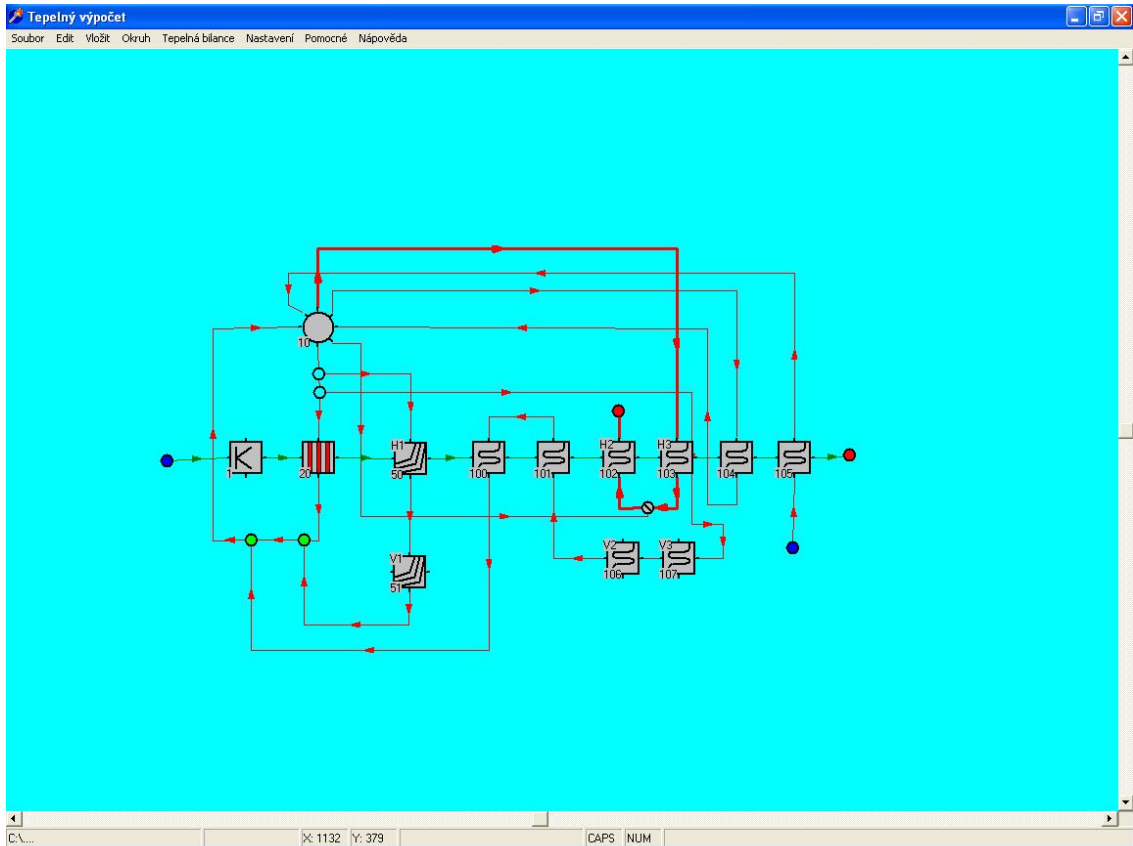
Obr. 9.21 Zadání údajů paralelní plochy přehříváku páry PPII do matematického modelu kotle

Hlavní plocha – Přehřívák páry PPI
 Paralelní plocha – Stěnový výparník PPI



Obr. 9.22 Zadání údajů paralelní plochy přehříváku páry PPI do matematického modelu kotle

9.18. Matematický model kotle v programu KOTEL 3.0



Obr. 9.23 Výpočtový matematický model kotle K1

10. Verifikace matematického modelu dle měření katedry energetiky

Po sestavení matematického modelu je provedena verifikace modelu podle měření katedry energetiky. Měření prováděla katedra energetiky před rekonstrukcí

(před navýšením teplosměnné plochy výstupního přehříváku páry PPII). Verifikace modelu je také provedena dle provozních měřících přístrojů kotle K1.

Verifikace - úprava matematického modelu kotle podle skutečného provozního stavu se hlavně týkala úpravy volitelných součinitelů. (zanesení výhřevných ploch, přísávání vzduchu v jednotlivých částech kotle, součinitel polohy maximální teploty plamene).

Sestavený matematický model, odpovídá skutečnému provoznímu stavu kotle.

11. Úprava matematického modelu pro tepelný výpočet kotle po rekonstrukci

Při rekonstrukci parního kotle IGNIFLUID K1, byla navýšena teplosměnná plocha výstupního přehříváku páry PPII s předpokladem, že touto úpravou dojde ke zvýšení výstupní teploty přehřáté páry z kotle. V důsledku vyšší vstupní teploty páry na lopatky protitlaké parní turbíny dojde k většímu entalpickému spádu v turbíně, která je v blokovém uspořádání s kotlem, a tím dojde k zvýšení účinnosti Rankin-Clausiova cyklu.

Při výměně výstupního přehříváku páry PPII, došlo pouze k navášení teplosměnné plochy, veškeré rozměry zůstaly zachovány. Proto v matematickém modelu kotle bylo nutné upravit pouze výhřevnou plochu.

