



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

NÁVRH KOTLE NA DŘEVNÍ ŠTĚPKU ZAPOJENÉHO V PLYNOVÉ KOTELNĚ

BIOMASS BOILER IN GAS HEATING PLANT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. DUŠAN ČERVEŇAK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ZDENĚK SKÁLA, CSc.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Dušan Červeňak

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Energetické inženýrství (2301T035)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh kotle na dřevní štěpku zapojeného v plynové kotelně

v anglickém jazyce:

Biomass boiler in gas heating plant

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhnout biomasový kotel jako zdroj tepla do plynové kotelny. Instalovaný výkon kotelny 10,4MW, topné medium TTV 105/65 C, max. provozní tlak systému 0,60 MPa.

Cíle diplomové práce:

provést rešerši možnosti instalace kotle na biomasu do plynové kotelny a navrhnout jeho optimální velikost vzhledem k provozním stavům kotelny během roku.

Seznam odborné literatury:

Budaj,F.: Parní kotle ,podklady pro tepelný výpočet,skriptum VUT v Brně,
Krbek,Polesný: Závěrečný projekt,skriptum VUT v Brně

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 22.11.2010

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce, se zabývá návrhem kotle na dřevní štěpku v plynové kotelně. Sestává z projekčního návrhu kotelny od návrhu vhodného tepelného zdroje až po návrh komponentů nezbytných pro správnou funkčnost kotelny. Součástí práce je sestavení funkčního schématu a návrh možného dispozičního řešení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kotelna, biomasa, štěpka, kotel, kogenerační jednotka, plyn, topný olej.

ABSTRACT

This thesis describes the design of boilers for wood chips in a gas boiler house. Consisting of boiler house design from concept design suitable heat source to design components necessary for the proper functionality of the boiler house. Part of thesis is compilation of a functional diagram and design of possible solutions.

KEYWORDS

Boiler room, biomass, wood chips, boiler, cogeneration units, gas, heating oil.



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČERVEŇAK, D. *Návrh kotle na dřevní štěpku zapojeného v plynové kotelně*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 71 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc..



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně. Veškerou literaturu a další zdroje, z nichž jsem při zpracování čerpal, v práci řádně cituji a jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Brně dne 15.3.2012

.....
Dušan ČERVENĚAK



PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat mému zaměstnavateli, že mi v mém pracovním volnu umožnit využívat software, techniku a podklady, bez kterých bych se nezaobešel při řešení této práce. Dále bych chtěl poděkovat všem, kteří se svými radami podíleli na vzniku této práce, všem kolegům a rodině. V neposlední řadě děkuji kolegovi Ing. Vladimírovi Skálovi a vedoucímu práce doc. Ing. Zdeňkovi Skálovi, CSc.

OBSAH

ÚVOD	17
1. ZÁKLADNÍ INFORMACE	19
1.1 Stávající stav kotelny K7	19
1.1.1 Hlavní údaje	19
1.1.2 Klimatické podmínky	20
1.1.3 Zdroje tepla	20
1.1.4 Odvod spalin	20
1.1.5 Větrání kotelny	20
1.1.6 Palivo	20
1.2 Návrh technologického schématu	21
1.3 Dispoziční návrh	23
2. PLYNOVÁ KOTELNA	25
2.1 Plynový kotel – K2.....	25
2.2 Kotel pro kombinovaný provoz – K3.....	27
2.3 Kogenerační jednotka - KJ.....	29
3. KOTELNA NA BIOMASU	35
3.1 Kotel.....	35
3.1.1 Popis.....	35
3.1.2. Technické údaje	37
3.2. Palivo.....	38
3.3. Kouřovody.....	41
3.4. Zabezpečovací zařízení	41
3.5. Pravidla nastavení kotle	42
4. ZDROJE TEPLA	45
4.1. Tepelný výkon.....	45
4.2 Teplo	45
5 SPOTŘEBA ŠTĚPKY	51
5.1 Roční spotřeba.....	51
5.2 Denní a hodinová spotřeba.....	51
6 SKLADOVÝ PROSTOR	53
6.1 Celkové skladové prostory	53
6.2 Denní zásobník paliva	53

7. HYDRAULICKÝ NÁVRH.....	55
7.1 Dimenzování potrubí	55
7.1.1 Pracovní tlak.....	55
7.1.2 Tlakové ztráty.....	56
7.1.3 Ztráta třením	57
7.1.4 Ztráta vřazenými odpory	57
7.2 Zabezpečovací zařízení.....	58
7.2.1 Expanzní zařízení	58
7.2.2 Pojistné zařízení	60
8. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	63
8.1 Investiční náklady	63
8.2 Stanovení provozních nákladů.....	63
8.3 Výnosy.....	64
8.4 Návratnost investice	64
ZÁVĚR.....	65
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	67
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	69
SEZNAM PŘÍLOH	71

ÚVOD

Při mé práci projektanta se setkávám se zajímavými projekty. Zkušenější kolegové zastávají názor, že skutečným projektantem se člověk stane až po několika letech na této pozici. Tato práce probíhá od prvotní myšlenky o stavbě či rekonstrukci, přes variantní řešení, studie až po vyhotovení projektu ve formě realizační dokumentace. Jeden z projektů mě zaujal natolik, že jsem se rozhodl řešit ho v mé diplomové práci. Mým cílem bylo nastudovat podklady investora a navrhnout vhodné řešení. Abych mohl začít s návrhem, bylo zapotřebí nastudovat velké množství podkladu, norem, knih a skript. V dnešní době softwarů nespočívá projekční práce převážně v komplikovaných výpočtech. Než se člověk vybuduje na určitou úroveň, musí se věnovat studiím informací, se kterými by se mohl setkat, nebo které by mohli při projektování pomoci. Prakticky většina návrhu zařízení, či už stavebního nebo strojního, se musí řídit normou. Norma v podstatě není závazná, ale přesně stanovuje požadované vlastnosti, tvar nebo způsob a postup práce. Pokud by nastal problém způsoben projekční chybou, projektant by musel odůvodnit, proč se neřídil danou normou. Normy vychází z dlouholetých zkušeností a měření. I když nejsou závazné, všichni se nimi řídíme. Práce projektanta teda nejsou převážně výpočty, ale získávání informací. I zde platí, že nejvíce se člověk naučí praxí.

Cílem projektu řešeného touto diplomovou prací je modernizace a zvýšení ekonomiky provozu tepelného zdroje. Z těchto důvodů se investor rozhodl přistoupit k instalaci nového tepelného zdroje v souladu s nejnovější dostupnou technologií. Účelem užívání stavby je zásobování bytových objektů a nebytových objektů teplem v přílehlém okolí kotelny. Součástí tepelného zdroje je kombinovaná výroba elektrické energie a tepla. Vyrobena elektrická energie je dodávána do rozvodné sítě.

V současné době se v kotelně nachází 4 kotle a 2 kogenerační jednotky. Podrobnosti o současném stavu jsou v části 1.1 – Stávající stav kotelny K7. V novém návrhu nahradí dva z plynových kotlů jeden kotel na biomasu. Jedna z kogeneračních jednotek bude demontována a druhá přemístěna do plynové kotelny. Přílehlá uhelna se přestaví na sklad bio paliva. Přáním investora je, aby byl kotel na štěpku využíván co nejvíce. Provoz kotelny bude automatický.

Tato práce přiblíží projekční práci při navrhování tepelného zdroje. V tomto případě kotle na biopalivo. Práce začíná projednáním dispozičního a technického řešení. Návrh typu a druhu zdroje a zapojení do soustavy. Po zjištění potřebného tepla se určí potřebný výkon kotelny. Na tento výkon byl určen a poptán kotel a zařízení pro přísun potřebného množství paliva. Pokud známe výkony jednotlivých úseků, dokážeme navrhnout veškeré dimenze potrubí a navrhnout vhodné armatury. Abychom mohli navrhnout čerpadla, musíme pro jednotlivé úseky s různými dimenzemi vypočítat tlakové ztráty. Jako další se navrhne zabezpečovací zařízení. Na závěr bude ekonomické zhodnocení.

1. ZÁKLADNÍ INFORMACE

Kotelna je technické zařízení pro tvorbu tepla pro vytápění soustavy. Zdrojem tepla jsou paliva – pevné, kapalné a plynné. Spalováním se z nich uvolňuje teplo, za vzniku doprovodných zplodin hoření negativně ovlivňujících životní prostředí. Při výrobě tepla se formuje řada projekčních a realizačních složek. Patří k nim zejména:

- kotle – konstrukce, tepelná účinnost
- paliva – spalování, skladování, spotřeba
- odtahy zplodin, komíny, kouřovody
- větrání, přívod spalovacího vzduchu, eliminace tepelných zisků
- technické zázemí kotelen, prostorové řešení
- provoz, regulace, zabezpečení
- ekologie
- ekonomie [1]

Tabulka č.1: Spotřeby plynu

Kotelna	Nízkotlaká	Středotlaká
Tepelný výkon	0,05 až 3,5 MW	nad 3,5 MW
Umístění	vytápěná budova nebo samostatný objekt	od 0,05 MW
Topné médium	teplá voda do 115°C	nad 0,07 MPa
	pára o přetlaku do 0,07 MPa	
Druh paliva	plynné, kapalné, tuhé	

Zdroj: Cihlář, J. Technická zařízení budov. 1998

Než začne samotný návrh, je potřebné zjistit co nejvíce informací o zařízení, které bude předmětem našeho projekčního řešení. Každá informace, i ta která se zdá být z počátku zbytečná, může časem pomoci ke správnému návrhu. Veškeré informace a podklady z pravidla získáváme od investora. Je vhodné si tuto skutečnost zajistit smluvně. Špatné podklady z pravidla vedou k nesprávnému návrhu a tím ztrátě investičních peněz.

1.1 Stávající stav kotelny K7

Stávající kotelna zásobuje teplem obytné domy sousedního sídliště. V současné době se zde nachází čtyři plynové kotle a dvě kogenerační jednotky. V prostorách plynové kotelny se také nachází oběhová čerpadla, která jsou navržena dle parametrů soustavy, proto se těmito čerpadly nebudeme v dalším návrhu zabývat. Dále kotelna obsahuje expanzní zařízení a úpravnu vody. Jako ochrana proti zamrznutí, slouží tepelné jednotky – Sahary. Stejně jako vytápění kotelny jsou napájeny z rozdělovače.

Soustava v kotelně je dvoutrubková souproudá, v literatuře také uváděna jako tichlemanská. Výhodou tohoto zapojení je téměř stejná tlaková ztráta pro všechny spotřebiče nebo zdroje. V současnosti se tyto soustavy staví jen zřídkavě. Jelikož se jedná o rekonstrukci, budeme se snažit způsob napojení ponechat.

1.1.1 Hlavní údaje

Instalovaný výkon:	10,4 MW
Topné médium:	teplá topná voda (TTV) 110/65 °C
Provozní tlak systému:	min. 0,3 MPa

1.1.2 Klimatické podmínky

Místo	ul. U Hřbitova 21, Jihlava
Krajinná oblast	bez intenzivních větrů
Poloha	nechráněná
Vnější oblastní výpočtová teplota pro ČR	t_e -15 °C
Prům. venkovní teplota v topném období pro ČR	t_{es} +3,5 °C
Počet dnů v topném období pro ČR	257 dnů
Nadmořská výška pro objekt	516 m n. m.

1.1.3 Zdroje tepla

- Čtyři plynové teplovodní kotle VSP 4, výrobce Slatina Brno. Parametry kotlů 110/65 °C, s hořákem APH 45 PZ o tepelném výkonu cca 2700 kW
- Kogenerační jednotka TEDOM 260 CAT, tepelný výkon 372 kW, elektr. výkon 260 kW (74,3 m³/h plynu)
- Kogenerační jednotka TEDOM T160 SP, tepelný výkon 236 kW, elektr. výkon 160 kW (48m³/h plynu)

1.1.4 Odvod spalin

Z plynových kotlů jsou spaliny odváděny kouřovody nad podlahou do společného komína. Odtahové ventilátory včetně odlučovačů jsou umístěny mezi kotelnou a komínovým tělesem. Komín je zděný, výšky 39 m, vyvložkován nerezovou vložkou Ø 0,9 m. Na kouřovodech jednotlivých plynových kotlů jsou osazeny spalinové výměníky Vacakube.

Spaliny od kogeneračních jednotek jsou vedeny samostatnými kouřovody nad střechu kotelny. Výška komínů od KJ je cca 12 m.

1.1.5 Větrání kotelny

Větrání prostoru plynové kotelny je šestinásobné za hodinu a je provedeno neuzavíratelnými otvory. Pro zajištění účinného větrání v zimním období a pro zajištění teploty v prostoru kotelny min. 5–10 °C jsou osazeny vodní vytápěcí jednotky.

VZT jednotky jsou napojeny na topnou vodu samostatnou větví s vlastním oběhovým čerpadlem.

1.1.6 Palivo

V současnosti se k získávání tepla využívá spalování zemního plynu v instalovaných plynových spotřebičích. Výhřevnost paliva je 32,4 MJ/m³. V tabulce č.2 jsou zobrazeny spotřeby kotelny.

Tabulka č.2: Spotřeby plynu

Zařízení	Spotřeba	Počet zařízení v kotelně
Plynový kotel 2,5 MW	300 m ³ /h	4 ks
Kogenerační jednotka TEDOM 260 CAT	74 m ³ /h	1 ks
Kogenerační jednotka TEDOM T160 SP	48 m ³ /h	1 ks
Maximální hodinová spotřeba plynu	722 m ³ /h	

Zdroj: zpracováno autorem

Návrh kotelny má několik fází. Z těch podstatných je to navržení kotlů, navržení prostorové řešení včetně únikových a obslužných komunikací – návrh dispozice,

vyřešení palivového hospodářství a spalinových cest, návrh regulace a výpočet paliva. Potřebný tepelný výkon a druh paliva jsou výchozí pro návrh kotelny. Přehled použitých paliv v tomto návrhu je v tabulce č.3.

Tabulka č.3: Vlastnosti paliv

Charakteristické veličiny	Palivo	Zemní plyn	ELTO	Dřevní štěpka
Hustota při teplotě 20°C	(kg.m ⁻³)	0,72	860	-
Výhřevnost	(MJ.kg ⁻³)	-	42	8
Výhřevnost	(MJ.m ⁻³)	32,4	-	-
Obsah popele	% z hm.	-	0,01	max 3

Zdroj: Cihlář, J. Technická zařízení budov. 1998

1.2 Návrh technologického schématu

V našem případě se bude jednat o teplovodní kotelnu s kombinovanou výrobou elektrické energie a tepla. Jako primární zdroj tepla bude sloužit teplovodní kotel na spalování dřevní štěpky a jedna ze stávajících kogeneračních jednotek pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla, jako sekundární zdroj budou sloužit dva stávající plynové kotle, přičemž jeden bude osazen novým kombinovaným hořákem (zemní plyn a ELTO). Během stavby kotelny bude v provozu jeden plynový kotel v provozu a kotel s vyměněným hořákem, který bude využíván jako studená rezerva a jako pojistka proti překročení špiček odběru zemního plynu. Kotelna je umístěná v samostatném objektu a k odběratelům bude teplo dodáno horkovodním potrubím. Můžeme ji rozdělit na dvě hlavní části. Na plynovou kotelnu, ve které bude umístěná kogenerační jednotka a dva plynové kotle a na biomasovou kotelnu. Součástí biomasové kotelny bude také prostorná hala se zásobníkem paliva.

V návrhu schématu se budu odkazovat na schéma, které je součástí diplomové práce v příloze C. Hodnoty v závorkách značí poziční čísla a označení ve výkresu.

Při návrhu budeme vycházet ze skutečnosti, že plynové kotle K2 a K3 (2) zůstávají na původním místě. Výstupní potrubí je vedeno do sběrače, vstupní do rozdělovače. Jelikož nám dispoziční řešení neumožňuje jiné řešení, kogenerační jednotku umístíme vedle plynového kotle K3 (2) s kombinovaným hořákem (4). Z pohledu výstupního potrubí umístíme biomasový kotel K1 na začátek soustavy.

Biopalivo (dřevní štěpka) se bude z denního zásobníku sypat pomocí vyhrnovače (Hv10) na zavážecí lis (Zl08). Po vstupu paliva do kotle dochází k jeho spalování a ohřívání vody na 100 °C. Popel vznikající při spalování a popílek zachycen v ekonomizéru a multicyklonu, bude soustavou dopravníku vyveden do kontejnerů.

Výstupní potrubí z kotle K1 s teplou topnou vodou je vedeno do rozdělovače, odkud je TTV rozděleno a pomocí stávajících čerpadel čerpáno do větví. Po trase z kotle K1 se připojují výstupy z plynového kotle (K2), kotle s kombinovaným hořákem (K3) a kogenerační jednotky (KG). Na výstupech jsou navrženy klapky s elektrickým pohonem a dálkovým ovládním. V případě jakékoliv potřeby odstavit kotel, bude armatura uzavřena. S připojovanými větvemi narůstá výkon, který je potřebný potrubím odčerpát do rozdělovače. Musíme proto zvolit vhodnou dimenzi potrubí. Dimenzování potrubí bude objasněno v části 7.1. Při změně dimenze potrubí budou použité potrubní přechody a t-kusy s nestejnými hrdly. Prvotní návrh technologického schématu probíhá nejdřív bez návrhu dimenzí. Ty se volí po tom, co zjistíme výkony jednotlivých větví, k čemu je potřebné znát výkony všech zdrojů.

Poté, co odevzdáme teplo soustavě, vrací se nám voda ze sítě z rozvodů do sběrače. Z něj proudí voda ke kotli K1. Ke každému kotli a kogenerační jednotce je

vyvedena odbočka. Výtlačná čerpadla (7) jsou navržena na tlakovou ztrátu soustavy za kotelnou, tak aby nasála kapalinu z rozdělovačů, protlačila vodu celou sítí zpět do sběračů. Abychom dostali vodu od kotle K1, musíme umístit čerpadlo na zpátečku před vstupem do K1. Jedna z možností by byla také umístit čerpadlo na výstupní potrubí z kotle. Teplota vody by ale snižovala životnost čerpadla. Z tohoto důvodu výrobce doporučuje umístění na vratném potrubí. Čerpadlo pro kotel K1 (10) je dimenzováno na trasu od K1 po rozdělovač, kdežto čerpadla plynových kotlů (6) a kogenerační jednotky (9) jsou dimenzovány pouze pro odbočky z hlavního potrubí. Do tras pro dimenzování potrubí je zahrnuté jak přívodní, tak i vratné potrubí. Navrhuje se pro okruh. Abychom zabránili vstupu nečistot do čerpadla a zabránili tím jeho poškození, z pravidla umísťujeme před čerpadlo filtr. Před a za čerpadlo se umísťují uzavírací armatury. Důvodem je uzavření přívodu vody při sepisování nebo výměně čerpadla. V našem případě uzavírací armaturu umístíme na začátek každé odbočky ke kotli nebo kogenerační jednotce. Investor si přeje umístit, na vratné potrubí před vstupem do zdroje, měřič tepla. Umístění uzavírací armatury nám umožní uzavřít přívod vody při revizi, výměně nebo servisu měřiče bez nutnosti vypouštět větší část okruhu kotelny. Poslední armaturou na vratném potrubí odbočky ke kotlům je třicestný regulační ventil (10, 11). Ten je potrubím propojen s výstupním potrubím z kotle. Tato regulační armatura má za úkol namíchávat teplou vodu do vratného potrubí, abychom dostali požadovanou teplotu vody, která vstupuje do kotle. Z vratného potrubí před kotli jsou vyvedena odbočky k ekonomizérům. Ekonomizér je výměník spaliny/voda, který napomáhá zvyšovat účinnost kotle. Pro tyto odbočky jsou navržena zvlášť čerpadla. Filtr sem už neumísťujeme, protože voda bude přefiltrována z hlavní odbočky. Na každé zařízení, či už na kotli nebo ekonomizéru se musí nainstalovat pojistný ventil.

