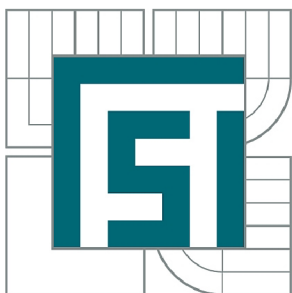




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

HOŘÁKY NA KAPALNÁ A PLYNNÁ PALIVA

BURNERS FOR LIQUID AND GASEOUS FUELS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

LILIIA ZAIDULLINA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR KRACÍK

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2014/15

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Liliia Zaidullina

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Energetika, procesy a životní prostředí (3904R032)**

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 bakalářské práce:

Hořáky na kapalná a plynná paliva

v anglickém jazyce:

Burners for liquid and gaseous fuels

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Náplní práce je popsat základní koncepce konstrukcí hořáků na kapalná a plynná paliva

Cíle bakalářské práce:

- popište základní konstrukční prvky hořáků na kapalná a plynná paliva a technologii, která je nutná pro jejich provoz
- jaké zákonné rámce ovlivňují koncepci hořáků a co musí splňovat
- popište základní metodiku návrhu hořáků z pohledu termomechaniky

Seznam odborné literatury:

VESELÝ, Stanislav. Spalovací komory: termodynamika a základy konstrukce. Brno: [s.n.], 2007, 237 s. ISBN 9788025404188.

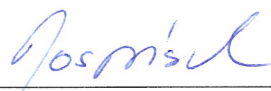
Normy a firemní literatura

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Kracík

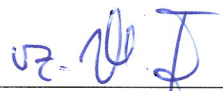
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně, dne 29.10.2014





doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
Ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zaměřuje na hořáky na kapalná a plynná paliva, a to především s podrobnějším zaměřením na hořáky využívané v průmyslových technologiích. Jedná se o podrobnou rešerši dostupných materiálů včetně odborné literatury a internetových stránek s cílem popsat klasifikace a konstrukce hořáků, jejich provoz a taky zákonné rámce, které musí splňovat.

Tato práce se soustředí na tři hlavní cíle. Prvním cílem je popsat jednotlivé druhy hořáků, základní koncepce konstrukcí hořáků na kapalná a plynná paliva. Obvykle, konstrukce hořáků závisí na technologických podmínkách jejich aplikace. Druhým cílem je popsat zákonné rámce a základní parametry hořáků. Popsané normy se vztahují na průmyslové hořáky, které pracují na plynná a kapalná paliva, a které spalují směs paliva se vzduchem. Normy se nevztahují na hořáky, ve kterých pro intenzifikaci procesu hoření používá dodatečné prostředky (elektrickou nebo akustickou energii, kyslík a podobně). Třetím stěžejním cílem bylo popsat metodu pro navrhování a výpočtu hořáků.

Klíčová slova

Hořák, kapalná paliva, plynná paliva, stechiometrie, návrh hořáku

Abstract

This Bachelor's thesis is focused on the burners for liquid and gaseous fuels, primarily on the ones that are used in industrial technological equipment. This is a detailed research of available sources including publications and websites in order to describe the classification and construction of burners and their operation and also standards that must be observed.

Three main objectives were defined for the paper. The first one is to describe the different types of burners, the basic construction concept of the burners on liquid and gaseous fuels. Usually, the construction of the burner depends on technological conditions of their application. The second objective is to describe the legal standards and basic parameters of the burners. These standards are applicable to industrial burners for gaseous and liquid fuels, which burn with mixture air and fuel. The standards cannot be applied to the burners, in which the additives such as electric or acoustic energy and oxygen. The third objective is to describe the method of offering and calculating burners.

Keywords

Burner , liquid fuels , gaseous fuels , stoichiometry

Bibliografická citace

ZAIDULLINA, L. *Hořáky na kapalná a plynná paliva*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 48 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Kracík.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem použila pouze těch zdrojů, které uvádím v bibliografii.

V Brně dne 27.05.2015

Zaidullina Liliia

Poděkování

Rád bych poděkovala zejména vedoucímu své závěrečné bakalářské práce panu Ing. Petru Kracíkovi, za odborné vedení, konzultace a věcné rady, které mi poskytoval a kterých jsem využila pro napsání této bakalářské práce.

V Brně dne 27.05.2015

Zaidullina Liliia

Obsah

1 ÚVOD	14
2 HOŘÁKY	15
2.1 Použití hořáku:	15
2.2 Hlavní částí hořáku	15
3 ROZDĚLENÍ HOŘÁKŮ	16
3.1 Hořáky na kapalná paliva	16
3.1.1 Mechanismus hoření	17
3.1.2 Základní princip	17
3.1.3 Základní komponenty	19
3.2 Hořáky na plynná paliva	26
3.2.1 Rozdělení	26
3.2.2 Konstrukce plynového hořáku	27
3.2.3 Proces hoření plynových hořáků	28
3.2.4 Injekční hořáky	28
3.2.5 Hořáky s nuceným přívodem vzduchu	29
3.3 Kombinované hořáky	30
3.4 Podle typu regulace výkonu	31
4 NORMY A NÁVRH HOŘÁKU	32
4.1 Zákonem rámce, které musí splňovat hořáky	32
5 TEORIE SPALOVÁNÍ	34
5.1 Základní reakce	34
5.2 Spotřeba vzduchu na spalování a množství produktů spalování paliva	35
6 VÝPOČET HOŘÁKU	40
6.1 Výpočet a návrh hořáku	40
6.2 Výpočet účinnosti spalování	41
6.3 Hořák na plyn nebo na kapalná paliva?	41
7 ZÁVĚR	45
8 ZDROJE	46
Seznam příloh	48

1 ÚVOD

Cílem výběru technologií spalování paliva je jedním z hlavních úkolů při navrhování kotlů. K hlavním cílům při návrhu kotlů patří také výběr způsobu odstranění škodlivých látek, typu hořáků a jejich rozložení v ohništi, spolehlivost a účinnost. Nejlepší využití paliva by měla být zajištěné jak při základním režimu zatížení, tak v celém provozním rozsahu výkonu kotle, pokud je to možné.

Hořáky jsou základním prvkem topného systému tepelné jednotky využívající kapalná nebo plynná paliva. Správná volba hořáku, racionální smontování na stroji a dodržení provozních podmínek mají vliv na účinnost a rentabilitu, a někdy i na výkon, celého zařízení. Konstrukční zvláštnosti přímo ovlivňují schema přívodu paliva a vzduchu ke stroji. Schema smíchaní přiváděných médií, intenzity hoření paliva a složení spalin ovlivňuje aerodynamickou strukturu plamene. Práce hořáku přímo souvisí s bezpečnostným provozem tepelných agregátů, a to zejména v období spouštění a vypínání.

Velká různorodost spalovacích komor a jejich technologických provozů vyžaduje individuální přístup k volbě hořáků.

Vyrábět hořáky je potřeba s ohledem na maximální splnění požadavků technologie a všeobecné požadavky na zařízení pro spalování. Nejsou "dobré" nebo "špatné" typy hořáků, jsou jen vhodné nebo nevhodné pro dané specifické podmínky.

2 HOŘÁKY

Hořák – je zařízení pro mísení vzduchu (kyslíku) s palivem s cílem podání směsi k výstupnímu otvoru a spalování ji zde s vytvořením stabilní fronty hoření (plamen). Obecná rovnice spalování jakéhokoliv uhlovodíku: [1]



kde m, n — počet atomů uhlíku a vodíku v molekule;
 Q — tepelný efekt reakce nebo teplo spalování.