Výpočet výhřevné plochy je proveden dle vztahu (8-11)

$$S_{PPIIrek} = 128,11 \text{ m}^2$$

12. Tepelné výpočty kotle při vybraných provozních stavech

12.1. Regulace parního kotle IGNIFLUID K1

Regulace výkonu parního kotle je provedena na konstantní tlak výstupní přehřáté páry. Regulace se provádí změnou množství spalovacího vzduchu (regulací reg. věnce vzduchového ventilátoru). Spalovací vzduch se ve vzduchovodu rozděluje na primární a sekundární. Regulace se provádí většinou pouze primárním vzduchem pomocí tzv. spřažených klapek, které jsou umístěny pod roštem kotle..Při snižování výkonu kotle dochází k uzavírání spřažených klapek. V důsledku poklesu množství primárního vzduchu, který je přiváděný pod rošt, dochází k poklesu tlakové diference fluidní vrstvy nad roštem (snížení výšky fluidní vrstvy). vrstvy. Při velkém poklesu tlakové diference hrozí, že dojde k zastavení fluidace částic paliva, a proto zároveň s regulací množství primárního vzduchu musí docházet i k regulaci přívodu množství paliva na rošt.

Teplota přehřáté páry se reguluje pomocí vstřiku vlastního kondenzátu. Část syté páry z bubnu je vedena do Doležalova kondenzátoru, kde dochází ke kondenzaci páry.

Kondenzát je veden potrubím k regulačnímu ventilu vstřiku a dále do zástřikové komory která je umístěna před výstupním přehřívákem páry PPII.

Při poklesu parního výkonu kotle dochází k regulaci množství napájecí vody.

12.2. Tepelné výpočty kotle K1

Po verifikaci matematického modelu jsou provedeny tepelné výpočty kotle při různých provozních stavech. V tab.12.1. jsou uvedeny některé vybrané výsledky z tepelných výpočtů kotle.

Ukazatel	Před rekonstrukcí 100% výkon kotle	Před rekonstrukcí 50% výkon kotle	Po rekonstrukci 100% výkon kotle	Po rekonstrukci 50% výkon kotle
Množství napájecí vody	46 t.h ⁻¹	24,3 t.h ⁻¹	46 t.h ⁻¹	24,3 t.h ⁻¹
Teplota napájecí vody	105 °C	105 °C	105 °C	105 °C
Tlak napájecí vody	2,8 MPa	2,8 MPa	2,8 MPa	2,8 MPa
Množství přehřáté páry	45 t.h ⁻¹	23,4 t.h ⁻¹	45 t.h ⁻¹	23,4 t.h ⁻¹
Výstupní teplota přehřáté páry	342°C	334°C	358°C	348°C
Tlak přehřáté páry	2,34 MPa	2,34 MPa	2,34 MPa	2,34 MPa
Výkon kotle	33,49 MW	17,36 MW	33,97 MW	17,57 MW
Teplota spalin na výstupu z kotle	169 °C	147 °C	166 °C	144 °C
Účinnost kotle	87,3%	85,2%	87,5%	85,4%

Tab.12.1 Výsledky tepelných výpočtů kotle K1

13. Závěr

Po sestavení a verifikaci matematického modelu kotle byly provedeny kontrolní tepelné výpočty. Tyto výpočty odpovídají různým provozním stavům kotle před i po navýšení teplosměnné plochy výstupního přehříváku páry. Výsledky prokázaly, že po navýšení teplosměnné plochy výstupního přehříváku páry dojde ke zvýšení výstupní teploty páry o 16 °C při 100% výkonu kotle a o 14°C při 50 % výkonu kotle.

Parní kotel pracuje v blokovém uspořádání s parní protitlakou turbínou. Parní protitlaká turbína má vstupní jmenovitou teplotu přehřáté páry 365°C. Zvýšením výstupní teploty páry z kotle dochází ke zvýšení účinnosti celého Rankinova-Clausiova cyklu.

Výsledky tepelného výpočtu potvrdily, že zvětšení teplosměnné plochy přehříváku bude mít příznivý vliv na provozní režim kotle. V další etapě by se dosažené parametry kotle měly ověřit novým ověřovacím měřením. Podle výsledků měření bude nutné znovu provést verifikace matematického modelu a to i s ohledem na skutečné spalované palivo.

14. Seznam použité literatury

- [1] VILIMEC L. *Stavba kotlů – I díl*. 2. přepracované a doplněné vydání, Skripta VŠB – TU Ostrava, 2001, 116 s. ISBN 80-248-0076-4
- [2] Vilimec L.. *Stavba kotlů – II díl*. 2. vyd. Skripta VŠB – TU Ostrava 2001, 151 s. ISBN 978-80-248-3604
- [3] BUDAJ F. *Parní kotle, Podklady pro tepelný výpočet*, 4. vyd.. Skripta VUT Brno, 1992, 200 s. ISBN 80-214-0426-4
- [4] DLOUHÝ T. *Výpočty kotlů a spalinových výměníků*, 2. vyd.. Skripta ČVUT, 2002, 212 s. ISBN 80-01-02591-8
- [5] ON 07 0417 *Tepelný výpočet parných kotlov, srpen 1984*
- [6] ON 07 0302 *TPřejímací zkoušky parních kotlů, říjen 1996*
- [7] Místní provozní předpis pro obsluhu parního kotle K1, prosinec 1998
- [8] *Dokumentace kotle K1*

15. Seznam příloh

1. Fotodokumentace rekonstrukce parního kotle
2. Schéma Pára – Voda č. výkresu UHE- 010-001
3. Schéma Vzduch – Spaliny č. výkresu UHE- 010-002
4. Model kotle K1 č. výkresu UHE- 010-003
5. Kotle K1 č. výkresu UHE- 010-004
6. Přehřívák páry PPII č. výkresu UHE- 010-005
7. Had 1 č. výkresu UHE- 010-005-01
8. CD