Dalším okruhem v soustavě je chladicí okruh. V kotelně K7 budou zapotřebí dva. Jeden, ten jednodušší, je pro kogenerační jednotku. Pro tento okruh jsme navrhli čerpadlo, které jsme navrhovali s přihlédnutím na tlakovou ztrátu způsobenou chladičem a okruhem v kogenerační jednotce. V okruhu jsou dále navrženy uzavírací armatura, pojistný ventil a expanzní zařízení. Další chladicí okruh bude pro kotel K1. Byl navržen dle standard výrobce kotle, firmy TTS. Na rozdíl od chlazení kogenerační jednotky, zde voda necirkuluje. Jedná se o nouzové chlazení. K okruhu byla navržena požární nádrž, ke které je vyvedeno potrubí z výměníku nouzového chlazení (Ch29). Ten je napojen na všechna důležité části štěpkového kotle. Je napojen na potrubí studené vody. Ze stejného potrubí je také navržen hasicí systém lisu, dopravníku a hubice. Kvůli malému prostoru v kotelně, musela být hasicí nádrž umístěna mimo prostory kotelny. Musel jsem proto vyřešit problém se zamrznutím vody v nádrži. Problém byl vyřešen nainstalováním potrubí z hlavního systému, které se nachází nedaleko.

Do systému je zapotřebí doplňovat vodu. Aby byla dodržena životnost zařízení, byla na hlavní potrubí studené vody navržena automatická úpravna vody. Za ní je navržen solenoidový ventil, který udržuje diferenční tlak. Za úpravnou je navrženo nové expanzní zařízení.

Posledním navrhovaným okruhem je okruh extralehkého topného oleje. Olej bude uskladňován v nádrži. Z ní budou vyvedena dvě potrubí. Jedno povede do stáčecí místnosti, druhé k hořáku na kotli K3. Na potrubí k hořáku je navržen elektroventil. Ten bude propojen s hořákem tak, aby se při zapnutí hořáku ventil otevřel. Tím zabráníme vytečení oleje z nádrže při poruchách těsnosti v prostorách kotelny. Při realizaci se do schématu přidala nádrž, která je těsně u hořáku. Pomocí této malé nádrže se napouští olej do hořáku a potrubí. Čerpadlo, které se nachází v kombinovaném hořáku nemůže

mít suchý chod. Potrubí v stáčecí místnosti bude osazeno koncovkou dle dodavatele ELTO, zpětnou klapkou, uzavíracími armaturami a filtrem.

Mimo potrubí je zapotřebí do schématu kotelny zakreslit kouřovody. Ty vychází z ekonomizérů a budou osazeny klapkou s elektrickým pohonem. Kouřovody jsou svedeny do společného komínu. V kotelně se nachází dva ventilátory (primární a sekundární). Oba jsou umístěny na kotli K1.

Ve schématu nesmí chybět dimenze potrubí, šípky toku média ani schématické rozlišení typu armatur. V posledních letech, hlavně ve vyšší energetice, je přáním investora zpracovat do schématu kódování KKS.

KKS je systémovým nástrojem pro naplnění platných norem ČSN (EN, IEC a ISO) pro zhotovení dokumentace v oblasti energetiky, elektrotechniky, stavebnictví, strojní technologie, jejich řídicích a informačních systémů v souladu se směrnicemi EU, čímž zasahuje do všech oblastí od projektování, přes údržbu až po likvidaci zařízení. Elektrárenským a energetickým kódovacím systémem KKS jsou označována zařízení a jejich části, přístroje všech druhů podle jejich vykonávané funkce včetně jejich umístění v objektech a polohy v napájecích a řídicích skříních. Označení zařízení je následně efektivně využíváno při všech činnostech na zařízení, od plánování investic, odpisování, provozu, řízení, údržbě, co přináší podstatné organizační i ekonomické zefektivnění těchto činností. [6]

Po zhotovení schématu se provedla několikanásobná kontrola s dispozicí. Doplnilo se odvodušnění na nejvyšších místech jednotlivých úsecích a vypuštění v nejnižších. Umístění zařízení, stejně jako délky potrubí ve schématu, neodpovídají skutečnosti. Znamená to, že delší čára ve schématu může být ve skutečnosti kratší potrubí než potrubí nakresleno ve schématu kratší čárou.

1.3 Dispoziční návrh

Při dispozičním návrhu je potřebné myslet na montážní a obslužný prostor v okolí zařízení a potrubí. Obsluha se musí bez ohrožení na zdraví nebo jakýchkoliv jiných problémů dostat k veškerým armaturám, čerpadlům, apod.

Při návrhu potrubních tras bereme v úvahu izolaci potrubí. Potrubí vedená u sebe, je potřebné navrhnout dispozičně tak, aby si izolace navzájem nepřekážely a montážní pracovník neměl problémy s jejich instalací. Každé potrubí bude viset v závěsu nebo bude položeno na konzole. Trasu potrubí proto volíme tak, abychom ho mohli efektivně uložit. Veškeré uložení, hlavně těžších prvků uložených do stropu, musí být projednáno se statikem. Abychom využili uložení pro více potrubí najednou, je vhodné vézt více potrubí stejnou trasou. Pro potrubí topné vody jsou nejvhodnější izolace z kamenné vlny opatřeny hliníkovou fólií nebo pozinkovaným plechem. Pro větší odolnost jsou pro kotelnu K7 navrženy izolace opatřené pozinkovaným plechem.

Veškeré armatury a ovládací prvky musí být přístupné. Z pravidla se umísťují maximálně 1,8m nad podlahou nebo pochozí plošinou. Také měřidla musí být nainstalovány tak, aby byli viditelné. Pokud bylo nutné umístit budík teploměru nebo manometru do vyšší výšky, musí se instalovat větší budík a naklonit směrem dolů tak aby byl viditelný. Těžší čerpadla budou umístěna na betonovém základě.

Návrh dispozice kotelny vychází z dříve navrženého schématu. Pokud je to možné, stávající zařízení ponecháme na svém místě. Ušetříme tím náklady za demontáž a následné umístění na nové místo. V případě kotelny K7 jsou to plynové kotle. Jelikož je kogenerační jednotka dle schématu napojená do hlavního potrubí vedle potrubí vedené z plynových kotlů, přemístí se kogenerace vedle nich. Získáme tím místo pro štěpkový kotel. Dále zůstane na svém místě rozdělovač a sběrač. Hlavní potrubí, jak přívodu, tak zátečky, je vedeno po severní zdi kotelny až ke kotli K1. Po trase jsou

napojeny plynové kotle (2) a kogenerační jednotka (3). Sestava potrubí plynových kotlů (filtr, armatury a čerpadlo (6)) je umíněna vedle kotle. Hlavní vedení pokračuje vstupem zdi do štěpkové kotelny. S potrubím je potřebné klesnout k podlaze, abychom mohli umístit kotlové čerpadlo (10). Třicestný ventil (5) je umístěn tak, aby mohl být obsluhován z pochozí plošiny, která je navržena pro ventilátor a ekonomizér. Za čerpadlem bude namontována odbočka, která povede do ekonomizéru. Z toho důvodu bylo vhodné umístit ho do prostoru mezi čerpadlem (10) a štěpkovým kotlem.

Jelikož počítáme s tím, že sklad paliva bude v bývalé uhelně, umístíme kotel na štěpku tak, aby byl vstup paliva co nejbližší. Prostor kolem kotle musí být průchozí, proto jej neumístujeme ke zdi. V zbylé části budou umístěné dopravníky. Kvůli malému prostoru se musí vybudovat přístavek pro dva kontejnery pro popel. Přístavek současně poslouží jako podpěra pro kouřovod vedoucí z K1 do komína.

Studenou vodu potřebnou pro chlazení kotle a požární ochranu musíme přivést z hlavního potrubí studené vody. Potrubí bude vedeno jižní stranou. Bude ukotvené v konzolách. V prostorech vedle dveří, které slouží pro vstup do velínu, bude potrubí svedeno dolů. Zde budou umístěny armatury a potrubí se rozdělí na potrubí pro chlazení a suchovod, který bude pokračovat do skladu paliva. Sklad paliva nebude vytápěn. Pokud by byla v potrubí voda, hrozilo by její zamrznutí. Z toho důvodu pokračujeme dál prázdným potrubím, čili suchovodem. V místě shrnovače bude umístěn hydrant s mapou. V případě požáru obsluha nejdříve otevře kulový kohout v kotelně, tím naplní suchovod vodou, která bude připravena na případné hašení.

Na severní straně bude umístěna požární nádrž. Aby v ní voda v zimě nezamrzla, je do ní přivedeno měděné potrubí s horkou vodou. Vedle nádrže bude místnost s nádrží na extralehký topný olej a malá stáčení místnost s přípojkou na cisternu.

V nejvyšších místech bude potrubí odvzdušněno nádržkou, z které povede potrubí k podlaze. Na konci potrubí bude navařen kulový kohout.

Výkres dispozice kotelny se nachází v příloze D.

2. PLYNOVÁ KOTELNA

Plynové kotle jsou zpravidla monoblokové zařízení. Sestává ze spalovací komory, teplosměnné plochy, hořáku. Jeho nedílnou součástí je také zabezpečovací zařízení a odvod spalin – kouřovod. Dle ČSN 38 6441 je plynový kotel do výkonu 50 kW považuje za spotřebič. Pro kotelny se jmenovitým tepelným výkonem alespoň jednoho kotle 50 kW a větším platí obecně specializovaná norma ČSN 07 0703. Dělí plynové kotelny do tří kategorií podle jmenovitých tepelných výkonů kotlů:

- Kotelny III. kategorie* - s jmenovitým výkonem alespoň jednoho kotle od 50 kW do součtu jmenovitých tepelných výkonů kotlů 0,5 MW,
- Kotelny II. kategorie* - se součtem jmenovitých výkonů kotlů nad 0,5 MW do 3,5 MW,
- Kotelny I. kategorie* - se součtem jmenovitých výkonů kotlů nad 3,5 MW.

Pro všechny kategorie platí různé požadavky na umístění zařízení, zejména kotlů, na zajištění větrání prostoru kotelny a zařízení zabezpečení. Smyslem těchto požadavků je aktivní zabezpečení plynových kotelů hlavně proti nebezpečí výbuchu a zajištění bezpečnosti práce obsluhy kotelny. Obecně jsou na plynové kotelny kladeny tyto požadavky: [2]

- max. provozní přetlak přívodu plynu 0,3 MPa
- bezpečnostní vypínání přívodu elektrické energie do automatiky hořáku u vstupu do kotelny
- ručně uzavíratelný hlavní uzávěr plynu mimo kotelnu
- dálkově ovladatelný uzávěr plynu
- kontinuální indikátory plynu s vazbou na uzavření přívodu plynu
- přerušení přívodu plynu do hořáku při zhasnutí plamene a dalších havarijních stavech
- 100 % kontrola svarů plynové části

2.1 Plynový kotel – K2

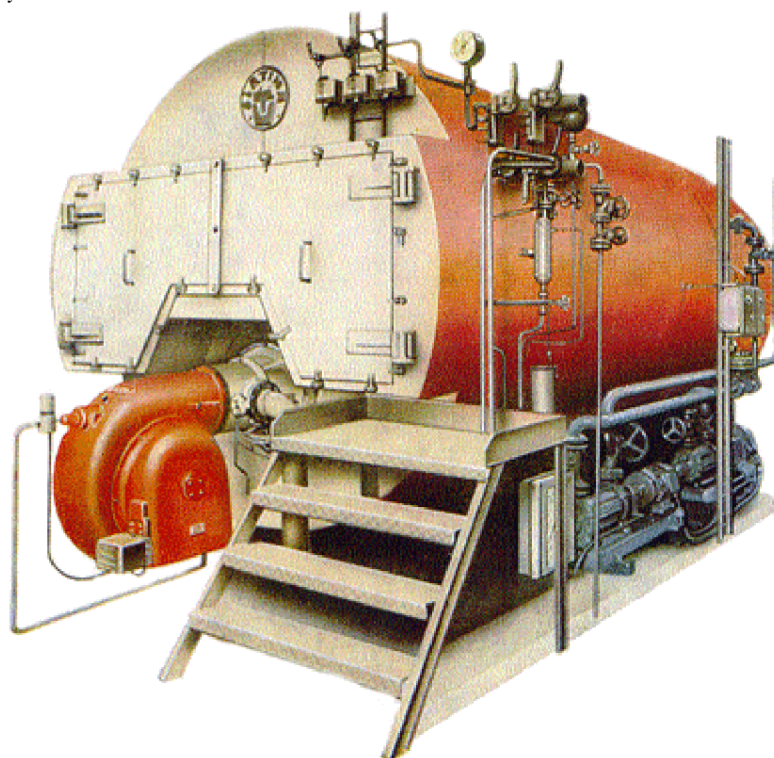
Kotelna K7 spadá do I. Kategorie, nachází se zde dva kotle, každý s výkonem 2700 kW. Kotelna v této kategorii může být v samostatném objektu, části objektu nebo skříni. Plynové kotle musí mít samostatnou přípojku plynu. Z toho důvodu musíme pro kogenerační jednotku, s kterou se dispozičně uvažuje ve stejné části kotelny, zhotovit novou samostatnou plynovou přípojku. [2]

V kotelně jsou osazeny plynové kotle s přetlakovým hořákem. Tento typ kotlů se liší především provedením výměníku. Rozlišují se dva základní typy:

- kotle litinové smontované ze speciálně tvarovaných článků, které vytvářejí jak spalovací komoru, tak i dochlazovací tahy, vyrábějí se do výkonu cca 1 MW
- kotle plamencové žárotrubné, tj. s ocelovou válcovou spalovací komorou s ocelovými žárovými trubkami pro dochlazení spalin.

Kotelna v Jihlavě obsahuje kotle žárotrubné - obrázek č. 1. Do čela kotle, které je tvořeno nechlazenými vraty, se montuje monoblokový přetlakový hořák. Běžná je možnost alternativní instalace olejového hořáku. Plamencové kotle jsou častější především pro svoji nižší cenu. Celý plášť kotle s výjimkou plamence a žárových trubek je zaplněn vodou, tudíž vodní obsah těchto kotlů je výrazně větší než u předchozích typů. Hovoří se proto o velkoprostorových kotlích. [2]

Obrázek č.1: Plynový kotel Slatina VSP 4



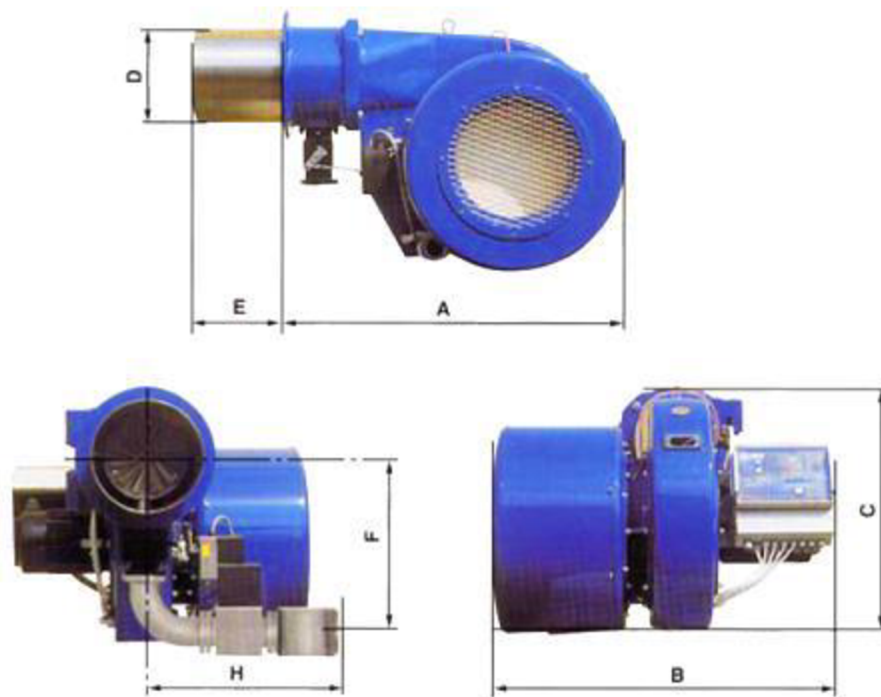
Zdroj: <http://www.slatinankz.cz> [12.5.2012]

Pro výraznější snížení teploty spalin odváděných do komína a zvyšování účinnosti kotle jsou navrhovány samostatné výměníky připojené na kouřovod za kotlem. Ohřívá se v nich napájecí (vratná) voda. Označujeme je jako ekonomizéry. Jsou řešeny jako svazkové výměníky spaliny-voda.