2.1 Použití hořáku:

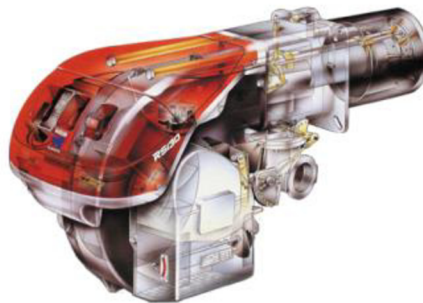
Hořáky můžeme použít na otop průmyslových tepelných zařízení a pecí. Hodí se pro: [5]

- průchozí ohřivací pece
- komorové a šterbinové pece
- kelímkové tavící pece
- vozové pece
- solné a galvanizační lázně
- víka pánví
- sklářské tavící pece

2.2 Hlavní části hořáku:

Hořák se skládá z několika základních prvků:

1. Spalovací komora zajišťuje přívod a optimální míchání paliva a vzduchu před spalováním, a to také dává plameni optimální tvar;
2. Systém přívodu vzduchu pro hoření zahrnuje ventilátor a všechny potřebné potrubí pro přívod vzduchu k hlavě hořáku;
3. Systém přívodu paliva zahrnuje všechny potřebné komponenty pro regulaci spotřeby paliva a bezpečnosti celého systému spalování;
4. Elektroinstalace a ovládací prvky potřebné pro zapálení paliva, zajištění bezpečnosti provozu, napájení motorů a regulaci tepelného výkonu. [6]



Obr. 1 Hlavní části hořáku [22]

3 ROZDĚLENÍ HOŘÁKŮ

Hořáky lze dělit podle mnoha rozličných faktorů. [7], [8]

Podle paliva:

- Hořáky na kapalná paliva
- Hořáky na plynná paliva
- Kombinované hořáky

Podle míšení paliva a okysličovadla:

- Hořáky s přirozeným tahem
- Hořáky s nuceným přívodem spalovacího vzduchu

Podle použití:

- Výkonové
- Zapalovací a stabilizační
- Speciální

Podle funkce:

- Automatické
- Poloautomatické
- Ruční

Podle typu regulaci výkonu:

- Jednostupňové hořáky
- Vícestupňové hořáky
- Hořáky s hladkou regulací (modulní)

Podle výkonu:

- 4 ÷ 80 MW

3.1 Hořáky na kapalná paliva

Jsou to zařízení určené pro spalování kapalných paliv. V hořáku na kapalná paliva se palivo dodává pod vysokým tlakem, které rozprašuje v podobě drobných částic. Ve směšovací komoře se kapičky paliva mísí se vzduchem (kyslíkem) a tvoří směs, která se zapalí na výstupu ze směšovací komory.

Hořáky na kapalná paliva mohou pracovat na různé druhy paliv:

- nafta
- mazut
- použité oleje
- ropa

Například hořáky na naftu se používají například pro vytápění místností, kde není možné přivést plyn. Naftové hořáky jsou vhodné pro prostory různých rozměrů. Jejich nejdůležitější výhodou je možnost pracovat v obtížných klimatických podmínkách, například při nízké teplotě vzduchu. Výkon naftových hořáků je přibližně na stejné úrovni s plynovými hořáky.

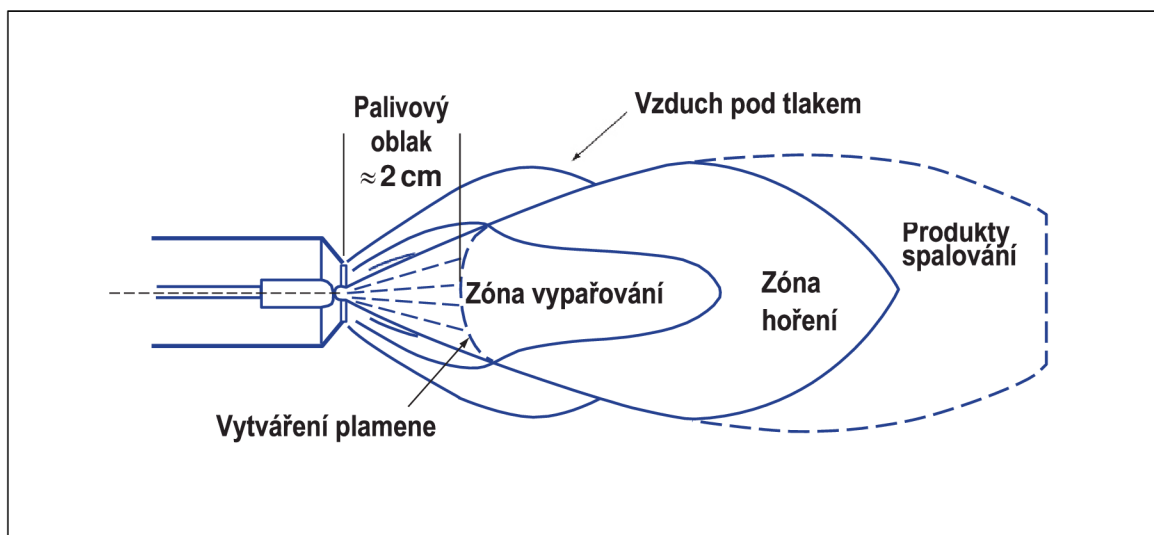
Některé typy hořáků mohou pracovat na více druhů paliva. Populární jsou kombinované hořáky, které pracují na směsi kapalných paliv a plynů. Hořáky na kapalná paliva mohou být vyráběny v různých variantách regulace provozního režimu: jedno-, dvou- nebo třístupňové, progresivní, modulní. Podle konstrukce také existuje rozdělení na hořáky

monoblokové, s vlastním řízením a s ventilátorem, který stojí zvlášť s dodatečným vlastním elektromotorem.

Vlastnosti hořáků se liší v závislosti na typu a výrobci. Každá firma se snaží vybavit své výrobky nejlepšími vědecko-technickými zařízeními. Moderní hořáky mají zvýšenou účinnost, nízké emise škodlivých plynů a vysoký stupeň zabezpečení. [9]

3.1.1 Mechanismus hoření

Pro dosažení dokonalého smísení paliva s kyslíkem je nezbytné, aby kapalná paliva byla přeměněna na plyn. Toho je docíleno tak, že je palivo rozprašováno na malé kapičky.



Obr. 2 Mechanismus hoření

Aby mohlo začít spalování vytvořené směsi, musí být dodán impuls v podobě vygenerované jiskry, kterou je tato směs zapálena. Během hoření se prvky paliva slučují s kyslíkem, který je obsažen ve vzduchu, a následně se vytváří nové molekulární kombinace. Při tomto ději dochází ke zvyšování tepelné úrovně nové směsi.

Molekuly uhlovodíků (skládající se z uhlíku a vodíku) jsou převedeny převážně na CO_2 (oxid uhličitý) a na H_2O (voda – vodní pára).

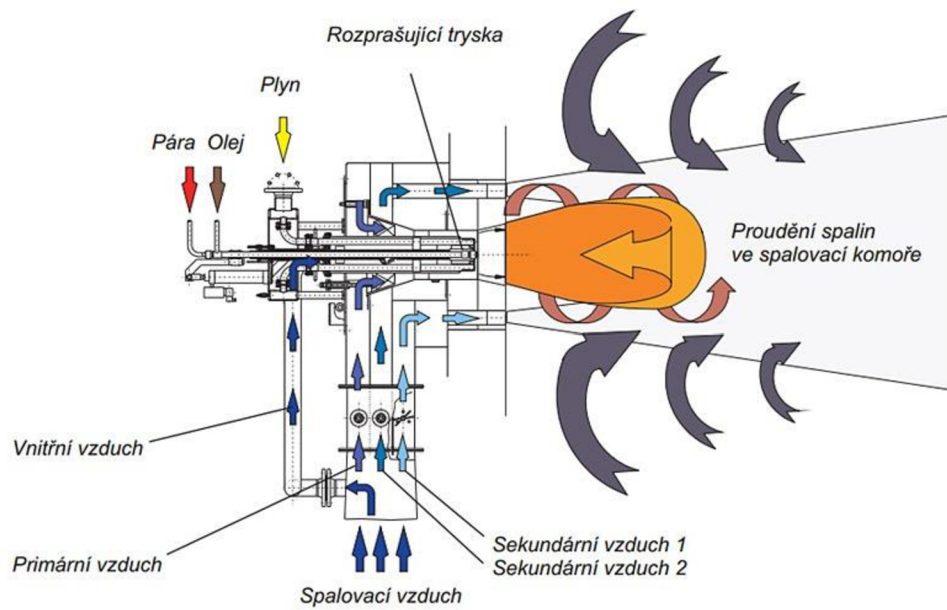
3.1.2 Základní princip

Pomocí malého čerpadla je palivo čerpáno do nádrže hořáku. Požadovaná úroveň paliva udržuje plovák. Nádrž má topný prvek, který ohřívá palivo.

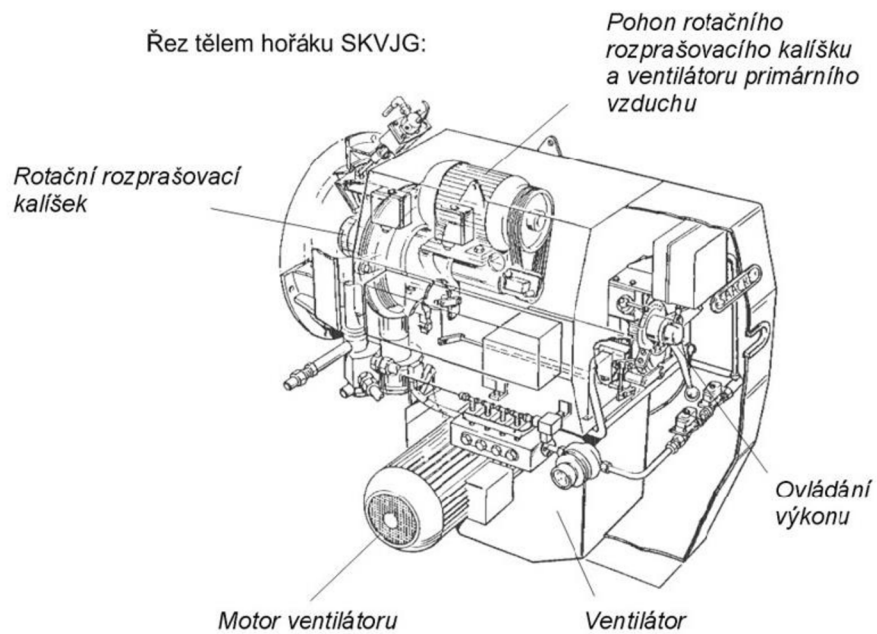
Stlačený vzduch, prochází přes trysku, který vysává ohřáté palivo, na principu Venturiho trubice, z nádrže a rozpráší olej na drobné částice. V závislosti na výkonu hořáku je namontována jedna, dvě nebo tři trysky.

Kvalita hoření se řídí stlačeným vzduchem, tzv. "primárním vzduchem" a "sekundárním vzduchem". Množství tohoto stlačeného vzduchu se ovládá pomocí vzdušné klapky.

Schéma principu hořáku TF-DDZG:



Obr. 3 Princip spalování kombinovaného hořáku [21]

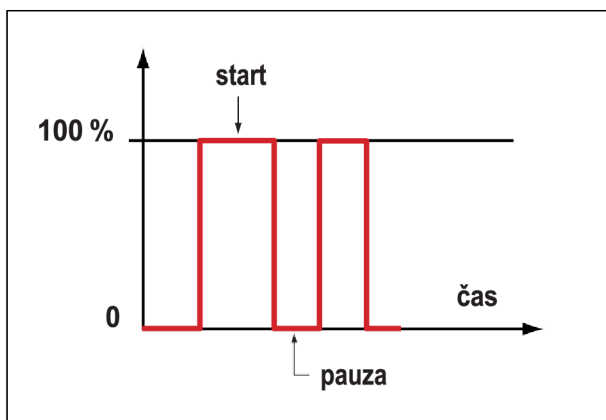


Obr. 4 Řez hořáku [21]

Konstrukce umožňuje zajistit optimální spalování kapalných paliv. Pro tento účel jsou hořáky vybaveny :

- Čerpadlem, které nasává palivo z nádrže a posílá ho na trysku, která ho rozpraší na drobné kapky, aby se vypařilo.
- Ventilátorem, který dodává vzduch pro hoření.

- Elektronickým transformátorem, který vytváří elektrický oblouk na koncích elektrod pro možnost zapalování.
- Programovým blokem, který zajišťuje kontrolu funkce hořáku a pozorování plamene.



Pracovní cyklus jednostupňového hořáku, který funguje na principu zapnuto/vypnuto.

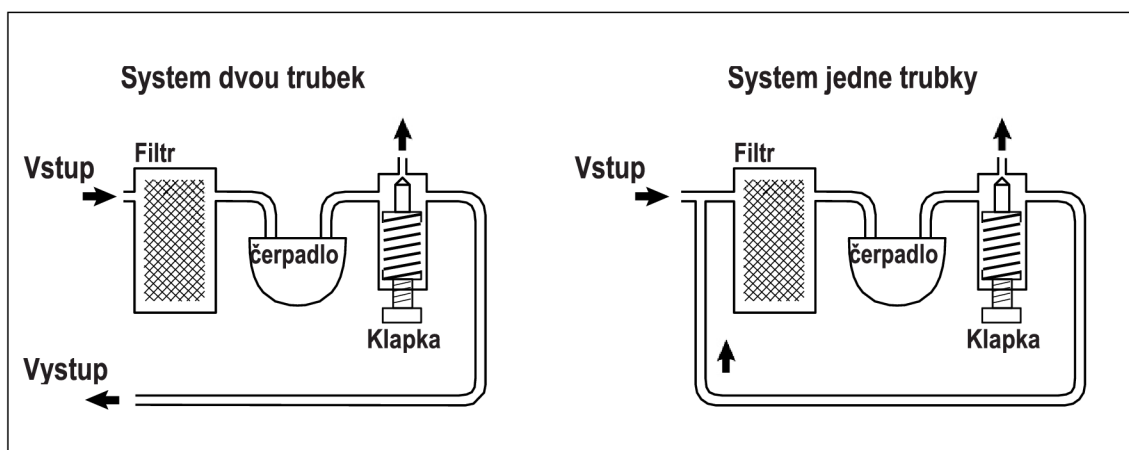
Při požadavku na teplo, hořák vydává 100 % svého výkonu. Pokud je žádost splněna, hořák se vypne.