Ocelové kotle jsou náchylné ke koroznímu poškození výhřevné plochy, ke kterému dochází při koncentraci vlhkosti ze spalin. Proto nesmí teplota stěny trubek klesnout pod teplotu rosného bodu spalin, tj. při spalování zemního plynu zhruba pod 60 °C. Přívod studené vody do kotle musí být proveden rovnoměrným rozvedením po celém objemu, nebo se řeší tzv. kotlovým okruhem s přepouštěním části horké vody na vstup pro zvýšení teploty napájecí vody. V případě požadavku na nízkoteplotní provoz kotlů, kdy je teplota vratné vody 40 °C nebo nižší, řeší se problém kondenzace vlhkosti tzv. řízeným přestupem tepla zvětšením tepelného odporu mezi spalinami – trubkovou stěnou – vodou. Příkladem takového řešení je dvouvrstvá (duplexní) trubka, což jsou dvě trubky s větší vůlí zasunuté do sebe, jejichž vzájemný dotyk je vymezen prolisy vnější trubky. Tím způsobem je zabráněno přímému styku spalin s vnější, studenou trubkou. Tento případ v kotelně K7 nenastává. [3]

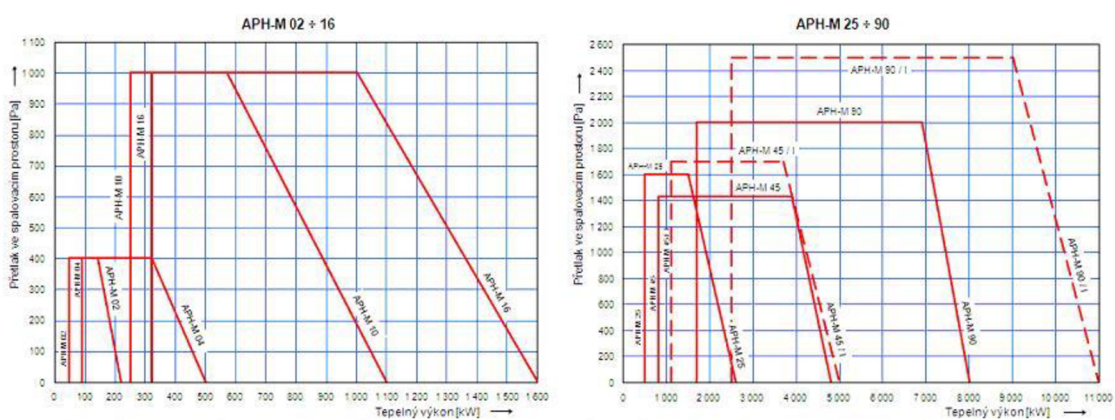
Kotel je osazen plynovým hořákem APH45-PZ, který byl vyroben v První brněnské strojírně. APH-M (mechanická vazba palivo-vzduch) a APH-ME (elektronická vazba palivo-vzduch) představují moderní typy automatických plynových hořáků, které jsou určeny pro spalování zemního plynu, propan-butanu a nízkovýhřevných plynů. Konstrukčně jsou hořáky řešeny jako monoblokové, tzn., že ventilátor a veškeré komponenty jsou součástí tělesa hořáku. Chod hořáků je plně automatický, vhodný i pro bezobslužné řízení kotel. Spojitá regulace tepelného výkonu a nízký přebytek vzduchu při spalování zaručují vysokou hospodárnost provozu. Použité elektrické komponenty od renomovaných firem se vyznačují vysokou spolehlivostí a životností.

Obrázek č.2: Plynový hořák APH



Zdroj: <http://www.pbspe.cz> [14.4.2012]

Graf č.1 a č.2: Parametry hořáku APH



Zdroj: <http://www.pbspe.cz> [14.4.2012]

2.2 Kotel pro kombinovaný provoz – K3

V kotelně K7 bude jeden z plynových hořáků nahrazen kombinovaným hořákem plyn/ELTO typu APH-ME 45 PZ+N. Důvodem je vytvoření zálohy při přerušení dodávky zemního plynu nebo při poruše jednoho z kotlů, případně pokud by momentální cena oleje dosáhla hodnot, kdy by jeho spalování bylo výhodnější než spalování plynu.

Také vznik těchto kotlů byl podmíněn požadavkem provozovatelů na větší flexibilitu provozu při výpadku nebo zdražení jednoho druhu paliva. Záměna zemního plynu a LTO nebo ELTO není z konstrukčního hlediska problematická. Kotel stačí osadit příslušným typem monoblokového přetlakového hořáku, evt. přizpůsobit nastavení řídicího systému kotle. Vyvinuty byly dokonce dvoupalivové hořáky. Vzhledem k tomu, že teplota rosného bodu spalin vychází při spalování kapalných paliv

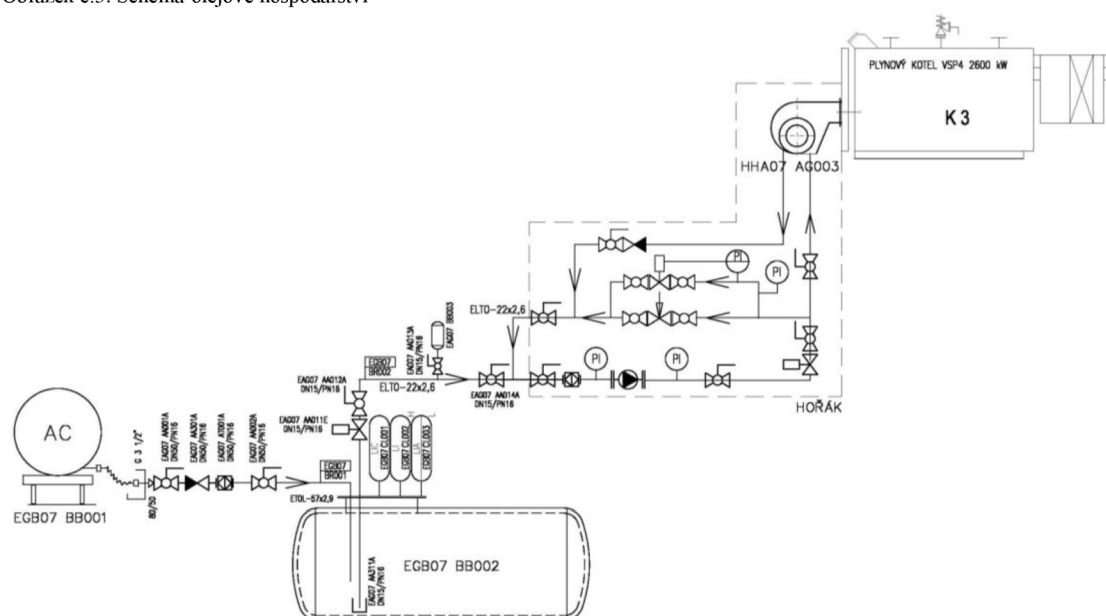
vyšší než u plynu, je třeba podřídit volbu koncové teploty spalin podmínkám provozu na olej, aby se předešlo nízkoteplotní korozi koncových výhřevných ploch. [2]

V ČR není spalování kapalných paliv příliš rozšířeno. Hlavním důvodem bude pravděpodobně cena. Ceny topných olejů vycházejí v porovnání s jinými druhy paliv vyšší. Obchodní možnosti, burza a konkurence jiných paliv způsobily, že se ceny topení ELTO přiblížili ceně za LPG. Tato skutečnost zapříčinila větší zájem o jeho spalování, zejména však v domácnostech a menších zdrojích s výkonem do 50 kW. Setkáváme se ale i s většími zdroji, kde se k výrobě tepla využívá extralehký topný olej.

U kotlen na kapalná paliva nejsou kladeny tak přísné požadavky na bezpečnost. Nebezpečí výbuchu je zde podstatně nižší než u plynových kotlen. Hlavní důraz je kladen na zamezení vzniku požáru a úniku paliva během skladování a dopravy. Únik paliva by mohl způsobit kontaminaci půdy a spodních vod. Největší pozornost při zařízení pro spalování topného oleje směřuje k problematice palivového hospodářství, teda hlavně k jeho uskladnění. Normy pro manipulaci a uskladnění ELTO, jakožto hořlaviny III. třídy, připouštějí za určitých podmínek skladování přímo v kotelně. Skutečnost je ale taková, že místní předpisy vyžadují oddělení skladu paliva od kotelny (zděnou příčkou se 45 minutovou odolností proti přehoření a plechovými dveřmi s otevíráním ven). Oproti spalování plynu spotřebuje spalování oleje větší množství vzduchu. Vzduch pro spalování činí cca 15 m³ na 1 litr oleje. Při návrhu větrání kotelny se musí s touto skutečností počítat. Přívod paliva z nádrže do hořáku může být proveden jedno nebo dvoutrubkovým systémem. [2]

Pro napojení kotle s kombinovaným hořákem v koleně K7, jsem vybral řešení jednotrubkového systému. Důvodem bylo ekonomické a technické zhodnocení. Jediné místo vhodné pro umístění nádrže pro skladování ELTO se nenachází v těsné blízkosti. Délka trasy by zdvojnásobila náklady za napojované potrubí a zvýšila tlakovou ztrátu okruhu proudění topného oleje. Schéma navrženého olejového hospodářství je na obrázku č.3.

Obrázek č.3: Schéma-olejové hospodářství



Zdroj: zpracováno autorem

ELTO lze skladovat v nadzemních nebo podzemních nádržích. Za určitých podmínek lze uskladňovat topný olej také v kotelně. Pro náš případ musí být

vybudována nová místnost. Skladování je možné v plastových nádobách o celkovém objemu do 5000 l. Tyto nádoby musí být v zachytivé vaně velikosti odpovídající objemu všech umístěných nádrží. Vana musí být betonová, pokud je vystavená zdi, musí se nahodit cementovou maltou. Povrch této jímky musím mít několik vrstev izolace a nesmí obsahovat žádný výpustný otvor. [2]

2.3 Kogenerační jednotka - KJ

V poslední době se při zadávání požadavků investora na zařízení v kotelně, můžeme setkat s pojmem kogenerační jednotka. Můžou za to dotace a nezávislost na elektrické energii. Kogenerací rozumíme kombinovanou výrobu elektřiny a tepla pro vytápění nebo technologii v jednom zařízení. Zdroje tohoto typu jsou označovány jako teplárny nebo kogenerační jednotky. Pokud jde o zdroj parní nebo plynovou turbínu, hovoříme většinou o teplárně, zatímco pojmem kogenerační jednotka jsou označovány spíše zdroje se spalovacím motorem. Kogeneraci můžeme také nazývat jako teplárenská výroba elektřiny. Kombinovaná výroba tepla a elektřiny je jeden z nejučinnějších způsobů, jak snížit energetickou náročnost systému zásobování teplem a elektřinou. [2]

Jako každá technologie i tato má svoje nevýhody. Hlavní nevýhodou je pořizovací cena, kterou musí investor uhradit jednorázově. Vložené náklady získává zpět během provozu. Aby byla návratnost investice co nejkratší, musí se využívat kogenerace co nejvíce.

V kotelně K7 se v současnosti nachází dvě kogenerační jednotky. Jedna z nich bude demontována a druhá bude přemístěna do prostoru plynové kotelny. Využitá bude kogenerační jednotka TEDOM T160 SP.

Tabulka č.4: Parametry kogenerační jednotky

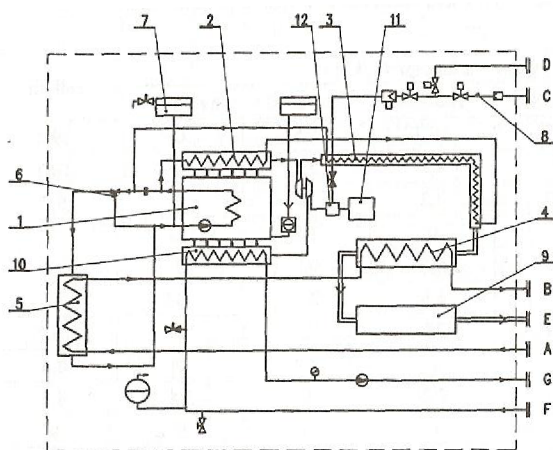
parametr:	typ:	T 160 ostrovní provoz	
maximální elektrický výkon		157,5	kVA
maximální tepelný výkon		181	kW
příkon v palivu		363	kW
účinnost elektrická		34,7	%
účinnost tepelná		49,8	%
účinnost celková (využití paliva)		85,5	%
spotřeba plynu při 100% výkonu		38,4	m ³ /h
spotřeba plynu při 75 % výkonu		33,6	m ³ /h
spotřeba plynu při 50 % výkonu		26,6	m ³ /h

Zdroj: Zpracováno autorem

Konstrukční uspořádání jednotky

Kogenerační jednotka tvoří plně funkční kompaktní modul se vším příslušenstvím namontovaným uvnitř jednotky. Základový rám je ocelové konstrukce. V jeho spodní uzavřené části jsou umístěny výměníky tepla a tlumič výfuku, v horní části je pak umístěn motor s generátorem a ostatní příslušenství. Motor s generátorem jsou jako jeden celek spojeny a k rámu připojeny přes elastické izolátory, zabráňující přenosu chvění do základu. S výměníky tepla je motor propojen potrubím s kompenzátory, které je včetně výměníků a spalínovodu opatřeno tepelnou izolací. Protihlukový kryt je samonosný, panelové konstrukce. Mechanicky je připevněn k rámu jednotky. Schéma kogenerační jednotky je na obrázku č. 4.

Obrázek č.4: Schéma-kogenerační jednotka



Hlavní části

- 1- motor
- 2- chlazené výfukové potrubí
- 3- chlazená výfuková roura
- 4- spalínový výměník
- 5- výměník voda-voda
- 6- termostat
- 7- vyrovnávací nádrž
- 8- plynová trať
- 9- tlumič výfuku
- 10- chladič plnicí směsy
- 11- čistič vzduchu
- 12- směšovač

Pipojovací místa

- A- vstup sekundárního okruhu
- B- výstup sekundárního okruhu
- C- přívod plynu
- D- odvětrání plynové tratě
- E- odvod spalin
- F- vstup okruhu chlazení plnicí směsí
- G- výstup okruhu chlazení plnicí směsí

Zdroj: Valenta, V. Topenářská příručka 3. 2007

Obrázek č.5: Kogenerační jednotka



Zdroj: autor

Motor

K pohonu jednotky je použit plynový spalovací motor Liaz M1.2 G, výrobek firmy Škoda-Liaz, Jablonec n.Nisou

Tabulka č.5: Parametry motoru

Parametr	Hodnota
počet válců	6
uspořádání válců	v řadě
vrtání x zdvih	135 x 150 mm
zdvihový objem	11940 cm ³
stupeň komprese	11 : 1
pracovní otáčky	1500 min ⁻¹
spotřeba oleje normal/max	0,8 / 1 g/kWh
max. výkon motoru	152 kW

Zdroj:projekční podklady firmy TEDOM

Vyvedení elektrického výkonu

Vyvedení elektrického výkonu je provedeno prostřednictvím rozvaděče. Rozvaděč je v provedení skříňovém, volně stojícím. Umísťuje se zpravidla ve stejné místnosti s jednotkou. Ovládací část rozvaděče obsahuje řídicí systém zabezpečující provoz jednotky včetně hlídání a zaznamenávání provozních stavů motoru. Silová část zajišťuje připojování a jištění generátoru a vyvedení elektrického výkonu. Vyvedení výkonu a propojení jednotky s rozvaděčem je provedeno spodem. K tomuto účelu se v podlaze zhotovují kanály s rošty, na něž se ukládají propojovací vodiče.

Tepelný systém

Tepelný systém je tvořen dvěma vzájemně oddělenými okruhy. Primární (motorový) předává teplo z motoru a oleje do sekundárního okruhu, kde je k němu přidáno teplo ze spalin. Celkový tepelný výkon jednotky je pak předáván do napojeného topného okruhu. Jednotka neobsahuje oběhové čerpadlo sekundárního okruhu. Jeho velikost se volí s ohledem na celkové ztráty topného okruhu. Napájeno a ovládáno je však z rozvaděče jednotky. Je-li to požadováno, je možno s jednotkou dodat nouzový chladič (chladičí jednotka LCS 56) pro vychlazení celkového tepelného výkonu

Tabulka č.6: Parametry tep. systému kogenerační jednotky

Parametr	Hodnota
teplota topné vody- nominální vstup/výstup	70/90 °C
teplota vratné vody min/max	40/70 °C
jmenovitý průtok	2,5 kg/s
max. pracovní tlak	600 kPa
vodní objem kog. jednotky	70 l
tlakové ztráta při jmenovitém průtoku	40 kPa
jmenovitý teplotní spád	20 K

Zdroj: projekční podklady firmy TEDOM

Kromě uvedených standardních parametrů je možné jednotku dodat i pro parametry jiné (např. max. pracovní tlak 1,6 MPa a pod.)

Chlazení plnicí směsí

Tepelný výkon získaný chlazením plnicí směsí lze přes oddělovací výměník využít k předehřevu TUV. Pokud se neuvažuje s využitím tohoto tepla, používá se k chlazení externí chladičí jednotka okruhu chlazení plnicí směsí, která se umísťuje mimo kogenerační jednotku a je s ní propojena samostatným potrubním okruhem. Umístění této chladičí jednotky je nutné volit na chladném místě, nejlépe na střeše strojovny nebo mimo strojovnu. Okruh je pak naplněn nemrznoucí směsí. Vnitřní čerpadlo tohoto okruhu je dimenzováno k překonání tlakových ztrát celého okruhu. Okruh je opatřen expanzní nádobou, tlakoměrem a pojistným ventilem. Motor ventilátoru chladičí jednotky je napájen a ovládán z rozvaděče kogenerační jednotky

Tabulka č.7: Parametry chlazení kogenerační jednotky

Parametr	Hodnota
tepelný výkon max.	11 kW
max. pracovní tlak	180 kPa
vodní objem (v jednotce)	30 l
typ chladičí jednotky	JV 7
vodní objem chladičí jednotky	12 l
jmenovitý teplotní spád	2.5 K
max. tlak. ztráta vnější části okruhu (bez KJ a chladičí jednotky)	25 kPa

Zdroj: projekční podklady firmy TEDOM

Přívod plynu

Plynová trasa v jednotce obsahuje čistič plynu, sestavu rychlouzavíracích elektromagnetických ventilů pro uzavření přívodu plynu při vypnutí jednotky, nulový regulátor tlaku plynu a kovovou hadici pro připojení ke směšovači. Pro správný provoz jednotky je požadována plynová přípojka o patřičné dimenzi o tlaku 2 až 10 kPa (u provedení pro ostrovní provoz 2 až 5 kPa) s přiměřeným akumulacním objemem, aby nedošlo k poklesu tlaku plynu v rozvodu v době skokového odběru plynu, zakončená ručním plynovým uzávěrem a opatřená tlakoměrem. Dále je nutné propojit vyvedení odvětrání meziprostoru elektromagnetických ventilů s odvětrávacím potrubím kotelny.

Spalovací a ventilační vzduch

Nevyužitelné teplo (vysálané z horkých částí jednotky) je z jednotky odváděno ventilačním vzduchem, který vystupuje přírubou na stropě protihlukového krytu. Na přírubu je možno napojit vzduchotechnické potrubí. Proudění ventilačního vzduchu zajišťuje ventilátor uvnitř jednotky. Součet ventilačního a spalovacího vzduchu představuje množství, které je nutno pro jednotku zajistit.