Obr. 5 Pracovní cyklus jednostupňového hořáku

3.1.3 Základní komponenty

Sytém čerpadlo - regulátor a filt

Hořáky s mechanickým rozprašováním jsou vybavené čerpadlem, tzv. "vysokotlakovým", doplněným o regulátor tlaku, který je u trysky hořáku. Před čerpadle bývá filtr pevných částí, aby nedocházelo k případnému mechanickému poškození čerpadla.



Obr. 6 Systém čerpadlo - regulátor a filt

V závislosti na typu připojení čerpadla do nádrže s tekutým palivem, existuje rozdíl mezi jednotrubicovým systémem a dvoutrubicovým systémem.

- Jednotrubicový systém

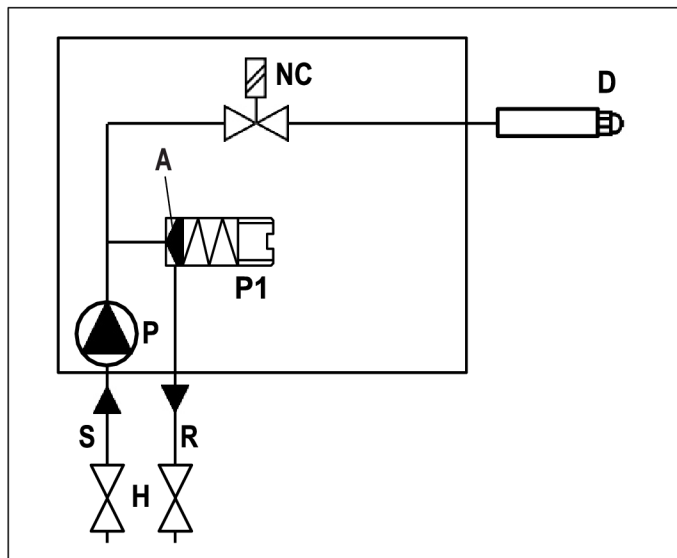
Hořák je připojen do nádrže s palivem pouze pomocí jednoho pohonu na palivo. Kromě toho, čerpadlo na kapalná paliva funguje při zvýšených teplotách, což snižuje jeho životnost.

- Dvoutrubicový systém

Čerpadlo je připojeno do nádrže s kapalným palivem pomocí dvou pohonů na palivo. Spotřeba paliva přes čerpadlo je velká, protože jen jedna část proudí na trysku a druhá se vrací přes zpáteční pohon do nádrže. V důsledku toho je lepší chlazení čerpadla.

Nastavení tlaku

Regulátor tlaku, vestavěný do čerpadla, umožňuje dodat kapalné palivo na trysku s požadovaným tlakem, podle principiálního schématu uvedeného níže.



- H : Uzavírací ventily
- S : Sací palivové vedení
- R : Zpětné palivové vedení
- P : Čerpadlo
- P1 : Regulátor tlaku
- NC : Elektrický ventil (zavřen při absenci napětí)
- D : Tryska

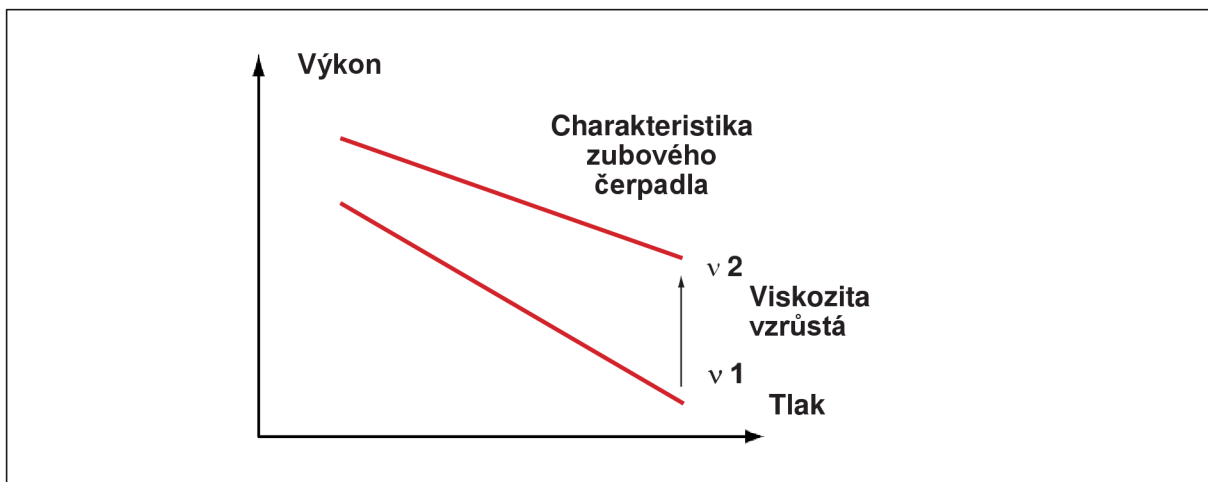
Obr. 7 Schéma nastavení tlaku

Když tlak kapaliny překročí požadovanou hodnotu, pak síla působící na místo A stlačí pružinu a otevře zpětný okruh. Kapalné palivo směřuje k rozprašovači s požadovaným tlakem. Přebytek paliva prochází skrz zpětný okruh. Tímto způsobem je zajištěn konstantní tlak na rozprašovači. Regulační ventil P1 umožňuje změnit tlak. Rotace tohoto ventilu mění odpor pružiny, a proto sílu působící na místo A. Pro zvýšení tohoto tlaku je třeba zmenšit délku pružiny, otáčením ventilu po směru hodinových ručiček.

V případě dvoustupňových hořáku je třeba zajistit většinou různý tlak pro 1. stupeň a pro 2.

Tlak, spotřeba a trysky

Při dané rychlosti otáčení se spotřeba zmenší zvýšením tlaku.

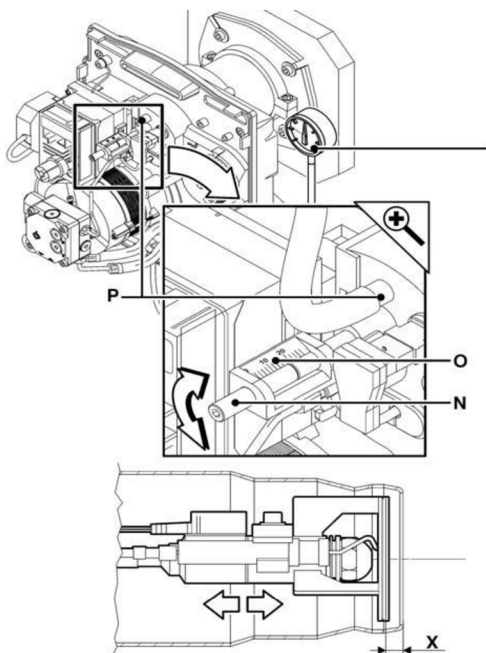


Obr. 8 Graf závislosti výkonu na tlaku

Čerpadlo se chová tak, že při zvyšování tlaku se zvyšuje vnitřní pronikání mezi zuby. Pro daný tlak je koeficient pronikání nepřímo úměrný viskozitě kapalného paliva. To znamená, že čím větší je viskozita, tím je menší pronikání, a tím více se zvyšuje spotřeba paliva.

Regulování vzduchu pro spalování

Existují různé technické řešení pro dávkování vzduchu pro hoření. Regulace může být realizována škrcením klapkou na sání ventilátoru, škrcením klapkou na výstupu z ventilátoru, změnou otáček ventilátoru, obtokem přebytečného vzduchu nebo kombinací výše zmíněných. Kombinační metoda je dnes nejvíce používána. Jejich princip je vysvětlen na obrázku.



N = Úprava trysky.
O = Právítko.
P = Odvod pro měření tlaku vzduchu.
X = Regulovaná velikost.

Obr. 9 Princip kombinační metody

Nastavení na straně sání se provádí otevíráním vzdušné klapky (otevírání závisí na nastaveném výkonu kapalného paliva).

Tato klapka má pružinu, která poskytuje uzavírání při zastavení hořáku, čímž se předchází ztrátám při průchodu vzduchu.

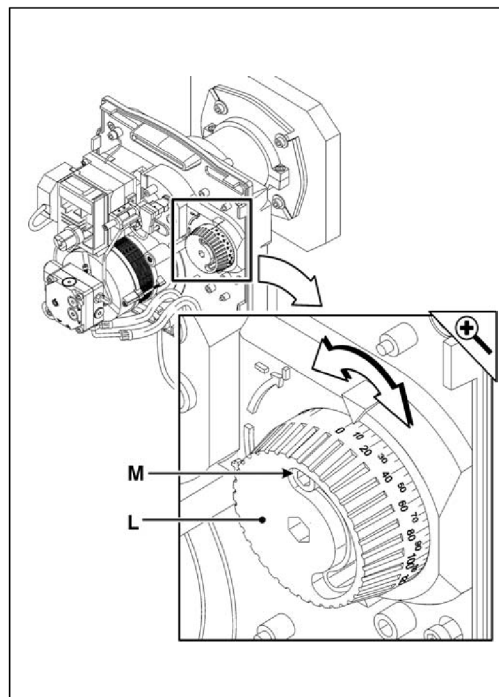
Regulace pomocí tlaku se provádí pohybem trysky.

Jeho úloha spočívá v distribuci vzduchu pro spalování na hlavě zapálení.

Pokud do stabilizátoru plamene proudí moc vzduchu, musí jeho část projít obtokem tak, aby se optimálně promíchal vzduch s kapalným palivem. Tento vzduch umožňuje stabilizovat plamen na stabilizátou plamene.

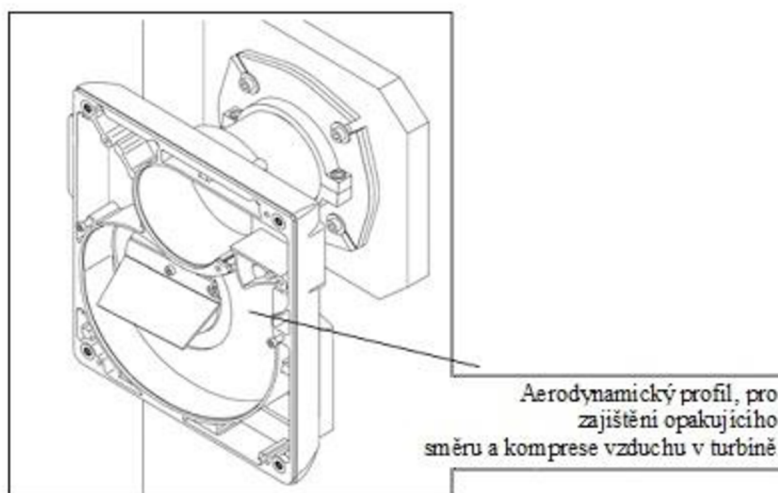
L = Vzdušná klapka

M = Blokovací ventil



Obr. 10 Vzdušná klapka a blokovací ventil

Pro zajištění vysokého tlaku vzduchu ve směšovací komoře, jsou moderní hořáky vybaveny novým systémem, tzv. "DUO PRESS®". To umožňuje podruhé poslat vzduch do ventilátoru, aby byl stlačen vyšší úroveň.



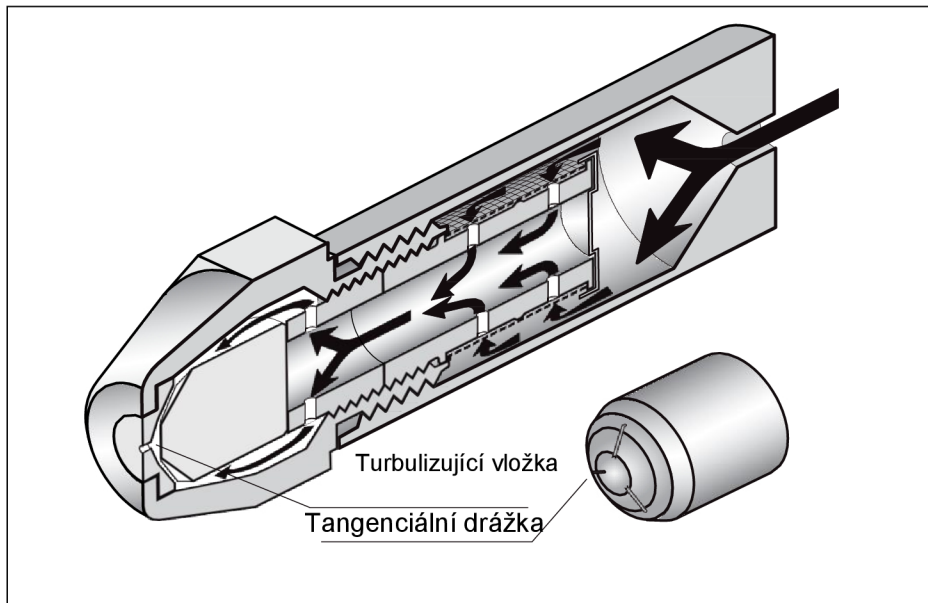
Obr. 11 Aerodynamický profil

Se systémem DUO PRESS® je dosaženo vysokého tlaku při nízkém příkonu.

Tato vlastnost umožňuje mít rychlejší přechod na pracovní režim při spouštění. Stabilizuje frontu hoření, eliminuje pulsace a vytváří ideální podmínky pro zapálení a optimální spalování.

Tryska

Účelem trysky je rozprašování kapalného paliva. Existují různé typy trysek. Kvalita výsledného spalování je značně závislá na výběru trysky, která bude nainstalována na hořáku. Tryska na kapalné palivo se skládá z:

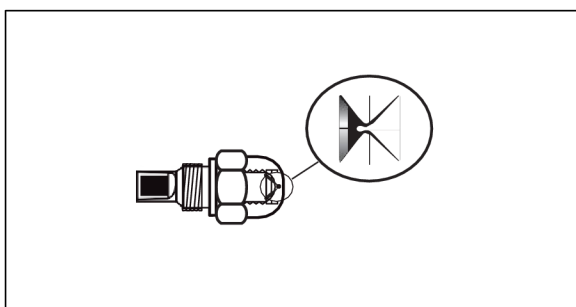


Obr. 12 Schema trysky

- Vnější část obsahuje otvor pro rozprašování se závitem a osazení 16 mm pro uchycení na trysce
- Ochranný filtr proti nečistotám
- Vnitřní část se skládá z jednoho nebo dvou dílu, které mají za funkci vířit kapalná paliva, a to díky otvorům nebo kanálům.

Princip provozu trysky

Čerpadlem je dopravováno palivo přes filtr před tryskou pod požadovaným tlakem, které pak směřuje ke kuželovitému konci střední části trysky. Po průchodu kuželovítkými drážkami, které mají za cíl rozvířit palivo, vstupuje do komory při turbulentním režimu.