Tabulka č. 8: Parametry vzduchu kogenerační jednotky

Parametr	Hodnota	
nevyužitelné teplo odvedené ventilačním vzduchem	36	kW
množství spalovacího vzduchu	680	Nm ³ /h
min. množství ventilačního vzduchu	6700	Nm ³ /h
teplota nasávaného vzduchu min/max	10 / 35	°C
max. protitlak na přírubě odvodu ventilačního vzduchu	45	Pa

Zdroj: projekční podklady firmy TEDOM

Odvod spalin a kondenzátu

Spaliny jsou z jednotky odváděny potrubím (spalinovodem) napojeným na přírubu jednotky. Kondenzát, který v jednotce může vzniknout je odváděn z jednotky potrubím odvodu kondenzátu. Při vyspádování spalinovodu k jednotce lze využít k odvodu kondenzátu ze spalinovodu potrubí pro odvod kondenzátu z jednotky. Odvod spalin z kogenerační jednotky musí být navržen dle ČSN 734201. Navíc je nutno dodržet dále uvedené doplňující podmínky:

- spalinovod od příruby kogenerační jednotky po sopouch musí být těsný.
- tepelná izolace spalinovodu po strojovně musí být odolná teplotám do 200 °C a musí zabezpečit max. teplotu na povrchu 60 °C.
- při napojení spalinovodu do zděného komína musí být zajištěno jeho vyvločkování s potvrzením příslušného kominického podniku, že komín je vhodný pro odvod spalin ze spalování plynu.
- při použití samostatného výfuku musí být jeho vyústění tak vysoko nad nejbližší okolí, aby nebylo narušeno životní prostředí spalinami v souladu s hygienickými předpisy a s ČSN 73 4201.
- materiál spalinovodu - kov (ocel, nerez, hliník,..).
- maximální tlaková ztráta celého spalinovodu od příruby jednotky nesmí být vyšší než 25 mbar
- svedení spalin z více jednotek do společného spalinovodu není přípustné.
- v nejnižším místě svíslého spalinovodu musí být sběrač kondenzátu s odvodněním.

Tabulka č.9: Parametry spalín kogenerační jednotky

Parametr	Hodnota	
Množství spalín	723	Nm ³ /h
Teplota spalín jmen./max.	120 / 150	°C
Max. protitlak spalín za přírubou	25	mbar

Zdroj: projekční podklady firmy TEDOM

Jelikož kogenerační jednotka není primární zařízení pro dodávku tepla, bude paralelně zapojena s dalšími zdroji (plynové kotle a kotel na štěpku). Dodávka tepla z KJ je nutné sladit s dodávkou tepla z kotlů, hlavně kvůli dodržení teploty vratné vody, která je požadována na odlišné úrovni. Okruh KJ zajišťuje vyvedení hlavního tepelného výkonu z chlazení motoru a spalín do otopné soustavy. Jelikož je žádoucí co největší návratnost, KJ poběží nepřetržitě a teplo z okruhu KJ bude dodáváno v průběhu celého dne. Pokud by KJ pracovala standardně, teplota vody ve vratném potrubí by byla 30-70 °C. V našem případě je vhodné dodržet teplotu vratu na hodnotě cca 50 °C. Důvodem je zkracování životnosti spalínových dílů jednotky. [2]

KJ se dá provozovat třemi základními způsoby, které určuje způsob spolupráce s veřejnou elektrickou sítí:

- nouzový provoz
- ostrovní provoz
- paralelní provoz

V nouzovém provozu funguje kogenerační jednotka jako záložní zdroj elektrické energie. Pokud je dodávka elektrické energie v pořádku, stykač sítě je sepnut a napájení rozvodny probíhá z hlavní sítě. Při výpadku dodávky odpadne stykač a začne start KJ. Jednotka pak dodává elektrickou energii jako ostrovní provoz. Ten pracuje zcela autonomně bez připojení na veřejnou rozvodnou síť. KJ je tedy jediným zdrojem elektrické energie. Tento provoz se využívá hlavně při výrobě vlastní elektřiny pro pokrytí vlastní spotřeby a v případě přebytku posílá elektřinu ven. Pokud máme zájem posílat veškerý elektrický výkon do veřejné sítě, musíme KJ zapojit do paralelního provozu se sítí. Tak tomu bude i v případě kotelny K7 v Jihlavě. Tento provoz se využívá při výrobě elektřiny na prodej. Elektrický výkon se řídí podle odběru tepla. Proto budeme odebírat z KJ veškeré teplo a dodávat ho do soustavy kotelny. [2]

3. KOTELNA NA BIOMASU

Technologie přímého spalování biomasy je nejběžnější způsobem jejího energetického využití. Tato metoda je v praxi ověřená a komerčně dostupná na vysoké úrovni. Zařízení pro spalování se dodávají v různých provedeních a výkonech, přičemž jsou schopné spalovat praktický jakékoliv palivo od dřeva, přes slámu až po slepičí trus nebo komunální odpad. Velký význam má především spalování odpadového dřeva a odpadu ze zemědělské produkce.

Spalovací proces ve dřevě probíhá v následovných fázích:

- Voda uvnitř dřeva začne vřít (i relativně staré dřevo obsahuje až 15 % vody).
- Ze dřeva se postupně uvolňuje plyn. Pro správné spalování je potřebné, aby tento plyn hořel a neunikal do komína.
- Vznikající plyn se míchá se vzduchem a hoří při vysoké teplotě.
- Zbytek dřeva začne taky hořet, přičemž jako odpad vzniká popel.

Pro účinné spalování je potřebné zabezpečit dostatečně vysokou teplotu, dostatek vzduchu a dostatek času pro úplné spálení biomasy. Správné množství vzduchu je asi nejdůležitější kritérium pro dokonalé spalování. Pokud při hoření není zabezpečen dostatečný přívod vzduchu, hoření je neúplné a vznikající dým obsahuje nespálený uhlík. Tento proces je doprovázen charakteristickým zápachem a značným množstvím usazenin v komíně. Pokud je ale při hoření množství vzduchu příliš velké, klesá teplota a plyny unikají ze dřeva nespálené a odvádějí sebou užitečnou energii. Správným množstvím vzduchu, se můžeme dostat na dokonalé hoření. Jeho výsledkem je nepřítomnost dýmu a zápachu. Hoření můžeme regulovat přívodem vzduchu nebo komínem. [4]

3.1 Kotel

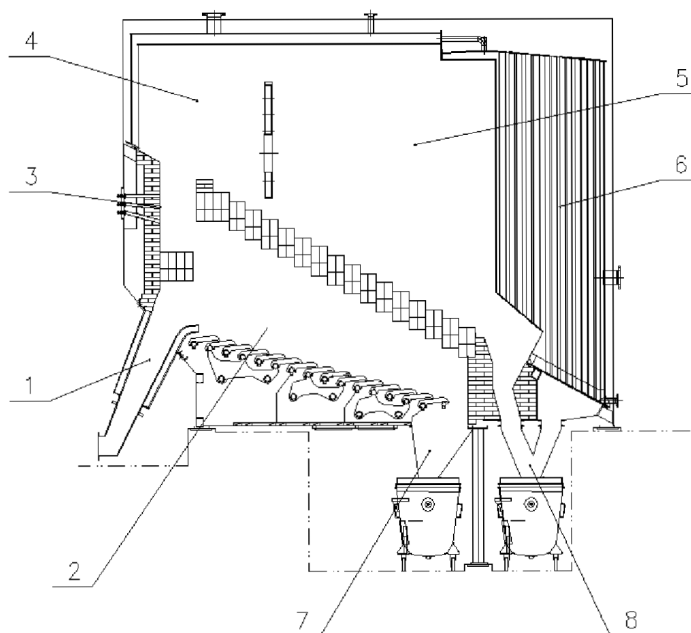
3.1.1 Popis

Kotel je samonosný celosvařované skříňové konstrukce. Spodní část kotle tvoří ohniště se surným šikmým roštem. Rošt je ovládán hydraulickým mechanismem, je chlazený pásmovaným primárním vzduchem. Na ohništi je postaven tlakový díl. Kotel je opatřen tepelnou izolací, krytou ocelovým plechem s plastovým povlakem. Palivo je do kotle dopravováno pomocí hydraulického zavážecího lisu. Palivo je protlačováno vyhřívaným tunelem (vyhřívání topnou vodou), dochází k předsušení paliva před vstupem na spalovací rošt. Je to kotel typu VESKO-B od firmy TTS energo. Byl vybrán na základě zkušeností a cenové nabídky.

V následujícím odstavci si bude popsán obrázek spalínového kotle - č. 6. Palivo prochází vstupem (1) na ohniště (2). Pro dokonalejší prosušení paliva je vstupní hubice vyhřívána. Jako vedlejší produkt spalování vzniká popel. Ten se zachytává v prostoru na konci roštu (7), odkud je dopravníkem vyveden do kontejneru. Tryskami sekundárního vzduchu (3) je ventilátorem přiváděn vzduch. Ohřátý vzduch dále pokračuje komorou (4) a (5) přes výměník (6), kde odevzdá teplo vodě. Ve skutečnosti sazený popílek, nacházející se ve spalínách odvádíme (8) dopravníkem do stejného kontejneru jako popel.

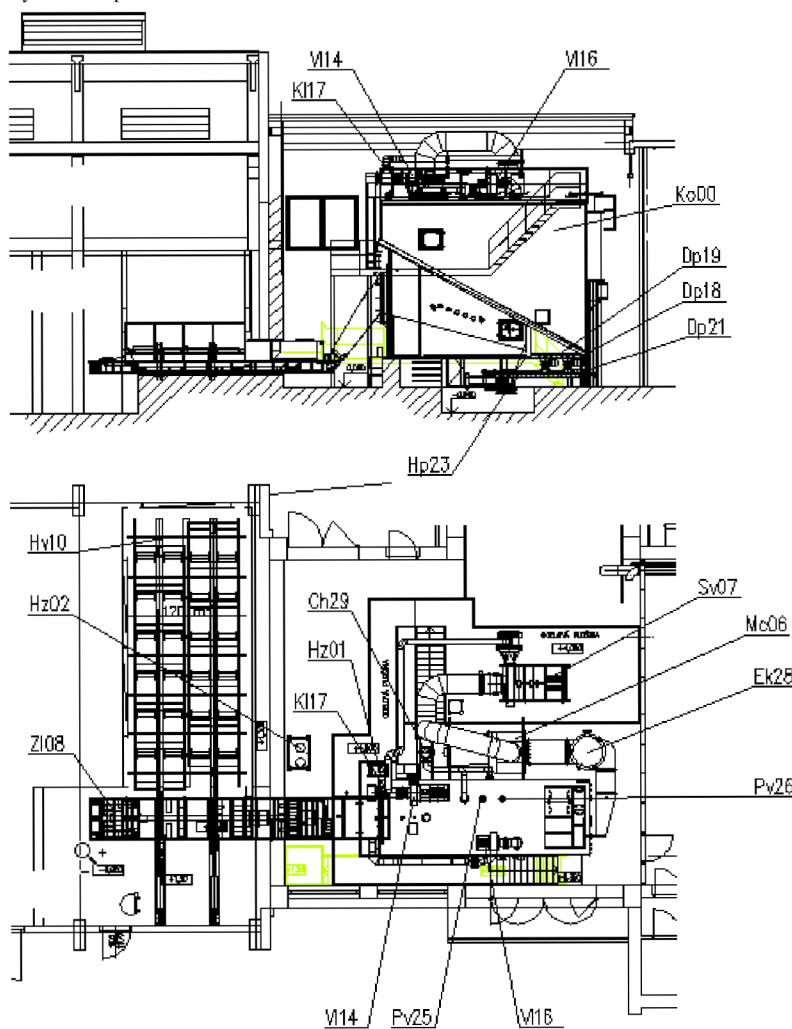
Obrázek č.6: Spalinový kotel

1. Vyhříváný vstup paliva
2. Ohniště
3. Trysky sekundárního vzduchu
4. Vírová komora
5. Dohořivací komora
6. Třítahový trubkový výměník
7. Roštový popel
8. Úletový popel



Zdroj: Výrobní podklady – TTS energo.

Obrázek č.7: Štěpkový kotel-dispozice



Ko00	Kotel VESKO-B 3,0 MW	K115	klapka sekundárního vzduchu
Hz01	Hydraulická zdroj kotle	VI16	ventilátor sekundárního vzduchu
Hz02	Hydraulický zdroj skladu paliva	K117	klapka recirkulovaných spalin
Řa03	Řídicí automat	Dp18	dopravník popele vratné komory
Sv04	Spalinový ventilátor	Dp19	dopravník popele klenby
Oč05	Kotlové čerpadlo (není dodávka TTS)	Rp20	rotační podavač popele multicyklonu
Mc06	Multicyklon	Dp21	sběrný dopravník popele
Sv07	Spalinový ventilátor	Dp22	koncový dopravník popele
Z108	zavážecí lis	Hp23	hradítko roštového popele
Hn09	Hasicí nádrž	Rp24	rotační podavač popele ekonomizeru
Hv10	Hydraulický vyhrnovač skladu paliva	Pv25	pojistná ventil
Hv11.1	Ventil hašení elektro	Pv26	pojistný ventil
Hv11.2	Ventil hašení průtavný	Ds27	deblokační skříňka podávání paliva
Oč12	oběhové čerpadlo vstupu paliva	Ek28	ekonomizer
K113	klapka primárního vzduchu	VI14	ventilátor primárního vzduchu

Zdroj: Výrobní podklady – TTS energo.

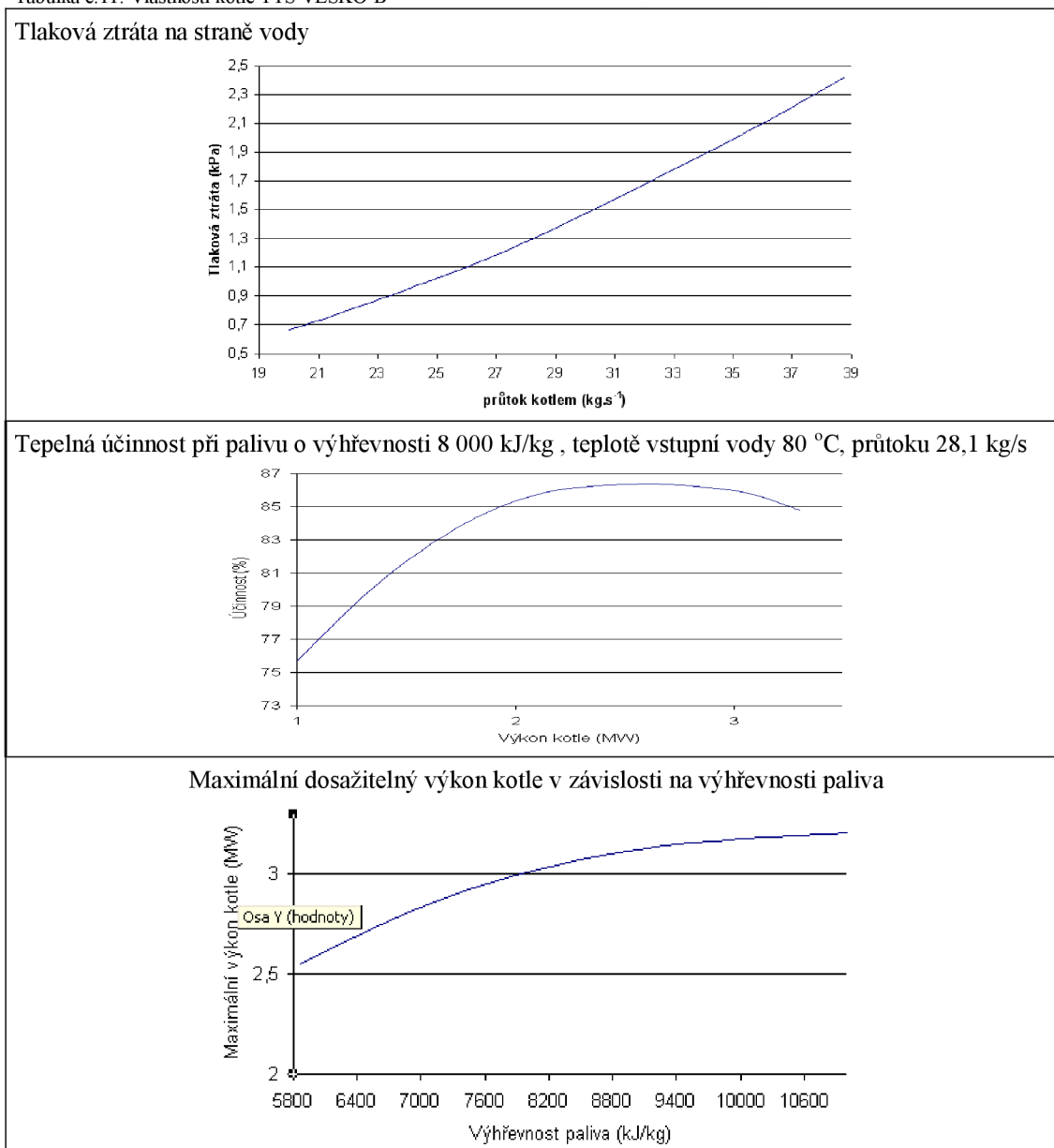
3.1.2. Technické údaje

Tabula č.10: Technické údaje štěpkového kotle

Typ kotle		VESKO-B
Nominální výkon	MW	3,0
Rozsah regulace	%	30 – 100%
Spalované palivo	-	Štěpka
Minimální vlhkost paliva	%	35
Maximální vlhkost paliva	%	60
Požadovaná výhřevnost paliva při nominálním výkonu	MJ/t	8000
Účinnost kotle při 50 % vlhkosti paliva	%	85,2
Konstrukční přetlak	MPa	0,6
Maximální pracovní přetlak	MPa	0,6
Minimální teplota vstupní vody	°C	75
Maximální teplota výstupní vody	°C	110
Délka kotle	mm	7000
Šířka kotle	mm	2600
Výška kotle	mm	5370
Vlastní (suchá) hmotnost	kg	60000
Vodný objem	m ³	20
Provozní hmotnost	kg	80 000
Množstvo spalovacího vzduchu	m ³ N.s-1	1,75
Množstvo spalin	m ³ N.s-1	2,19
Podtlak v spalovací komoře	Pa	500
Tlaková ztráta na straně spalin	Pa	1500
Výstupná teplota spalin	°C	165
Spotřeba paliva při nominál. výkonu	kg/hod	1584
Instalovaný elektrický příkon	kW	76

Zdroj: TTS group, Třebíč

Tabulka č.11: Vlastnosti kotle TTS VESKO-B



Zdroj: TTS group, Třebíč

3.2. Palivo

Palivo, při kterém je garantována životnost a spolehlivost:

Nekontaminovaná dřevní hmota, vlhkost max. $W_r = 60 \%$, popel do $A_r = 3 \%$ hmotnostního podílu, měrná hmotnost 250 až 350 kg/m³.