Rychlost tenkou vrstvou tekutých paliv je tak vysoká, že tvoří "trubku" z paliv v otvoru trysky.

Pomocí zbývající energie tlaku, tato "trubka" vychází přes otvor.

Venku "trubka" přijde do takové míry, že se rozdělí a stříká na malé kapičky s průměrem okolo 5 mikronů.

Obr. 13 Průchod paliva v otvoru trysky

Spotřeba trysky

Průtok trysky se mění v závislosti na tlaku paliva. Při zvyšování tlaku se zvyšuje spotřeba a naopak, s poklesem tlaku se snižuje spotřeba. Spotřeba je přímo úměrná odmocnině koeficientu změny tlaku.

Čelo zapalování

Tak se nazývá část, kterou tvoří :

- tryska a držák trysky
- zapalovací elektrody
- zařízení vyvolávající turbulence a stabilizátor plamene
- žhavicí trubka

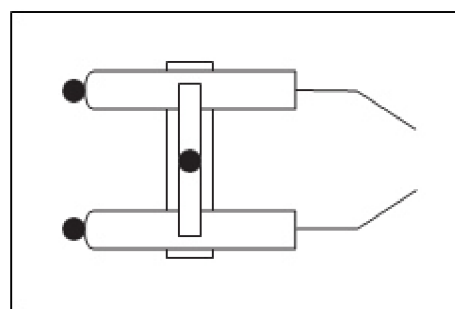
Účinnost hořáku závisí na jeho konstrukci, důkladnosti výrobního zpracování, ale také na jeho nastavení. Čelo zapalování hořáků zajišťuje pečlivé smíchání směsi vzduchu a paliva a stabilizuje hoření.

Transformátor a zapalovací elektrody

Účel transformátoru - vydat jiskry, které zapálí rozprášenou směs kapalného paliva a vzduchu na vnějším povrchu kužele směsi.

Zapalování může být "konstantní" nebo "přerušované". Zapalování je "konstantní", pokud je jiskra trvale udržována po celou dobu provozu hořáku. "Přerušované" zapalování je, když se jiskra objeví jen při spuštění hořáku. Pro kontrolu plamene se používá "programový blok" s fotoelementem pro plně automatické spuštění a ovládání hořáku.

Tento blok, který určuje různé fáze spuštění a zastavení hořáku, dostává informace o přítomnosti nebo nepřítomnosti požadavku na teplo od jednotek systému regulace. Je koncipován tak, že předčasné zhašení plamene okamžitě uzavírá přívod paliva a znovu se program spustí startovací sekvence.[2].



Obr. 14 Zapalovací elektrody

Elektrické ohřivače na kapalná paliva

Hořáky na střední a těžké tekuté palivo je třeba předehřát do potřebné teploty spalování,

protože se viskozita kapalného paliva značným způsobem mění v závislosti na teplotě.

Viskozita má vliv na:

- ryzost a homogenitu kapek,
- stabilitu plamene, jeho délku a tvar,
- lehkost zapalení,
- výrobu částečně spálených částic (neúplné spalování).

Ohřev paliva může být proveden elektřinou, teplotnosným médiem nebo jejich kombinací.

Jako teplotnosné médium se používá teplá voda, pára nebo termoolej. [3]

Princip provozu ohřivačů na kapalná paliva

Výměník tepla

Teplo, produkované pomocí elektřiny, je přenášeno přes měděné desky na palivové vedení na spirálové trubice.

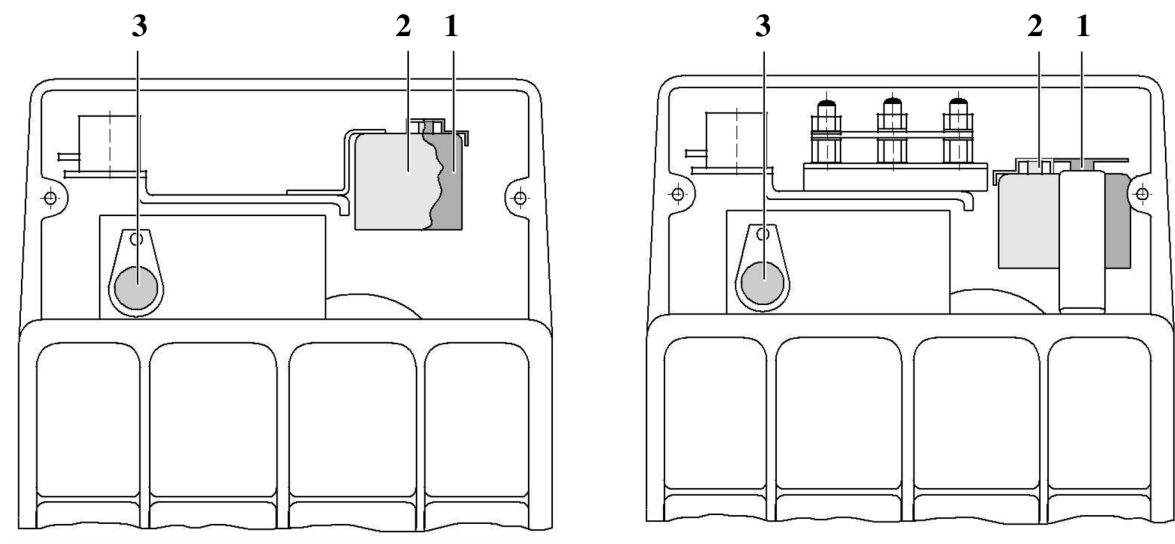
Ohřivač paliva má větší teplosměnou plochu při relativně malém objemu paliva. Tímto způsobem se podaří v krátké době ohřát palivo na teplotu potřebnou pro zapalení. Rychlý přenos tepla eliminuje místní přehřátí. Tím nedochází ke koksaci paliva. Maximální dosažitelné teploty paliva na trysce jsou přibližně 150°C.

Regulátor teploty

Jak uvedeno na obrázku níže na regulátoru teploty 1 je nastavena teplota odchazejícího paliva. Pomocí silového kontaktoru se řídí topné prvky. Kromě toho, do regulátoru teploty je vestavěn teplotní spínač zapnutí hořáku. Zapnutí hořáku se provádí pouze po spuštění obou teplotních spínačů. Teplotní spínač 3 je spojen s výměníkem přes kompenzátor. Tím je zaručeno, že hořák se zapne pouze po dosažení minimální pracovní teploty ohřivače (za předpokladu, že druhý teplotní spínač se spustil). Tím se snižují kolísání teploty po zapnutí přívodu paliva.