- Dřevní štěpka max. velikosti 100 mm
- Ojedinelé kusy dřeva z pilnice, průměr max. 100 mm, max. délka 500 mm
- Nedrcené kůra, a to až do hmotnostního podílu 30 % z celkového množství podávaného paliva (v případě ojedinelých smotků kůry dosahujících rozměrů zaplňujících plně profil dopravní cesty, a to i v jednom rozměru, je v případě zpříčení potřebný zásah obsluhy)
- Piliny spalované ve směsi se štěpkou a to až do hmotnostního podílu 30 % z celkového množství podávaného paliva

Záruční palivo pro dosažení výkonu:

Dřevní hmota:

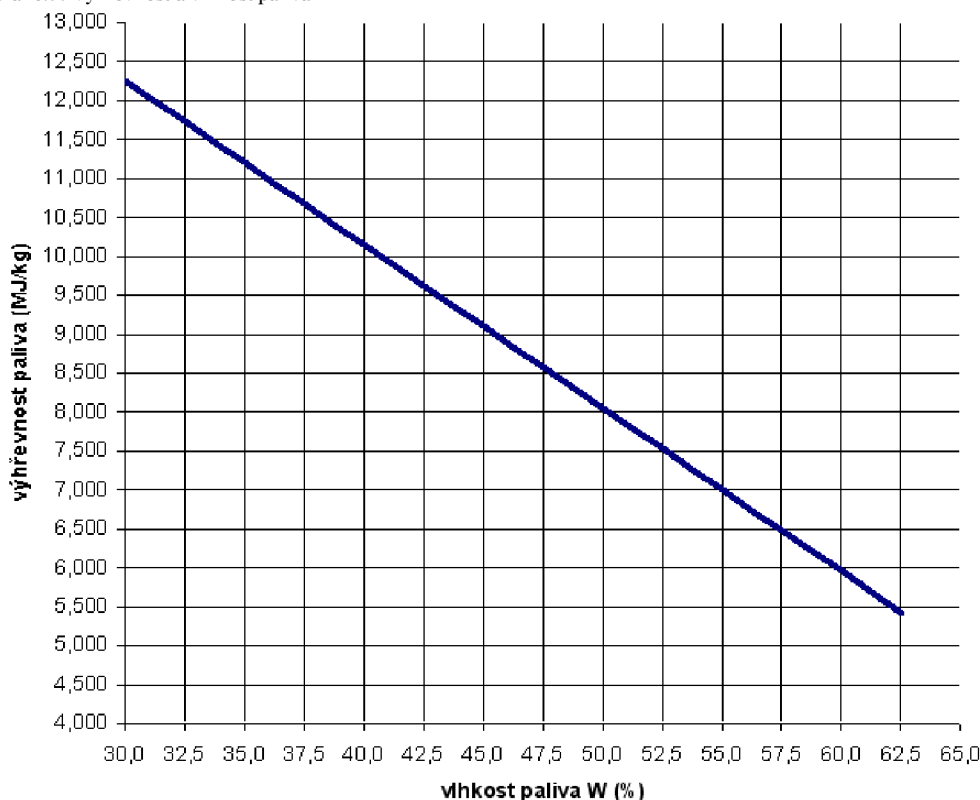
o minimální výhřevnosti $Q_{ir} = 8\,000$ kJ/kg při vlhkosti $W_r = 50\%$

Tabulka č.12: Fyzikálně chemický rozbor dřevní štěrky

spalné teplo hořlaviny	popel v bezvodném vzorku	voda při spařování m stavu	vodík v hořlavině	vodík v palivu	popel při spalování m stavu	Spalné teplo paliva	Výhřevnost paliva
$Q_{s, daf}$	A^d	W^r	H^{daf}	H^r	A^r	$Q_{s, r}$	Q_i^r
(MJ.kg ⁻¹)	(% _{hmot})	(% _{hmot})	(% _{hmot})	(% _{hmot})	(% _{hmot})	(MJ.kg ⁻¹)	(MJ.kg ⁻¹)
20,32	0,88	59,36	7,28	2,93	0,36	8,19	6,091

Zdroj: TTS group, Třebíč

Graf č.3: Výhřevnost a vlhkost paliva



Zdroj: TTS group, Třebíč

Spaliny

Spaliny chlazené ve výměníku kotle budou ocelovým izolovaným spalinovodem obdélníkového průřezu vedeny do multicyklonu, dále ocelovým izolovaným spalinovodem kruhového průřezu ke spalinovému ventilátoru umístěném na úrovni +1,560 m. Izolované ocelové potrubí převede spaliny od spalinového ventilátoru do komína.

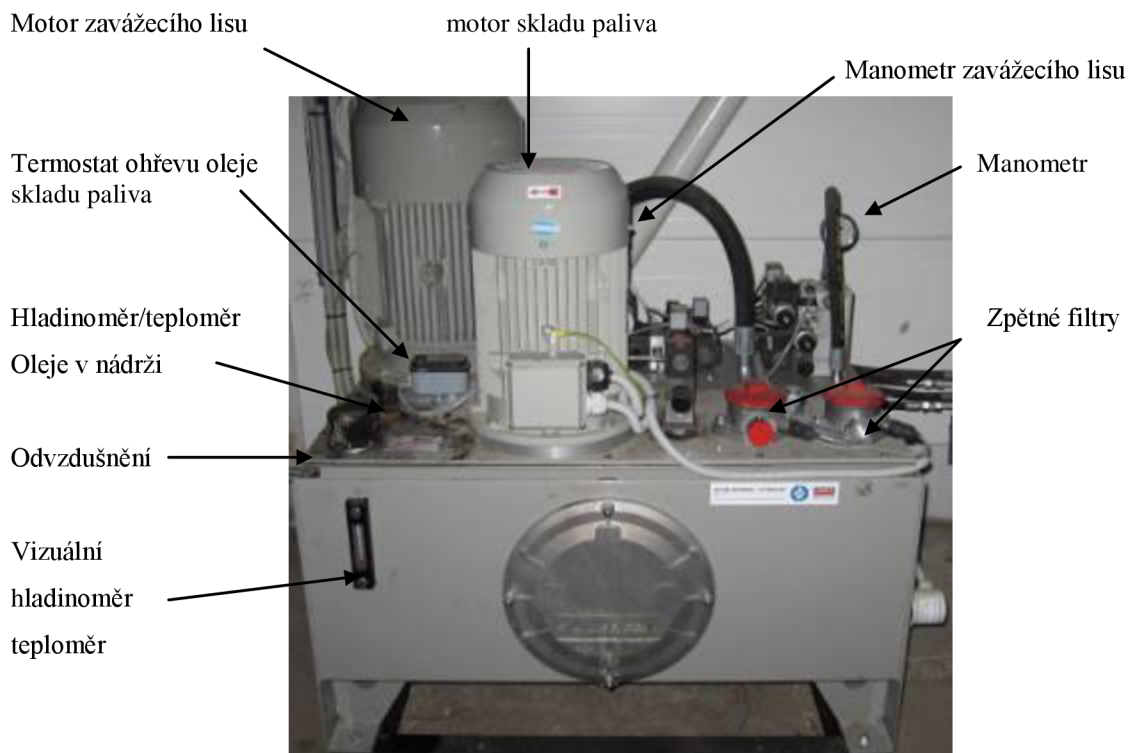
Popel

Produkty spalování jsou soustředovány a centrálně vypouštěny z výpadu hradítkové komory o rozměru 600x600 mm. Výpad je umístěn pod podlahou kotle.

Úletový popílek je do komory dopravován kontinuálně, roštový popel v intervalech cca 30 minut (podle okamžitého výkonu kotle). Řídicí počítač kotle předává nadřazenému počítači informaci o vypouštění roštového popele.

Hydraulický zdroj podávání paliva

Hydraulický agregát dodává tlakový olej pro ovládání zavážecího lisu a denního skladu paliva:



Zavážecí lis (ZL8)

Zavážecí lis má dvojitou funkci. Jednak zabezpečuje dopravu paliva od denního skladu paliva Hv10 přes vyhřívaný vstup paliva na rošt kotle, jednak píst lisu v klidové poloze tvoří požární clonu proti prošlehnutí plamene z šachty do dopravní cesty paliva.

Zavážecí lis sestává:

- z vlastního tělesa opatřeného vstupní a výstupní přírubou, konzolami hydraulických válců, snímatelným víkem
- z dvojice pístů ve tvaru dutého plunžru, poháněného trojicí hydraulických válců

Hydraulický vyhrnovač (HV10)

Zabezpečuje automatizované vyskladňování štěpky ze skladu štěpky a jeho podávání do lomeného dopravníku. Hydraulický vyhrnovač sestává z trojice tlačných tyčí pohybujících se přímočarým vratným pohybem po dně zásobníku štěpky. Tyče jsou opatřeny unášeči s klínovým profilem.

Chlazení vstupu paliva

Privádí vodu ze sálavé části výměníku kotle do vstupní hubice paliva a zabezpečuje její cirkulaci. V případě běžného provozu zahřívá topnou vodou hubici a urychluje vysušování paliva. Při odstavení kotle zabraňuje přehřátí hubice při vyhořívání paliva.

Hašení paliva

V případě prohoření paliva ze spalovací komory, se přivede vstupní hubicí do komory zavězacího lisu voda z nádrže umístěné na úrovni 6,2 m přes elektroventily Hv111.1 do rozprašovací trubice. Po uhašení ohně (sníží se teplota) elektroventil zavírá. V případě výpadku elektřiny se aktivuje průtavná pojistka Hv111.2. V tomto případě je po uhašení ohně nutné vyměnit parafinovou zátku.

3.3. Kouřovody

Kouřovody odvádějí spaliny od kotle přes multicyklon pomocí spalínového ventilátoru do komína. Kouřovody jsou vyrobeny z plechu tř. 11, mají kruhový nebo obdélníkový průřez. Vzduchovody s pomocí vzduchových ventilátoru převádí vzduch z částí kotle, které jsou vzduchem chlazeny (boky skříně, horní vratná komora spalin) do míst kde je potřebný pro spalování paliva (rošt, trysky sekundárního vzduchu).

3.4. Zabezpečovací zařízení

Mechanicky je kotel proti překročení maximálního tlaku vybaven pojistnými ventily přístupným z plošiny. Ostatní ochrany jsou elektronické.

Kotel je automaticky odstaven do poruchy a je přerušena dodávka paliva při následných situacích:

- Překročení výstupní teploty topné vody nad 115 °C
- Pokles tlaku v topném systému
- Při nárůstu tlaku v topném systému
- Při nedostatečném průtoku vody
- Při poruše ventilátorů (nedokonalé spalování)
- Přerušení dodávky elektrické energie

Výkon kotle je automaticky snížen při:

- Při zvýšení teploty vody na vstupu do kotle (teplota přepočtená z žádané)

Dodávka paliva je přerušena:

- Pokud dojde ke zvýšení teploty na konci roštu (přetékání nedohořelého paliva do kontejneru)
- Při překročení dovolené teploty ve spalovací komoře
- Při nedostatečném přebytku kyslíku ve spalinách (nedokonalé spalování)
- Při timeoutu (některý pohyb dopravníků či roštů nebyl vykonán ve stanoveném časovém úseku)
- Při sundané popelnici

3.5. Pravidla nastavení kotle

Výkon kotle je dán množstvím dokonale spáleného paliva. Do kotle můžeme podávat jen takové množství paliva, jaké je schopné spálit.

Omezujícími faktory zde jsou:

- *rychlost hoření paliva* na konci spalovací komory – na konci roštu přepadává nespálené palivo do popelnice – podávání paliva je automaticky omezoáno teploměrem ve vlezových dvířkách (teplota konce roštu)
- *minimální přebytek kyslíku* jestliže přebytek kyslíku bude klesat pod 4 %, dojde k nedokonalému spalování – (vytváří se velké množství CO, komín kouří černě)
- *přetlak ve spalovací komoře* – při rychlém podávání paliva může dojít ke stavu, kdy spalinový ventilátor není schopen odvést spaliny
- *teplota klenby* – teplota klenby by neměla být vyšší než 750÷850 °C (teplota pod klenbou je vyšší – kolem 1000 °C)

Účinnost kotle je dána dokonalým vychlazením spalin při správném přebytku kyslíku. Správný přebytek kyslíku je pro vlhké palivo 6÷8 % a pro suché palivo 8÷11 %.

Jestliže se překročí teplota klenby, může dojít k zapečení klenby (obr. č. 8), popílek s klenby neodpadává je nutné kotle odstavit a mechanicky očistit klenbu, při mechanickém čištění hrozí i vylamování šamotové vyzdívky. Tato porucha je velice závažná.

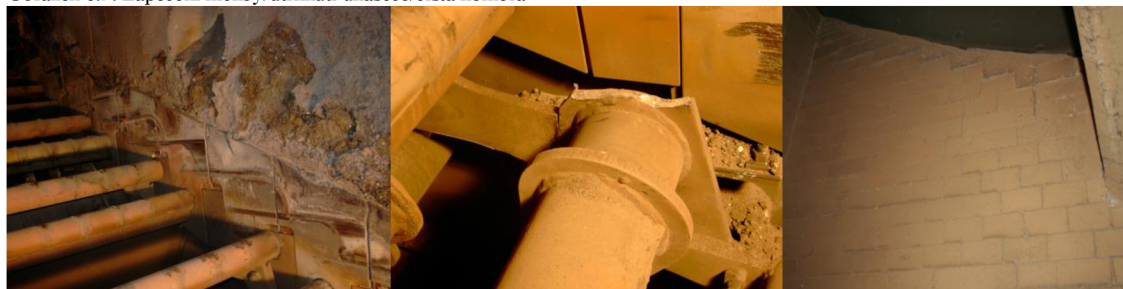
Obrázek č.8: Zapečení klenby



Zdroj: TTS group, Třebíč

Při spalování vysoce spékavého materiálu za vysokých teplot může dojít k zapečení paliva na roštu a utržení roštového unášče. Kotel je nutné odstavit a servisní organizace provede opravu vozíku. Při udržování správné teploty spalování zůstává vyzdívka spalovací komory čistá.

Obrázek č.9: Zapečení klenby/utrnutí unášče/čistá komora



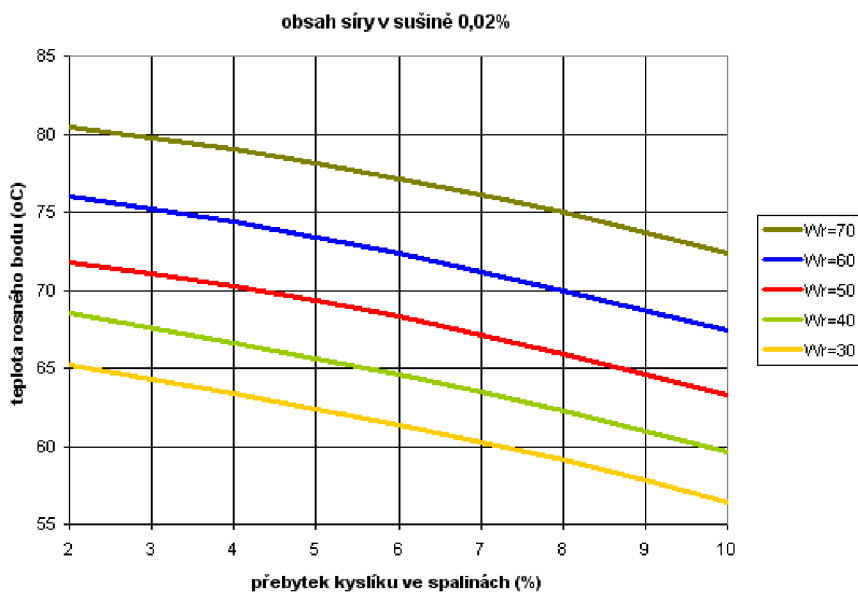
Zdroj: TTS group, Třebíč

Počítač kotle má běžně nastaveno v tabulkách režimů $T_{IO1max(i)} = 850 \text{ } ^\circ\text{C}$ a rozsah přehřátí klenby $200 \text{ } ^\circ\text{C}$, to znamená, že při překročení $850 \text{ } ^\circ\text{C}$ počítač snižuje množství paliva podávaného na rošt kotle, při dlouhodobém překračování teploty $850 + 200 \text{ } ^\circ\text{C}$ dojde k odstavení kotle na poruchu.

Při nízké teplotě vratu dochází ke kondenzaci par ve spalínách na stěnách výměníku. Kotel je vybaven automatickou regulací teploty vratné vody. PID regulátor reguluje teplotu vratu na žádanou $75 \text{ } ^\circ\text{C}$, což je bezpečná hranice při spalování čisté dřevní hmoty do vlhkosti 60 %. Teplota vratné vody je kontrolována, při poklesu je vyhlášena porucha.

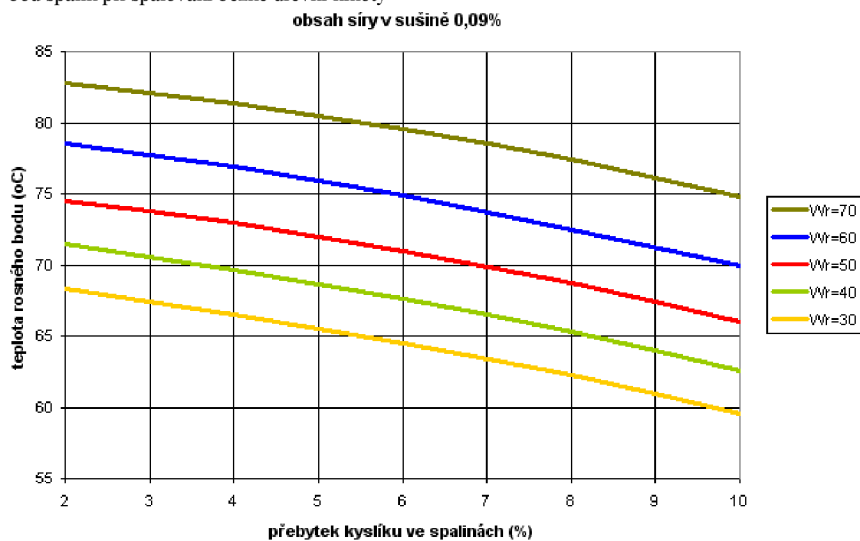
Rosný bod spalín je závislý na vlhkosti paliva W_r , přebytku kyslíku ve spalínách, a obsahu síry v palivu:

Graf č.4: Rosný bod spalín při spalování běžné dřevní hmoty



Zdroj: TTS group, Třebíč

Graf č.5: Rosný bod spalín při spalování běžné dřevní hmoty



Zdroj: TTS group, Třebíč

Při spalování paliva s vyšší vlhkostí nebo vyšším obsahem síry je nutné přestavit řízenou teplotou vratu. Navýšení obsahu síry o 0,5 % zvedne teplotu rosného bodu cca o 10 °C.