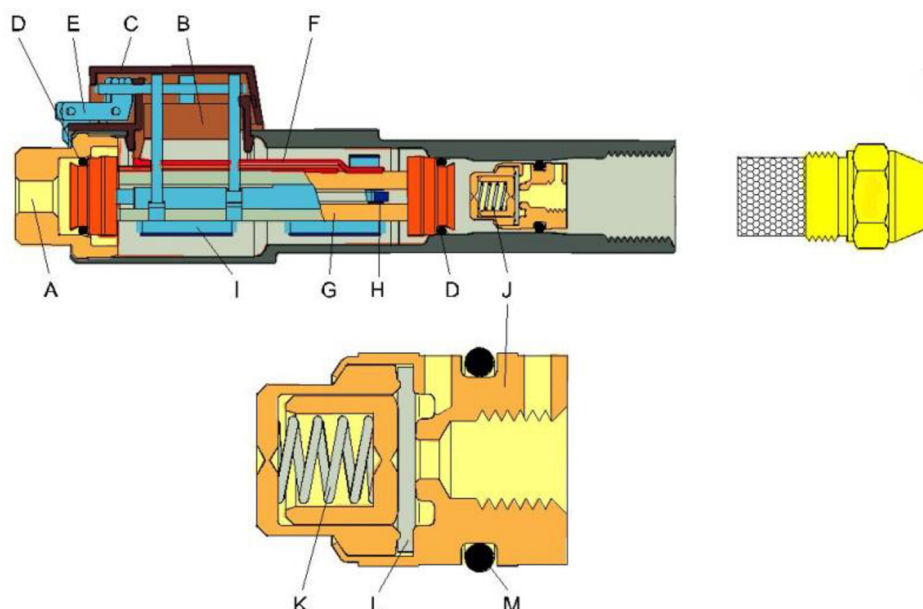
Omezovač teploty

Teplotní omezovač 2 se spouští, když teplota paliva překročí nastavenou hodnotu. Odblokování je mechanické a přímo na omezovači teploty.[3]



Obr. 15 Ohřivač paliva

Ohřivače typu FPHB-LE jsou speciální verze standardních ohřivačů typu FPHB s vestavěnou membránovou klapkou, která v kombinaci s čerpadlem typu LE výrazně snižuje emise škodlivých látek při spuštění a zastavení hořáku. Klapka se také používá jako uzavírací klapka. Ohřivače typ FPHB-LE jsou určeny pro hořáky s spotřebou do 6 kg/h, pracující na standardní palivo s viskozitou do 10 cSt. Jsou vyráběny s různými topnými prvky a termostaty pro volbu času a teplotu ohřevu. [4]



Obr. 16 Ohřivač paliva typu FPHB-LE

Konstrukce:

A - Spojovací kanál
 B - Termostat
 C - Skříň
 D – O-kroužek
 E - Elektrické připojení
 F - Vodič tepla
 G - Výměník tepla

H - PTC-element
 I - Svorky
 J - Klapka
 K - Pružina
 L - Clona
 M - O-kroužek

3.2 Hořáky na plynná paliva

3.2.1 Rozdělení

Podle oblasti použití:

- Speciální hořáky, určené pro použití v pecích určité konstrukce.
- Univerzální zařízení, které lze připevnit na většinu typů pecí.

Podle způsobu přivádění vzduchu:

- S nuceným přívodem vzduchu. V hořácích tohoto typu je vzduch přiváděn foukáním
- Injekční. Vzduch je přiváděn saním.
- Difúzní. Vzduch je u těchto hořáků k plamenu přiveden přirozeně z okolního prostředí.

Plynné hořáky s nuceným přívodem vzduchu se liší ještě způsobem vytváření palivové směsi:

- Nucený přívod vzduchu a kompletní předběžné míchání.
- Nucený přívod vzduchu a částečně předběžné míchání.
- Nucený přívod vzduchu bez předchozího míchání.

Podle přetlaku:

- Vysokotlaké (více než 30 kPa).
- Středotlaké (od 5 do 30 kPa).
- Nízkotlaké (do 5 kPa).

Podle lokalizace plamene:

- Ve volném prostoru.

- V perforovaném, porézním nebo zrnitém žáruvzdorném tunelu.
- V žáruvzdorné spalovací komoře nebo tunelu.
- Na žáruvzdorném povrchu.

Podle výhřevnosti spalovaného paliva:

- Vysocevýhřevné plynové hořáky. Minimální teplo spalování plynu je 20 MJ/m^3 . Tyto hořáky jsou určeny pro spalování přírodních ropných plynů.
- Středněvýhřevné hořáky. Teplo spalování paliva v této podobě plynových hořáků je v rozmezí od 8 do 20 MJ/m^3 (koksárenský plyn).
- Nízkovýhřevné plynové hořáky. Tento typ se používá pro spalování zemního plynu, u kterého je teplo spalování nižší než 8 MJ/m^3 (generátorový a domácí plyn).

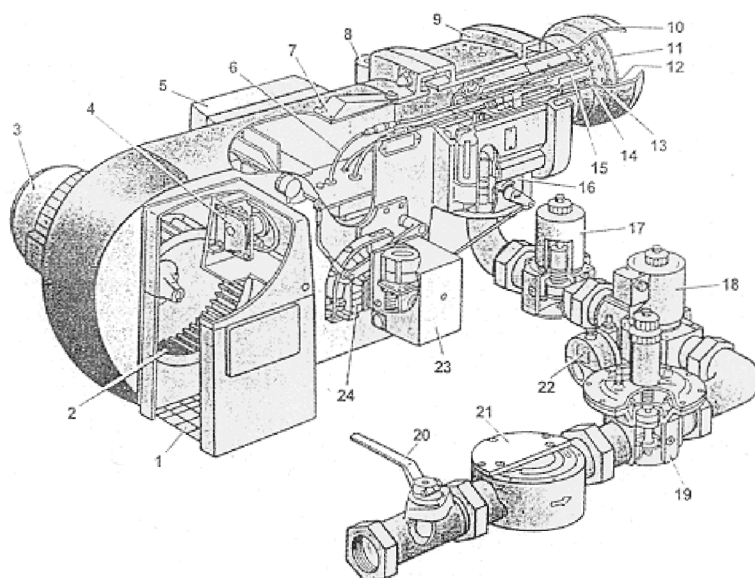
Podle uspořádání plamene:

- Individuální hořáky
- Skupiny hořáků uspořádané okružně
- Skupiny hořáků uspořádané plošně nebo na plášti

Nejlépeším způsobem jak klasifikovat hořáky je podle přívodu vzduchu a současně je nutné brát v úvahu i konstrukční zvláštnosti. [10], [11]

3.2.2 Konstrukce plynového hořáku [23]

1. Přívod vzduchu
2. Ventilátor
3. Elektrický motor
4. Vzduchový termostat
5. Skříň automatiky hořáku
6. Kabel zapalovací elektrody
7. Pozorovací okno
8. Příruba hlídače plamene
9. Příruba hořáku
10. Ústí hořáku
11. Stabilizator plamene
12. Hlídací elektroda
13. Plynová tryska
14. Směšovač
15. Zapalovací elektroda
16. Plynová regulační klapka
17. - 18. Plynový magnetický ventil
19. Regulator tlaku plynu
20. Uzávěr plynu
21. Plynový filtr



Obr. 17 Konstrukce plynového hořáku

22. Plynový termostat
23. Pohon regulačních klapek
24. Ústrojí pro seřizování spalovacího poměru

3.2.3 Proces hoření plynových hořáků

Celý proces práce hořáku lze rozdělit do třech základních fází:

1. Přípravná fáze.
2. Fáze míchání.
3. Fáze hoření.

V první fázi probíhá regulace paliva a vzduchu (zejména rychlost, tlak a množství). V případě potřeby se palivo ohřívá. Ve druhé fázi dochází ke směšování paliva a vzduchu. Ve třetí fázi dochází k hoření směsi, která je zapalována pomocí elektrody.