Tabulka č.13: Rosný bod spalin při spalování běžné dřevní hmoty

koncentrace síry a chloru % v bezvodném vzorku								
	smrkové dřevo	smrková kůra	topolové dřevo	bukové dřevo	pšeničná sláma	ječmenná slámy	žitná sláma	řepková sláma
S	0,02	0,09	0,03	0,02	0,08	0,08	0,08	0,27
Cl	0,01	0,02	0,00	0,01	0,19	0,40	0,39	0,47

Zdroj: TTS group, Třebíč

Jestliže dojde k provozu kotle s nízkou teplotou vratky, zkondenzované páry ze spalin zanesou zalepením teplosměnné plochy výměníku. Pokud spalujeme čistou dřevní hmotu dojde zpravidla pouze ke snížení účinnosti výměníku a po mechanickém vyčištění je výměník provozuschopný. Při spalování paliva se zvýšeným obsahem síry dojde k plošné korozi, která se šíří pod slabou vrstvou popílku – nebezpečné koroze z kyseliny sírové je schopná za rok působení zeslabit stěnu trubky výměníku i o 1,5 mm. Jestliže spalujeme palivo o zvýšeném obsahu chloru (například zbytky slámy, dřevotřísky apod.), vznikající kyselina chlorovodíková způsobí mezikrystalickou korozi. I krátkodobé působení kyseliny chlorovodíkové může zpravidla do roka zničit trubky výměníku.

Doporučení:

- spalovat čistou dřevní hmotu
- kontrolovat teplotu vratné vody a funkčnost směšovacího ventilu
- při nutnosti spalování nadměrně vlhké popřípadě znečištěné dřevní hmoty přestavit regulační teploty vratu do bezpečných hodnot

4. ZDROJE TEPLA

Požadavkem pro zpracování dat a návržení tepelného zdroje byli informace z provozu od provozovatele tepelné soustavy, která je na kotelnu K7 napojena. Dnešní inteligentní systém měření a regulace (MaR) dokáže poskytnout veškeré potřebné informace. Měření probíhalo několikrát za den, v desetiminutových intervalech. Měřené a vypočtené hodnoty se nachází v příloze B. Z důvodu rozsáhlosti měření se budeme pro ukázkou zabývat pouze jedním dnem (15.2.2008).

Každým měřením se zapsali tyto hodnoty:

- datum
- čas
- venkovní teplota
- teplota vratu - větev A a B
- teplota vstupu - větev A a B
- průtok – větev A a B

4.1. Tepelný výkon

Z teplot a průtoků větví A a B vypočítáme tepelné výkony pro jednotlivé větve dle vzorce:

$$Q_x = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta t \quad [kW] \quad \text{– pro jednotlivé větve} \quad (4.1)$$

\dot{m} – průtok [kg/s]

c – měrná tepelná kapacita [kJ/kg.°C]

Δt – rozdíl teplot [°C] – vrat a vstup větví A a B

x – index označení větve (A – větev A, B – větev B)

Celkový výkon získáme sečtením výkonů větví A a B. Pro každý měřený interval musí být vypočten tepelný výkon.

$$Q_D = Q_A + Q_B \quad [kW] \quad \text{– pro 1 interval v daný den} \quad (4.2)$$

Q_A – tepelný výkon větve A [kW]

Q_B – tepelný výkon větve B [kW]

Stejný postup platí pro všechny intervaly. Je zapotřebí zjistit co nejvíce hodnot. Větší počet hodnot vede k přesnějším výsledkům. Jelikož měření proběhla v desetiminutových intervalech, je možné zjistit až 143 výsledků pro každý den. Pro vypočtení tak velkého množství dat je vhodné použít tabulkovým procesorem Excel, který dokáže hromadně přepočítat zadané veličiny. Po vypočtení všech hodnot výkonů jednotlivých intervalů za určitý den, vypočítáme jejich průměr.

4.2 Teplo

Abychom zjistili průměrnou potřebu tepla za rok, musíme zjistit potřebu tepla pro jednotlivé dny. Pro příklad bude vypočteno potřebné teplo z hodnot jednoho dne, v tomto případě 15.2.2008. Vypočtením průměru všech výkonů pro tento den získáme hodnotu 2850 kW.

Aktuální potřebu tepla pak vypočteme pomocí vztahu:

$$Q_D = \frac{Q}{t}$$

$$Q = Q_D \cdot t \quad (4.3)$$

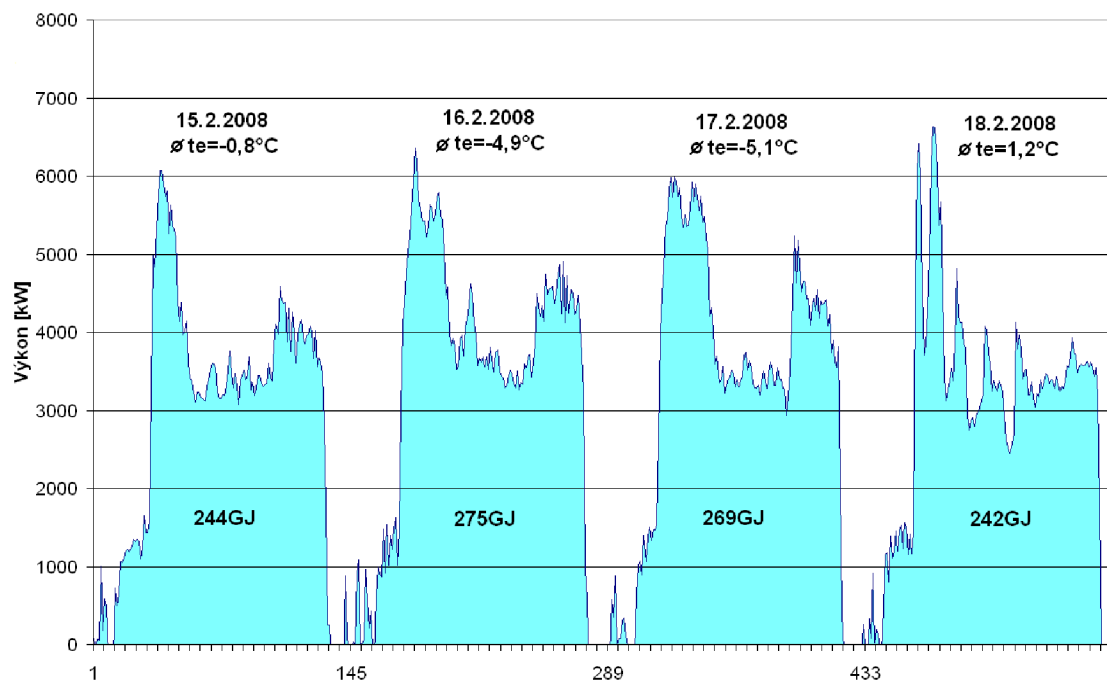
$$Q = 2850 \cdot (24 \cdot 60 \cdot 60)$$

$$Q = 244 \cdot 10^6 [J] = 244 [GJ]$$

t – čas [s]

Výpočtem je dáno, že dne 15.2.2008, kdy byla venkovní teplota $t_e = -0,8 \text{ }^\circ\text{C}$ byla potřeba soustavy 244 GJ. Tepelná bilance pro daný den je uvedena v grafu č. 6. Pro ukázkou jsou zde uvedeny aj další příklady vypočteného tepla. Na vertikální ose jsou naneseny výkony v kilowatech, na vodorovné ose jsou počty měření. Jeden dílek odpovídá jednomu měření, tj. 10 minut.

Graf č.6: Potřeba tepla



Zdroj: zpracováno autorem

Pokud bychom vycházeli z úsudku, že průměrná potřeba tepla je stejná jako vypočtená, dopustíme se nepřesných výsledků. Potřeba klesá nebo stoupá v závislosti na okolní teplotě. Proto musí být vypočteny všechny hodnoty tepla pro dny, kdy byla venkovní teplota od $13 \text{ }^\circ\text{C}$ do $-15 \text{ }^\circ\text{C}$. Hranice průměrných denních teplot venkovního vzduchu jsou z vyhlášky č.194/2007. Pro velký rozsah vstupních dat, stačí zjistit hodnoty pouze pro vybrané dny s venkovní teplotou blíží se celému číslu. Tyto hodnoty jsou v tabulce č. 14, spolu s celkovým potřebným teplem získaným součinem počtem dnů a Q_D .

Tabulka č.14: Průměrné denní teploty a potřeby tepla

Průměrná denní venkovní teplota t_e	Počet dnů v roce s teplotou t_e	Q_D [GJ] den	Q_C [GJ] celkem
-15	0,25	374	94
-14	1	365	365
-13	1	354	354
-12	1	345	345
-11	2	336	672
-10	2	327	654
-9	3	318	954
-8	3	309	927
-7	3	301	903
-6	4	292	1168
-5	5	284	1420
-4	5	275	1375
-3	6	266	1596
-2	7	257	1799
-1	9	248	2232
0	12	240	2880
1	14	232	3248
2	15	224	3360
3	16	215	3440
4	15	203	3045
5	14	190	2660
6	13	175	2275
7	13	158	2054
8	12	144	1728
9	11	130	1430
10	10	118	1180
11	10	105	1050
12	13	92	1196
13	15	80	1200

Zdroj: Zpracováno autorem

Poté co, bylo zjištěno potřebné teplo soustavy pro jednotlivé teploty venkovního vzduchu, bylo zapotřebí zjistit počet dnů v roce s danou venkovní teplotou. Hodnoty se dají zlískat z hydrometeorologického ústavu. V tomto případě byly hodnoty zjištěny z naměřených hodnot. Součtem všech dní (pro rozsah venkovní teploty -15 až 13 °C) zjistíme, že skutečný počet topných dní je ve skutečnosti necelých 236 a ne 257 jak říká norma.

Využitím vztahu (4.3) bychom vypočítali tepelnou bilanci kogenerační jednotky. Brala by se v úvahu hodnota tepelného výkonu udávaná výrobcem – 181 kW. Do výpočtu by se musel zohlednit fakt, že jednotka bude v provozu pouze několik hodin denně. Pokud je to možné, lze určit hodnoty ze spotřeby plynu jednotky. Tato metoda je přesnější, ale potřebné údaje častokrát provozovatel neposkytne. Pro kogenerační jednotku byl instalován samostatný měřič spotřeby plynu. Ze spotřeby jsme zjistili, že jednotka za rok spotřebuje spolu za rok 1738 MWh, čemu odpovídá 3254 GJ vyrobeného tepla. Denní průměr je pak přibližně 9 GJ za den.

Ze všech zjištěných dat jsme schopni nakreslit diagram ročního trvání potřeby tepla. Diagram se nachází v příloze A. Pomocí toho diagramu lze navrhnout vhodný zdroj.

Na vodorovnou osu nalevo od průsečíku nanese průměrné denní teploty v topné sezóně (-15 °C až 13 °C), napravo jsou dny od nuly do 365. Pro topnou sezónu nám stačí rozsah 0 – 257 dní. Stejně hodnoty přeneseme do svislé osy pod průsečík. Nad ním jsou rovnoměrné díly od 0 do 1.

Průsečíkem teplot t_e a počtem dní. Získáme křivku trvání teplot.

Dle parametrů navrženého kotle na štěpku víme, že při maximálním výkonu vyrobí kotel 230 GJ tepla denně. Tabulku č. 15 jsme vytvořili doplněním předcházející tabulky o zdroje paliva v kotelně K7 a výpočet vyrobeného tepla při daných venkovních teplotách topné sezóny. Jelikož je žádoucí mít kogenerační jednotku v provozu co nejdéle (každý den předepsaný počet hodin), teplo získané za tuto dobu kogenerační jednotkou doplníme ke každému dni. Teplo se bude tvořit hlavně kotlem na biopalivo. V případě, že bude jeho výkon nedostačující, doplní se teplo z plynových kotlů.

V následující tabulce budeme simulovat stavy kotelny při různých průměrných denních teplotách. Výpočty se budou týkat vždy jednoho řádku, tj. pro jednu průměrnou teplotu. Odečtením tepla získaného z kogenerační jednotky od celkového tepla potřebného vytopení soustavy získáme teplo, které musí při dané venkovní teplotě vyrobit štěpkový kotel.

$$Q_{sden} = Q_D - Q_{Kden} \quad (4.4)$$

Tímto způsobem pokračujeme až do stavu, kdy výkon štěpkového kotle nestačí na výrobu požadovaného tepla. Z parametrů kotle víme, že denně vyrobí štěpkový kotel maximálně 230 GJ tepla. Chybějící teplo dopočítáme z hodnot v tabulce č.15 následujícím vztahem:

$$Q_{Pden} = Q_D - Q_{Kden} - Q_{sden} \quad (4.5)$$

Vynásobením denního tepla jednotlivých zařízení počtem dnů dostaneme roční výdej tepla štěpkového a plynového kotle při dané teplotě.

Odečtením všech dnů topné sezóny zjišťujeme, že mimo topná sezóna (dále jen léto) trvá 130 dní. V této době slouží vyrobené teplo pro ohřev TUV v objektech napojených na kotelnu K7. Průměrná spotřeba tepla v tomto období je dle současného provozovatele 46 GJ za den. V spodní části tabulky č.15, se dozvídáme, že celoročně soustava spotřebuje 51584 GJ tepla. Pokud jsme počítali správně, stejný výsledek dostaneme sečtením všech hodnot vyrobeného tepla zařízení v kotelně K7 v Jihlavě.

Tabulka č.15: Předpokládané bilance tepla

t_e průměrná teplota	dnů v roce	Q_D den	Q_C celkem	Q_{Kden} kogen den	Q_{Sden} štěpka den	Q_{Pden} plyn.kotel den	Q_{Srok} štěpka rok	Q_{Prok} plyn.kotel rok
°C	počet	[GJ]	[GJ]	[GJ]	[GJ]	[GJ]	[GJ]	[GJ]
-15	0,25	374	94	9	230	135	57,5	33,75
-14	1	365	365	9	230	126	230	126
-13	1	354	354	9	230	115	230	115
-12	1	345	345	9	230	106	230	106
-11	2	336	672	9	230	97	460	194
-10	2	327	654	9	230	88	460	176
-9	3	318	954	9	230	79	690	237
-8	3	309	927	9	230	70	690	210
-7	3	301	903	9	230	62	690	186
-6	4	292	1168	9	230	53	920	212
-5	5	284	1420	9	230	45	1150	225
-4	5	275	1375	9	230	36	1150	180
-3	6	266	1596	9	230	27	1380	162
-2	7	257	1799	9	230	18	1610	126
-1	9	248	2232	9	230	9	2070	81
0	12	240	2880	9	230	1	2760	12
1	14	232	3248	9	223	0	3122	0
2	15	224	3360	9	215	0	3225	0
3	16	215	3440	9	206	0	3296	0
4	15	203	3045	9	194	0	2910	0
5	14	190	2660	9	181	0	2534	0
6	13	175	2275	9	166	0	2158	0
7	13	158	2054	9	149	0	1937	0
8	12	144	1728	9	135	0	1620	0
9	11	130	1430	9	121	0	1331	0
10	10	118	1180	9	109	0	1090	0
11	10	105	1050	9	96	0	960	0
12	13	92	1196	9	83	0	1079	0
13	15	80	1200	9	71	0	1065	0
suma zima	235,25		45604	2117,25			41105	2382
suma léto	130	46	5980	1170				4810
Celkem	365,25		51584	3287			41105	7192

Zdroj: Zpracováno autorem

5 SPOTŘEBA ŠTĚPKY

5.1 Roční spotřeba

Výpočtem jsme zjistili, že při maximálním využití štěpkové kotle v topné sezóně je možné ze štěpky vyrobit 41105 GJ tepla za rok.

$$M = \frac{E \cdot 100}{Q_i^r \cdot \eta} \quad (5.1)$$

$$M = \frac{41105 \cdot 100}{8 \cdot 85,2}$$

$$M = 6030,6 \text{ t/rok}$$

E	– roční potřeba tepla na vytápění	[GJ]
Q_i^r	– výhřevnost paliva	[MJ/kg]
η	– reálná účinnost kotle	[%]

5.2 Denní a hodinová spotřeba

Dle parametrů kotle na biomasu je dané, že kotlem vyrobíme maximálně 230 GJ za den při plném výkonu. Z této hodnoty jsme schopni vypočítat denní a hodinovou spotřebu.

$$M_{den} = \frac{E_{den} \cdot 100}{Q_i^r \cdot \eta} \quad (5.2)$$

$$M_{den} = \frac{230 \cdot 100}{8 \cdot 85,2}$$

$$M_{den} = 33,7 \text{ t/den} \Rightarrow 33,7 \div 24 \text{ hodin} = \text{cca } 1,4 \text{ t/hodinu}$$

6 SKLADOVÝ PROSTOR

6.1 Celkové skladové prostory

Požadavek provozovatele kotelny byl, aby byla vytvořena zásoba paliva (štěpky) na dobu minimálně 10 dní. Za den vyrobíme štepkovým kotlem 230 GJ. Z poskytnutých měření víme, že na plný výkon (po dobu 24 hodin), by měl jít cca 48 dní v roce. Jedná se o dny s průměrnou teplotou pod $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Je teda pravděpodobné, že může nastat situace, kdy bude kotel v provozu celých 10 dní na plný výkon.

$$10 \text{ dní} \cdot 230 \text{ GJ/den} = 2300 \text{ GJ} \quad (6.1)$$

$$M_{10} = \frac{E \cdot 100}{Q_i^r \cdot \eta} \quad (6.2)$$

$$M_{10} = \frac{2300 \cdot 100}{8 \cdot 85,2} = 337,4 \text{ GJ}$$

- spotřeba za 10 dní při plném výkonu kotle

$$V = \frac{M \cdot 100}{m_s \cdot \eta_{sk}} \quad (6.3)$$

m_s – sypná hmotnost [t/m³]
 η_{sk} – objemová využitelnost skladu na uhlí [%]

Jelikož chci znát přesný potřebný objem, zadám za objemovou využitelnost 100%. Poté zvolím dle dispozice vhodný objem pro vypočtený objem. Po upravení bude mít vzorec tvar:

$$V = \frac{M_{10}}{m_s} \quad (6.4)$$

$$V = \frac{337,4}{0,28} = 1205 \text{ m}^3 \Rightarrow \text{cca } 340 \text{ tun}$$

Z dispozičního a funkčního hlediska navrhuji objem 1400 m³.

6.2 Denní zásobník paliva

$$V = \frac{M_1}{m_s} \quad (6.5)$$

$$V = \frac{33,7}{0,28}$$

$$V = 120,5 \text{ m}^3 \Rightarrow \text{cca } 34 \text{ tun}$$

Je navržen denní zásobník s kapacitou 160 m³, který odpovídá zásobě cca 27 hodin.

Celkově zásoba paliva pro štepkový kotel v kotelně K7 je na 11 dní při plném výkonu štepkového kotle.

7. HYDRAULICKÝ NÁVRH

Rozvody můžeme z hlediska proudění kapaliny, nebo jiné dopravní látky, rozdělit na:

- uzavřené - otopné a chladicí soustavy
- uzavřené - rozvody studené nebo teplé užitkové vody

V případě kotelny K7 a podobným případům, jsou koncové spotřebiče kotle, výměníky, větrací a chladicí jednotky, otopná tělesa a podobně. Po celé soustavě jsou umístěné armatury – regulační, uzavírací, měřicí a jiné.

Návrh probíhá následovně:

- určení potřebného množství dopravované látky
- určení DN potrubí
- výpočet tlakových ztrát
- určení dopravního tlaku čerpadla

7.1 Dimenzování potrubí

Kotelna je otopná soustava, která využívá k přenosu tepelné energie vodu. Aby docházelo k dostatečnému přenosu této látky a tím tepelné energie mezi zdrojem a spotřebičem, je zapotřebí udržet odpovídající parametry výkonu. Cílem projektanta je navrhnout soustavu tak, aby v určeném úseku soustavy protékalo dostatečné množství vody a současně se nemrhalo energií na čerpání přebytečného množství. [1]

Soustavy lze dělit na:

- Kvalitativní - sledující řízení teploty topného média při stálém průtoku
- Kvantitativní - umožňující změnu množství protékající topné látky při konstantní teplotě

Při dimenzování potrubí začínáme rozdělením soustavy na úseky dle požadovaného výkonu. Pro každý úsek zvlášť potřebujeme znát materiál, délku celého úseku, počet a typ armatur a zařízení na potrubí. Pro určení dimenze potrubí úseku musíme určit aspekty uvedené v následujících podkapitolách.

7.1.1 Pracovní tlak

Hydraulická soustava v kotelně K7 je s nuceným oběhem vody. Je vybavena oběhovými čerpadly. Celkový tlak soustavy p_h se určí vztahem (7.1):

$$p_h = p_{\zeta} + p_g \quad [\text{Pa}] \quad (7.1)$$

$$p_g = 0,7 \cdot g \cdot h \cdot (\rho_2 - \rho_1) \quad (7.2)$$

p_{ζ}	– pracovní tlak čerpadla	[Pa]
p_g	– část účinného vztlaku	[%]
h	– vzdálenost nejvyššího a nejnižšího místa	[m]
ρ_1	– hustota přiváděné vody	[kg.m ⁻³]
ρ_2	– hustota vratné vody	[kg.m ⁻³]

Část účinného vztlaku určujeme pouze u soustav budov nad pět podlaží. Důvodem je převládající tlak od čerpadla. Abychom mohli správně navrhnout čerpadlo, musíme znát jeho charakteristiku. Charakteristika čerpadla udává závislost tlaku na objemovém průtoku. V praxi se místo pracovního tlaku využívá výraz dopravní výška čerpadla.

7.1.2 Tlakové ztráty

Pokud by existoval ideální stav, čerpadlo by bylo navrženo na výškový rozdíl. Při proudění skutečných tekutin vznikají v potrubí tlakové ztráty. Jsou způsobeny třením v celém průtočném průřezu a délce a vřazenými odpory v potrubí a armaturách.

Jelikož se v kotelně nachází velké množství potrubních úseku, přikládám pouze příklady řešení. V tomto případě byl použit na celý hydraulický výpočet softwarový balík Protech. Pro dimenzování potrubí a získání informací o ztrátách potrubí jsem použil program Dimos. Do programu jsem zadal všechna potrubní úseky, včetně délky a všech vřazených odporů (armatury, tvarovky, atd.). Program mi po skončení výpočtu navrhoval různé dimenze potrubí pro každý úsek. Vhodným potrubím byl úsek s tlakovou ztrátou blízkí se $100 \text{ Pa}\cdot\text{m}^{-1}$. Je to optimální tlaková ztráta v potrubí a proto jsem se snažil vybírat tlakovou ztrátu co nejlíže k této hodnotě. Tímto způsobem se určí všechny dimenze ve všech potrubních úsecích kotelny K7. Zároveň z programu získáme informace potřebné pro navržení čerpadla. Každé čerpadlo má za úlohu přečerpávat jiné množství vody. Například kotlové čerpadla s pozičním číslem (6) musí nasát vratnou vodu z hlavní trasy, protlačit odpory armatur a kotle a vytlačit ohřátou vodu z kotle do hlavního přívodního potrubí. Pro přesné navržení těchto čerpadel je zapotřebí znát tlakovou ztrátu měřiče tepla, třicestného ventilu a kotle. Tlakové tráty tvarovek, klapek a filtru získáme z tabulky v příloze E.

Obrázek č.9: Protech-Dimos

Č.	Popis	Úč	Čpů	T kus	Spotřebič	Připojka	Podlaží	Lp m	Kolena	Oblouky	Q W	Trubka	DN	Fix DN	W m/s	Zpp	Zk	Editovat.	Typ L.RP	Typ Z.RP	Prvky
p 1		3			21-01			1,0	20,00	0	0	2000	LOG 4101	32		0,00	2,63				0-0
p 2		3	Sz	20-01				1,0	4,00	0	0	2000	LOG 4101	32		0,00	3,12				0-0
p 3		5						1,0	10,00	0	0		LOG 4101	40		0,00	1,54				0-0
p 4		5	Sz	19-01				1,0	4,00	0	0	2000	LOG 4101	32		0,00	2,85				0-0
p 5		7						1,0	10,00	0	0		LOG 4101	50		0,00	1,04				0-0
p 6		7	Sz	25-01				1,0	10,00	0	0	2000	LOG 4101	32		0,00	2,15				0-0
p 7		9						1,0	20,00	0	0		LOG 4101	65		0,00	0,76				0-0
p 8		9	Sz	18-01				1,0	20,00	0	0	2000	LOG 4101	32		0,00	2,86				0-0
p 9		11						1,0	20,00	0	0		LOG 4101	65		0,00	0,57				0-0
p 10		11	Sz	24-01				1,0	20,00	0	0	2000	LOG 4101	32		0,00	2,39				0-0
p 11		13						1,0	20,00	0	0		LOG 4101	80		0,00	95,89				0-0
p 12		13	Sz	17-01				1,0	20,00	0	0	2000	LOG 4101	32		0,00	2,93				0-0
p 13		15						1,0	20,00	0	0		LOG 4101	80		0,00	0,35				0-0
p 14		15	Sz	23-01				1,0	20,00	0	0	2000	LOG 4101	32		0,00	3,55				0-0
p 15		17						1,0	20,00	0	0		LOG 4101	80		0,00	0,27				0-0
p 16		17	Sz	16-01				1,0	20,00	0	0	2000	LOG 4101	32		0,00	4,25				0-0
p 17		19						1,0	20,00	0	0		LOG 4101	80		0,00	0,22				0-0
p 18		19	Sz	22-01				1,0	20,00	0	0	2000	LOG 4101	32		0,00	2,36				0-0
p 19		21						1,0	20,00	0	0		LOG 4101	100		0,00	0,17				0-0
p 20		21	Sz	15-01				1,0	20,00	0	0	2000	LOG 4101	32		0,00	2,66				0-0
p 21		23						1,0	40,00	0	0		LOG 4101	100		0,00	0,29				0-0
p 22		23	Sz	14-01				1,0	5,00	0	0	2000	LOG 4101	40		0,00	2,89				0-0
p 23		25						1,0	40,00	0	0		LOG 4101	100		0,00	0,08				0-0
p 24		25	Sz	13-01				1,0	10,00	0	0	2000	LOG 4101	32		0,00	3,52				0-0
p 25		27						1,0	30,00	0	0		LOG 4101	100		0,00	0,05				0-0
p 26		27	Sz	12-01				1,0	10,00	0	0	2000	LOG 4101	32		0,00	3,93				0-0
p 27		29						1,0	30,00	0	0		LOG 4101	100		0,00	0,03				0-0
p 28		29	Sz	11-01				1,0	10,00	0	0	2000	LOG 4101	32		0,00	4,36				0-0
p 29		31						1,0	30,00	0	0		LOG 4101	100		0,00	0,01				0-0
p 30		31	Sz	10-01				1,0	10,00	0	0	2000	LOG 4101	32		0,00	4,83				0-0
p 31		33						1,0	30,00	0	0		LOG 4101	100		0,00	-0,01				0-0
p 32		33	Sz	9-01				1,0	10,00	0	0	2000	LOG 4101	32		0,00	5,32				0-0

Zdroj: zpracováno autorem

7.1.3 Ztráta třením

V technické praxi často potřebujeme vypočítat tlakovou ztrátu třením v potrubí kruhového průřezu. Protože tato ztráta je závislá na řadě faktorů (rychlost proudění a teplota média, materiál a průměr potrubí atd.), pro její zjištění se většinou používají tabulky nebo nomogramy. Tabulky jsou však sestaveny pouze pro určitou teplotu a materiál potrubí, což vzhledem k pestrosti nabídky rozměrových řad a používaných teplot médií znamená vlastnit pořádně tlustý katalog sestavený pouze z tabulek. Další možností je využití softwaru. [5]

Pokud nemáme k dispozici software, využili bychom následující rovnice.

$$p_{zt} = \frac{\lambda}{d} \cdot \rho \cdot \frac{w^2}{2} \cdot l \quad (7.3)$$

p_{zt} – tlaková ztráta třením	[Pa]
λ – součinitel tření	[-]
d – vnitřní průměr potrubí	[m]
ρ – hustota kapaliny	[kg.m ⁻³]
w – rychlost proudění kapaliny v potrubí	[m.s ⁻¹]
l – délka potrubí (1 metr)	[m]

Jak je známo z fyzikálních zákonů, hustota vody se s měnící teplotou také mění. Musíme teda zjistit teplotu vody proudící našim úsekem a skutečnou hustotu vypočítat vztahem (7.4).

$$\rho = 1000 - (t - 4) \cdot [0,097 + 0,0036 \cdot (t - 4)] \quad (7.4)$$

t – teplota vody	[°C]
--------------------	------

Abychom mohli vypočítat součinitele tření, potřebujeme znát typ proudění z Reynoldsova čísla Re .

$$\lambda = \frac{w \cdot d}{\nu} \quad (7.5)$$

ν – kinematická viskozita	[m ² .s ⁻¹]
-------------------------------	------------------------------------

Součinitel tření λ se počítá rozdílně, podle typu proudění kapaliny v potrubí. Kritériem je hodnota Reynoldsova čísla Re .

Tabulka č.16: Součinitel tření

$Re \leq 2320$ laminární proudění	$2320 < Re < 4000$ - přechodová oblast (interpolace krajních hodnot)	$Re \geq 4000$ turbulentní proudění (Colebrookova rovnice)
$\lambda = \frac{64}{Re}$	$\lambda_{2320} = \frac{\lambda_{4000} - \lambda_{2320}}{4000 - 2320} \cdot (Re - 2320)$	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log\left(\frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71 \cdot d}\right)$

Zdroj: [http://izb-info.cz](http://izb-info.cz;); [19.5.2012]

7.1.4 Ztráta vřazenými odpory

Dalším kritériem, které negativně ovlivňuje proudění v potrubí, jsou ztráty vřazenými odpory. V úseku se nachází otopné prvky (kotel, otopná tělesa, rozdělovač, atd.). Dále se k vřazeným odporům řadí tvarovky (ohyby, kolena, t-kusy, atd.) a armatury. Každý komponent má svojí hodnotu odporu ξ . Pro vybraný úsek potrubí

zjistíme druhy a počty odporů a s hodnotami získanými z přílohy E vypočítáme vztahem (7.6) celkovou ztrátu vřazenými odpory v daném úseku.

$$p_{zm} = \xi \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad [Pa] \quad (7.6)$$

ξ –	součinitel místního odporů (viz. příloha C)	[-]
w –	rychlost proudění kapaliny v potrubí	[m.s ⁻¹]
ρ –	hustota kapaliny	[kg.m ⁻³]

7.2 Zabezpečovací zařízení

Každý zdroj tepla musí být vybaven neuzavíratelně připojeným pojistným zařízením. Každá tepelná soustava musí být vybavena expanzním zařízením, které zpracuje změny objemu vody v soustavě, a to bez nedovoleného zvýšení přetlaku a bez zbytečných ztrát oběhové vody. Pojistné a expanzní zařízení musí být chráněno proti zamrznutí. Pokud pojistnému potrubí s nádobou hrozí zamrznutí, musí být do pojistného místa osazen i pojistný ventil. U soustav vertikálně rozdělených na více pásem z důvodů tlakové odolnosti použitých prvků, musí být každé pásmo vybaveno samostatným expanzním zařízením.

7.2.1 Expanzní zařízení

Expanzní zařízení se rozdělují podle zdroje přetlaku, kterým může být:

- hydrostatický tlak (svislé potrubí s nádobou),
- expanzní čerpadlo s expanzní (přepouštěcí) armaturou,
- přetlak plynového nebo parního polštáře působícího buď přímo na vodní hladinu soustavy nebo přes membránu či vak s konstantním či proměnným množstvím plynu.

Tlakové expanzní nádoby se vzduchovým polštářem bez membrány či vaku se nedoporučují. Oběhovou vodu o vyšším přetlaku, např. z primáru, nelze použít pro udržování přetlaku v sekundáru, neboť při přepouštění z primáru do sekundáru a dále ze sekundáru do odpadu dochází ke ztrátě vody. Primární vodu lze použít pro doplňování (krytí drobných úbytků vody) do sekundáru s expanzním zařízením. Expanzní zařízení může být využito i jako zařízení pojistné, pokud toto zařízení bude navrženo podle ustanovení pro pojistná zařízení. Přepadové potrubí otevřené expanzní nádoby musí být svedeno na kontrolované místo a musí mít průměr nejméně takový, jako má:

- pojistné potrubí, pokud je do nádoby zavedeno,
- expanzní potrubí, pokud nádoba není součástí pojistného zařízení.

Vodorovná vzdálenost mezi svislými osami otevřené expanzní nádoby a zdrojem tepla má být co nejmenší. Celková vodorovná délka pojistného potrubí nemá překročit desetinásobek převýšení vodorovné části pojistného potrubí nad vrchem zdroje tepla. Za nejvhodnější provedení expanzního (přepouštěcího) ventilu se považuje elektromagnetický ventil, který při výpadku elektrické energie uzavře expanzní potrubí. Při použití expanzního čerpadla s tlakovým přínosem větším než je nejvyšší dovolený přetlak, musí být v expanzním bodě osazen pojistný ventil, dimenzovaný na výkon expanzního čerpadla a tlakoměr s vyznačením provozních přetlaků. Tento požadavek je zbytečný v případě, když expanzní bod je v pojistném místě. V místě, kde je na soustavu připojeno doplňovací zařízení, je nutno osadit pojistný ventil dimenzovaný na

výkon doplňovacího zařízení a tlakoměr s vyznačením provozních přetlaků. Tento požadavek je zbytečný v případě, když je doplňování prováděno v pojistném místě. Při použití expanzního čerpadla se musí zajistit blokování běhu toho čerpadla při poklesu hladiny v expanzní nádobě pod minimální úroveň. [3]

Výpočet expanzního zařízení

Objem soustavy

$$V_0 = \sum V_n = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \quad (7.7)$$

$$V_0 = 10 + 250 + 131 + 1$$

$$V_0 = 392m^3$$

V_0 – celkový objem soustavy.

V_1 – objem vody v kotelně	10 m ³
V_2 – objem akumulátorů	250 m ³
V_3 – objem vody v potrubní síti	131 m ³
V_4 – objem vody v předávacích stanicích	1 m ³

Celkový objem soustavy je tedy 392 m³.

Expanzní objem

$$V_c = 1,3 \cdot V_0 \cdot \Delta v = 1,3 \cdot 392 \cdot 0,012 = 6,115m^3 \quad (7.8)$$

Δv - součinitel objemové roztažnosti vody. Je stanoven z grafu v normě ČSN 06 0830. teplotní spád soustavy 100/60 °C.

$$t_s = \frac{t_p + t_s}{2} = \frac{100 + 60}{2} = 80^\circ C \quad (7.9)$$

$$\Delta t = t_s - t_{\min} = 80 - 40 = 40^\circ C \quad (7.10)$$

$$t_{\min} = 40^\circ C$$

$$\Delta t = 40^\circ C \Rightarrow \Delta v = 0,012$$

Provozní expandovaný objem soustavy je 6,115 m³.

Jako expanzní zařízení je navržen hydraulický modul REFLEX GIGAMAT GH50 včetně základní GG nádoby o objemu 3000 litrů a přídatné GF nádoby o objemu 3000 litrů. Pro vyrovnání provozních objemových kmitů bude do soustavy zapojena expanzní membránová nádoba REFLEX N 200/6 o objemu 200 litrů. Celkový objem expanzních nádob je 6200 litrů. Při najíždění soustavy ze studeného stavu popřípadě vychlazení do studeného stavu je nutno doplnit popřípadě odpustit 3200 litrů topné vody.

7.2.2 Pojistné zařízení

Pojistné zařízení musí být připojeno na zdroj tepla v pojistném místě. Dále musí být do pojistného místa osazen teploměr a tlakoměr, snímač teploty, případně snímač přetlaku a nedostatku vody. V pojistném místě nesmí být uzavírací armatura a zúžení potrubí. Na pojistném potrubí zdroje tepla mohou být osazeny pouze takové armatury, které za všech provozních stavů dovolují spojení zdroje tepla s pojistným zařízením či s atmosférou (např. zpětné či střídací armatury), a které mají DN stejný jako je DN pojistného potrubí. Průměr společného potrubí musí být stanoven tak, aby pojistné potrubí přeneslo výkon daný součtem výkonů všech zdrojů tepla.

Ochrana zdroje tepla, případně soustavy, proti překročení nejvyššího dovoleného přetlaku musí být navržena tak, aby odvedla množství teplotné látky, které by vzniklo provozem zdroje tepla bez odběru tepla, případně při dopouštění vody do soustavy. Může být provedena buď hydrostaticky, tj. sloupcem vody v pojistném potrubí zakončeném nádobou, nebo pojistným ventilem. Je dovoleno oba způsoby kombinovat, zejména v těch případech, kdy hrozí nebezpečí zamrznutí. Zdroje tepla se zařazují do čtyřech skupin podle skupenství vody, které by odcházelo ze zdroje tepla a z pojistného zařízení v případě, že by zdroj pracoval bez odběru tepla. Dimenzování částí pojistného zařízení se provádí s ohledem na skupenství vody, které vstupuje a vystupuje z pojistného zařízení při uvedeném stavu. [3]

Do jedné skupiny patří výměníky tepla, ohřívače vody, ejektory a redukční a směšovací zařízení. Do skupiny druhé patří kotle. Každý zdroj tepla musí být vybaven alespoň jedním pojistným ventilem chránícím soustavu proti překročení nejvyššího provozního přetlaku. Jestliže není zdroj tepla dodáván s pojistným ventilem, musí být instalován v zařízení co nejbližže zdroji tepla. Při použití více pojistných ventilů musí mít nejmenší ventil kapacitu nejméně 40 % z celkového pojistného výkonu. Pojistný ventil musí být navržena na celkový přetlak vzniklý v zařízení nebo jeho části. Dále musí:

- být v souladu s požadavky EN 1268-1, s nejmenším rozměrem DN 15,
- otevřít při přetlaku nepřesahujícím nejvyšší návrhový přetlak soustavy a být navržena tak, aby nejvyšší provozní přetlak nebyl překročen o více než 10 %,
- být namontován tak, aby tlaková ztráta v přívodním potrubí nepřekročila 3 % a tlaková ztráta ve výfukovém potrubí byla nižší než 10 % nastaveného přetlaku pojistného ventilu.

U pojistného potrubí za pojistným ventilem nesmí být zmenšován vnitřní průměr. Pojistné ventily musí být umístěny v přístupném místě a to buď na zdroji tepla, nebo v jeho těsné blízkosti na výstupním potrubí ze zdroje tepla. Vhodnou montáží je nutno zajistit odvod uvolněné teplotné látky pojistným ventilem bezpečně pro okolí, přičemž voda by měla být v bezpečné vzdálenosti svedena trubkou pojistného ventilu do odvodnění. Zvláštní opatření se uplatní u zdrojů tepla se jmenovitým tepelným výkonem vyšším než 300 kW. Výfukové potrubí pojistného ventilu musí mít odlučovač vody a páry v těsné blízkosti ventilu a výfukové parní potrubí vedoucí do ovzduší.[3]

Výpočet pojistného zařízení

Vycházíme z předpokladu, že pojistný ventil musí bezpečně a spolehlivě odvézt pojistný výkon ze zdroje tepla (v našem případě kotel). Průřez pojistného ventilu pro vodu vypočítáme vztahem:

$$S_0 = \frac{Q_p}{\alpha_v \cdot \sqrt{p_{ot}}} \quad [mm^2] \quad (7.11)$$

$$S_0 = \frac{2500}{0,5 \cdot \sqrt{600}}$$

$$S_0 = 204 \text{ mm}^2$$

Pojistný výkon potřebný ve vztahu vypočítáme:

- pro výměník

$$Q_p = 2 \cdot Q_n \quad (7.12)$$

- pro kotel a ostatní zdroje

$$Q_p = Q_n \quad (7.13)$$

α_v –	výtokový součinitel pojistného ventilu (udává výrobce)	[-]
p_{ot} –	otevírací přetlak pojistných ventilů	[kPa]
Q_n –	jmenovitý výkon zdroje	[kW]

Vnitřní průměr pojistného potrubí ventilu

$$d_v = 10 + 0,6 \cdot \sqrt{Q_p} \quad [mm] \quad (7.14)$$

V kotelně K7 se nachází pojistné ventily jak pro výměníky (ekonomizéry), tak pro kotle. Také pro tento návrh existuje řada aplikací a softwaru. Základními parametry pro zadání výpočtu je otevírací přetlak ventilu p_{ot} a jmenovitý výkon zdroje Q_n .

Pojistné zařízení je jedna z nejdůležitějších aktivních ochran. Pojistný ventil je relativně levná armatura v porovnání se zařízením, které dokážeme jeho nainstalováním zachránit.

8. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

8.1 Investiční náklady

Výchozím podkladem pro stanovení cen byly indikativní nabídky výrobců základních zařízení a ukazatele z obdobných realizovaných staveb.

Technologie celkem:	28 345 000,- Kč
Stavba celkem:	7 690 000,- Kč
<u>Elektroinstalace a MaR:</u>	<u>1 600 000,- Kč</u>
<i>Náklady na výstavbu celkem</i>	<i>37 635 000,- Kč</i>
Projektová dokumentace	1 700 000,- Kč
Vedlejší rozpočtové náklady a inženýrská činnost	3 010 800,- Kč
<u>Celkové investiční náklady bez DPH</u>	<u>42 345 800,- Kč</u>
Celkové investiční náklady s DPH	50 391 502,- Kč

8.2 Stanovení provozních nákladů

Výchozím podkladem byly údaje z jiných obdobných provozů.

Proměnné náklady:

Palivo: biomasa:	6030,6 t/rok	á 800,-	4 824 480,- Kč/rok
Elektřina: kotelna-plyn			53 000,- Kč/rok
kotelna-štěpka			41 700,- Kč/rok
Plyn kogenerační jednotka	1738 MWh	á 1138,-	1 977 844,- Kč/rok
plynový kotel	3802 MWh	á 1138,-	4 327 549,- Kč/rok
Vodné, stočné:	36 m ³ /rok	á 48,-	1 728,- Kč/rok
Emise: určí se z měření emisí,	cca 5 tis./rok		5 000,- Kč/rok
Popel: odvoz do vzdálenosti 15 km:	450,- Kč/t		
poplatek na skládce:	550,- Kč/t		
	20 t/rok	á 1000,- Kč/t	20 000,- Kč/rok
<i>Proměnné náklady celkem:</i>			<i>11 251 298,- Kč/rok</i>

Stálé náklady:

Mzdy a pojištění: předpoklad - mzda jednoho topiče	240 000,- Kč/rok
Provoz nakladače štěpky (pronájem 700 Kč/hod):	67 200,- Kč/rok
Opravy, údržba, materiál:	25 000,- Kč/rok
Revize, služby, ostatní:	18 000,- Kč/rok
Pojištění:	12 000,- Kč/rok
<u>Režie:</u>	<u>24 000,- Kč/rok</u>
<i>Stálé náklady celkem:</i>	<i>386 200,- Kč/rok</i>

Provozní náklady celkem: 11 637 498,- Kč/rok

8.3 Výnosy

Předpokládaná prodejní cena tepla:	400,- Kč/GJ	
Teplο: prodej	51 584 GJ/rok á 400,-	<u>20 633 600,- Kč/rok</u>

8.4 Návratnost investice

Při výpočtu návratnosti se vycházelo z předpokladu, že investor zaplatí 100 % investičních nákladů za rekonstrukci kotelny ze svých prostředků.

Celkové roční provozní náklady:	11 637 498,- Kč/rok
Výnosy:	20 633 600,- Kč/rok
<i>Čistý roční zisk:</i>	<i>8 996 102,- Kč/rok</i>
Investice do rekonstrukce:	50 391 502,- Kč
<u>Návratnost</u>	<u>5,6 let</u>

ZÁVĚR

Z diplomové práce vyplývá, že investor, který se rozhodne modernizovat kotelnu s přihlédnutím na moderní trendy vytápění, může použít variantu uvedenou v této práci. Je navržena dle platných norem a vyhlášek. Pokud kotelnu K7 v Jihlavě upraví dle této práce, byla by to moderní kotelna s využitím ekologických trendů se spalováním biomasy. Počítá se s nejvyšší mírou využití kogenerační jednotky a kotle na štěpku. Při poklesu spotřeby tepla se štěpkový kotel odstaví a bude využíván jeden z plynových kotlů. Chod kotle na biomasu je omezen na minimální výkon. V případě poruchy na plynovém vedení nebo odstávky plynu se počítá se zálohou ve formě kombinovaného hořáku na druhém kotli. Ten bude díky nádrži schopný okamžitého provozu na několik dní. Pokud bychom instalovali štěpkový kotel s vyšším výkonem, musel by být odstaven mnohem dříve a vzrostla by celoroční spotřeba plynu.

Informace, které jsem shrnul do této práce, sice obsahují všechna důležitá a podstatná fakta, ale informací potřebných k zhotovení projektu a kompletního návrhu podobné kotelny je mnohem víc. Zkušenosti jsou v tomto oboru nejsilnější zbraní. Jako nezkušený projektant jsem několikrát předělával dispoziční řešení kotelny. Nejčastějším prohřeškem byl nedostatečný prostor pro obsluhu nebo montáž a předepsané průchozí rozměry. Jelikož se jednalo o úpravu stávající kotelny, musel jsem návrh zakomponovat do již postavené budovy. Další chybou v prvotním návrhu byla absence armatur, potřebných k výměně čerpadel, nebo k uzavření okruhu při servisu zařízení. Tyto i další nedostatky se díky studiu norem a jiných publikací a radám kolegů postupně odstranili. Při vypracovávání této diplomové práce jsem se dozvěděl velké množství informací, které mi pomohou v profesním životě. Jelikož jsou to informace v oboru, ve kterém pracuji, jsou pro mne o to cennější. Neměl jsem představu, jak rozsáhlé informace a zkušenosti musí mít člověk, nebo spíše tým lidí, aby mohli dokončit projekt tohoto typu. Vypracování diplomové práce na toto téma bylo pro mne přínosné. Po této zkušenosti jsem dosáhl úrovně, kdy dokážu navrhnout schéma podobného systému. Zdokonalil jsem se v návrhu zařízení a soustavy a získal zkušenosti, které jsou přínosné pro mou profesní specializaci. Inženýr, který by měl na starosti stejný nebo podobný projekt musí ale řešit daleko více aspektů. Při řešení této diplomové práce jsem si uvědomil, že pro správné zhotovení kompletního projektu, musí mít projektant znalosti z energetiky a teplotnictví, vzduchotechniky, plynárenství a základní znalosti ze stavebního oboru.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

KNÍŽNÍ PUBLIKACE

- [1] CIHLÁŘ, J. a kol. *Technická zařízení budov*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 1998, ISBN 80-214-1142-2
- [2] VALENTA, V. a kol.: *Topenářská příručka*. Praha: GAS s.r.o., 2001. ISBN 80-86176-82-7 (sv.1), ISBN 80-86176-83-5 (sv.2)
- [3] VALENTA, V. a kol.: *Topenářská příručka*. Praha: Agentura ČSTZ, s.r.o., 2007. ISBN 978-80-86028-13-2 (sv.3)
- [4] KUREŠ, J. *Spalování paliv a hořlavých odpadů v ohništích průmyslových kotlů*. Praha: SNTL, 1985

INTERNETOVÉ ZDROJE

- [5] Info – Technická zařízení budov [online].2012[cit.2012-03-05]. Přibližný výpočet tlakové ztráty třením v porubí. Dostupné z WWW: < <http://www.tzb-info.cz/1002-priblizny-vypocet-tlakove-ztraty-trenim-v-potrubi> >
- [6] Kódování KKS [online].2012[cit.2012-01-04]. Jednotný systém KKS. Dostupné z WWW: < <http://www.sa1960.cz> >

TECHNICKÉ NORMY

- ČSN EN 10 253-1. *Potrubi tvarovky pro přivaření tupým svarem: Část 1: Uhlíková ocel k tváření pro všeobecné použití bez zvláštních kontrolních požadavků*. Praha: Český normalizační institut, 2001.
- ČSN EN 10 253-2. *Potrubi tvarovky pro přivaření tupým svarem: Část 2: Nelegované a feritické oceli se stanovením požadavků pro kontrolu*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- ČSN EN 13 470. *Tepelně izolační výrobky pro zařízení budov a průmyslové instalace: Stanovení objemové hmotnosti předem tvarované izolace potrubí*. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- ČSN EN 13 467. *Tepelně izolační výrobky pro zařízení budov a průmyslové instalace: Stanovení rozměrů, pravoúhlosti a linearitu předem tvarované izolace potrubí*. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- ČSN EN 14 707+A1. *Tepelně izolační výrobky pro zařízení budov a průmyslové instalace: Stanovení nejvyšší provozní teploty předem tvarované izolace potrubí*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- ČSN EN 746-1+A1. *Průmyslová tepelná zařízení: Část 1: Všeobecné bezpečnostní požadavky na průmyslová tepelná zařízení*. Praha: Český normalizační institut, 2010.
- ČSN EN 746-2. *Průmyslová tepelná zařízení: Část 2: Bezpečnostní požadavky na zařízení ke spalování a manipulaci s palivy*. Praha: Český normalizační institut, 2011.

ČSN EN 764-7. *Tlaková zařízení: Část 7: Bezpečnostní systémy pro netopená tlaková zařízení*. Praha: Český normalizační institut, 2003.

ČSN EN 81346-1. *Průmyslové systémy, instalace a zařízení a průmyslové produkty - Zásady strukturování a referenční označování: Část 1: Základní pravidla*. Praha: Český normalizační institut, 2010.

ČSN ISO 14617-3. *Grafické značky pro schémata: Část 3: Spojení a související zařízení*. Praha: Český normalizační institut, 2003.

ČSN ISO 14617-8. *Grafické značky pro schémata: Část 8: Ventily a tlumiče*. Praha: Český normalizační institut, 2004.

ČSN ISO 14617-9. *Grafické značky pro schémata: Část 9: Čerpadla, kompresory a ventilátory*. Praha: Český normalizační institut, 2004.

ČSN 13 0108. *Potrubí: Provoz a údržba potrubí: Technické předpisy*. Praha: Český normalizační institut, 1976.

ČSN 13 4309-1. *Průmyslové armatury. Pojistné ventily.: Část 1: Termíny a definice*. Praha: Český normalizační institut, 1993.

ČSN 13 4309-2. *Průmyslové armatury. Pojistné ventily.: Část 2: Technické požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 1994.

ČSN 13 4309-3. *Průmyslové armatury. Pojistné ventily.: Část 3: Výpočet výtoků*. Praha: Český normalizační institut, 1994.

ČSN 38 6405. *Plynová zařízení: Zásady provozu*. Praha: Český normalizační institut, 1988.

ČSN 73 4201. *Komíny a kouřovody: Navrhování, provádění a připojování spotřebičů paliv*. Praha: Český normalizační institut, 2010.

ČSN 73 4210. *Komíny - Metody zkoušení systémových komínů: Část 1: Všeobecné zkušební metody*. Praha: Český normalizační institut, 2005.

ČSN 06 0310. *Tepelné soustavy v budovách: Projektování a montáž*. Praha: Český normalizační institut, 2006.

ČSN 06 0320. *Tepelné soustavy v budovách: Příprava teplé vody: Navrhování a projektování*. Praha: Český normalizační institut, 2006.

ČSN 06 0830. *Tepelné soustavy v budovách: Zabezpečovací zařízení*. Praha: Český normalizační institut, 2006.

ČSN 07 0703. *Kotelny se zařízeními na plynná paliva*. Praha: Český normalizační institut, 2005.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

SYMBOLY A ZKRATKY

Označení	Význam	Jednotka
A	Ampér – jednotka elektrický proud	-
A _r	Vlhkost popele	%
á	Za kus	-
c	Měrná tepelná kapacita	kJ/kg.°C
ČSN	Česká technická norma	-
DN	Jmenovitá světlost potrubí	mm
d	Průměr	mm
d	Výtokový součinitel pojistného potrubí	-
DPH	Daň z přidané hodnoty	-
ELTO	Extralehký topný olej	-
E	Roční potřeba tepla	GJ
EN	Evropská norma	-
h	Výška	m
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise	-
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci	-
J	Joule – jednotka energie a práce	-
Kč	Korun českých - měna	-
KKS	Elektrárenský identifikační systém	-
ks	Kus	-
KJ	Kogenerační jednotka	-
K1	Kotel na štěpku – označení	-
K2	Kotel s plynovým hořákem – označení	-
K3	Kotel s kombinovaným hořákem – označení	-
K7	Kotelna v Jihlavě, U Hřbitova – označení	-
l	Délka	m
l	Litr – jednotka objemu	-
LPG	Zkapalněný ropný plyn: propan-butan	-
LTO	Lehký topný olej	-
M	Spotřeba štěpky	t/čas
m	Metr – jednotka délky	-
MaR	Měření a regulace	-
m _s	Sypná hmotnost	t/m ³
m.n.m	Metrů nad mořem	-
P	Příkon, výkon	w
p	Tlak	Pa
Pa	Pascal – jednotka tlaku	-
p _č	Pracovní tlak čerpadla	Pa
p _g	Část účinného vztlaku	%
PID	Regulátor s proporcionální, integrační a derivační částí	-
p _{ot}	Otevírací přetlak pojistných ventilů	kPa
P _{zm}	Tlaková ztráta vřazenými (místními) odpory	Pa
P _{zt}	Tlaková ztráta třením	Pa
Q _n	Jmenovitý výkon	kW
Q _p	Pojistný výkon	kW
Q _x	Tepelný výkon	kW

Q_i^r	Výhřevnost paliva	MJ/kg
Re	Reynoldsovo číslo	-
S_0	Průřez pojistného ventilu	mm ²
t	Čas	s
t	Teplota	°C
t	Tuna – jednotka hmotnosti	-
t_e	Průměrná teplota	°C
t_s	Teplotní spád	°C
TTV	Teplá topná voda	-
TUV	Teplá užitková voda	-
V	Objem	m ³
VZT	Vzduchotechnika	-
W	Watt – jednotka výkonu	-
w	Rychlost proudění kapaliny v potrubí	m.s ⁻¹
x	Index označování (A-větev A, B-větev B, C-celkem...)	-
Δt	Teplotní rozdíl	°C
ΔV	Součinitel objemové roztažnosti vody	-
α_v	Výtokový součinitel	-
η	Reálná účinnost kotle	%
η_{sk}	Objemová využitelnost skladu	%
λ	Součinitel tření	-
ν	Kinematická viskozita	m ² .s ⁻¹
ξ	Součinitel místních odporů	-
ρ	Hustota	kg.m ⁻³
\emptyset	Průměr	mm
°C	Stupeň Celsia – jednotka teploty	-
m	Hmotnostní průtok	kg/s

NÁSOBKY A ZLOMKY

P	peta	1 000 000 000 000 000	10 ¹⁵		
T	tera	1 000 000 000 000	10 ¹²	(bilion)	
G	giga	1 000 000 000	10 ⁹	(miliarda)	
M	mega	1 000 000	10 ⁶	(milion)	
k	kilo	1 000	10 ³		
h	hekto	100	10 ²		
da	deka	10	10 ¹		
		1			
d	deci	0,1	10 ⁻¹	(desetina)	1/10
c	centi	0,01	10 ⁻²	(stotina)	1/100
m	mili	0,001	10 ⁻³	(tisícina)	1/1000
μ	mikro	0,000 001	10 ⁻⁶	(miliontina)	1/1 000 000



SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A: Diagram trvání potřeb.....	I
PŘÍLOHA B: Měřené a vypočtené hodnoty soustavy	II
PŘÍLOHA C: Technologické schéma.....	III
PŘÍLOHA D: Dispozice kotelny	IV
PŘÍLOHA E: Součinitel místních odporů	V



PŘÍLOHA A

Název: Diagram trvání potřeb
Typ: Výkres
Formát: 2x A4 (A3)



PŘÍLOHA B

Název: Měřené a vypočtené hodnoty soustavy
Typ: Tabulka
Počet stran: 4



PŘÍLOHA C

Název: Technologické schéma

Typ: Výkres

Formát: 15x A4

Příloha je umístěná v obálce na zadní desce.

PŘÍLOHA D

Název: Dispozice Kotelny

Typ: Výkres

Formát: 8x A4 (A1)

Příloha je umístěná v obálce na zadní desce.



PŘÍLOHA E

Název: Součinitel místních odporů

Typ: Tabulka

Počet stran: 2