3.2.4 Injekční hořáky

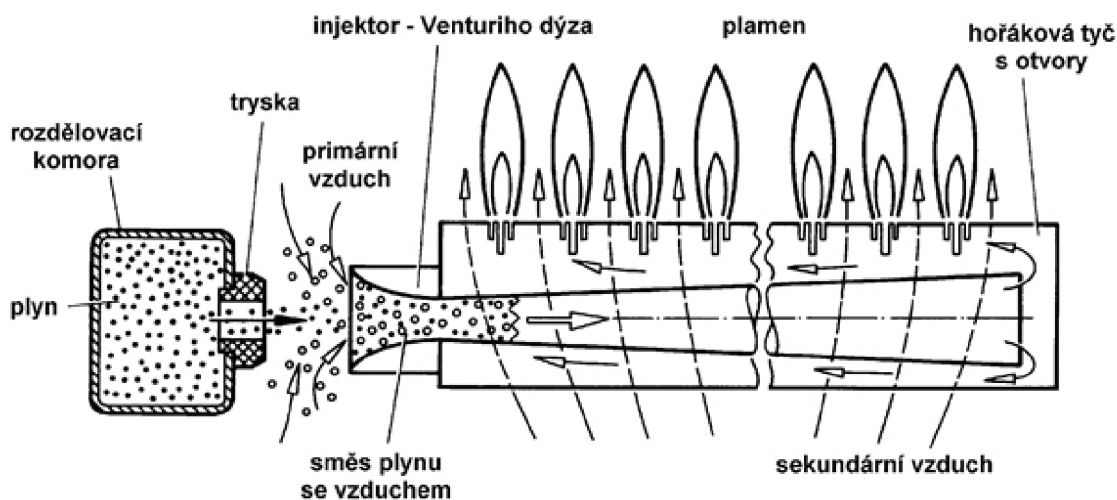
Hořáky, ve kterých se vzduch nasává pomocí energie plynového proudu, který vychází z jednoho nebo více dýz. Vytváření plynovzdušné směsi částečně nebo úplně probíhá uvnitř hořáku. Injekční hořáky jsou široce používané v průmyslu, kvůli jejich spolehlivosti a jednoduchosti konstrukce. Výhody hořáků tohoto typu je možnost obejít se bez ventilátoru a schopnost s dostatečnou přesností dodat ve stálém poměru plyn — vzduch, i při změnách režimu provozu (zatížení). To výrazně zjednodušuje automatické a ruční regulace procesu.

Mezi hlavní nedostatky injekčních hořáků patří značné rozměry, nízký limit regulace z důvodu nebezpečí přeskoků plamene při snižování zatížení a vysoká uroveň hluku při práci na střední a vysoký tlaky. Z důvodů možnosti přeskoků plamene ve směšovači je také relativně nízká účinnost.

Injekční hořáky nízkého tlaku jsou široce používány pro vytápění technologických a energetických zařízení malého a středního výkonu, běží bez komínového efektu nebo se s komínovým efektem nižším než 10-30 Pa.[12]



Obr. 18 Atmosferický injekční plynový hořák [24]



Obr. 19 Atmosferický injekční plynový hořák [13]

Konstrukcí takovýchto hořáků jsou duté trubičky s mnoha otvory nebo více trubek, do kterých pod tlakem vstupuje plyn.

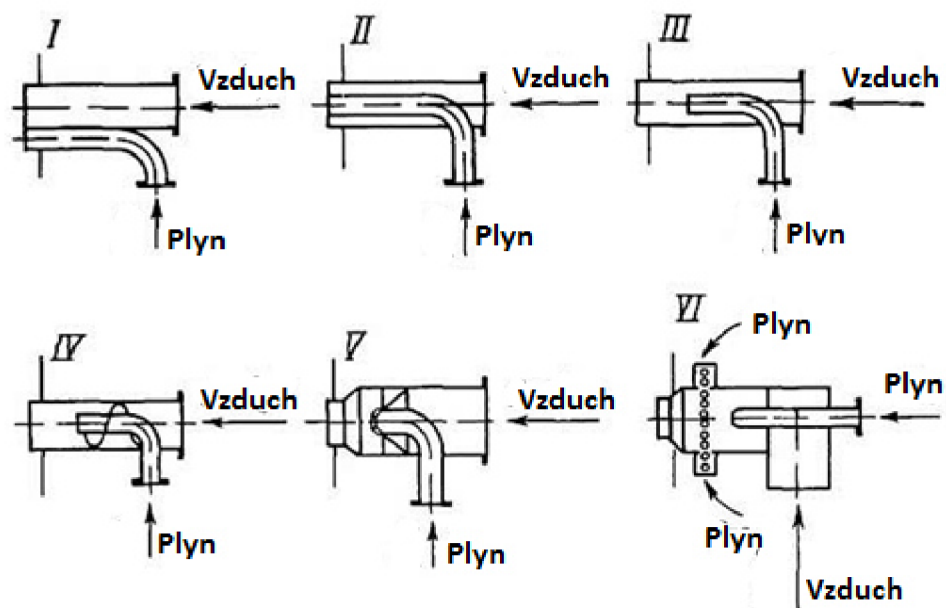
3.2.5 Hořáky s nuceným přívodem vzduchu

Hlavní specifičnost tohoto typu hořáku je nucený přívod vzduchu, potřebného pro hoření, pomocí ventilátoru. Při jeho použití se zvyšuje účinnost plynového agregátu. Což má pozitivní vliv na efektivní spotřebu paliva. Plyn z plynovodu jde do rozvaděče plynu a z něj přes trysky vychází při turbulentním proudění. Zde dochází k mísení plynu se vzduchem. Mísení plynu se vzduchem zaleží na konstrukci jak samotného hořáku, tak i na jeho směšovači.

Upravit délku plamene je možné tak, že je měněna kvalita mísení plynu se vzduchem. Vzduch se dodává do hořáku odstředivými nebo axialními ventilátory nízkého a středního tlaku.

Výhody hořáků s nuceným dodáním vzduchu jsou: možnost použití ve spalovacích komorách s různým přetlakem, značný rozsah regulace tepelného výkonu a poměru plyn — vzduch, relativně malé rozměry hořáku, menší hluk při práci, jednoduchost konstrukce, možnost přehřívání plynu nebo vzduchu a použití hořáků velkého výkonu.

Nevýhody uvažovaných hořáků jsou: náklady na elektrickou energii pro pohon ventilátorů, zařízení pro regulaci poměru plyn - vzduch a klapek, uzavírací přívod plynu k hořákům při zastavení ventilátoru, vysoká úroveň hluku, vznikajícího vestavěným ventilátorem, vysoká cena v porovnání s agregáty, které vzbaveny atmosférickými hořáky. [12],[14],[24]



Obr. 20 Různé systémy hořáků s nuceným přísunem vzduchu [14]

3.3 Kombinované hořáky

Zařízení s jednotným systémem přívodu vzduchu, které zajišťuje spalování jak plyných, tak i kapalných paliv (topného oleje), tak i jejich kombinaci. Kombinované hořáky se používají ve spalovnách, elektrárnách, kotelnách a v předehřivacích pecích. Plyné palivo se zapaluje snadněji, spalování jde s menším součinitelem přebytku vzduchu a hoří rychleji a úplněji. Kapalně palivo je třeba nejprve rozprašit, pak smíchat se vzduchem, což způsobuje jeho odpařování a spalování. Při současném spalování plyných a kapalných paliv se hoření posledního zpomaluje, protože plyn se spaluje nejprve (tj. spotřebovává kyslík).

Kombinované hořáky se liší:

- konstrukcí zařízení na víření, které vytvářejí tangenciální proudění
- způsobem přívodu plynu do proudění vzduchu (od centra nebo okrajové podání)
- způsobem distribuce vzduchu
- způsobem rozprašení kapalného paliva [15]

Hlavní výhody kombinovaných hořáků

1. Zajišťují trvalé a intenzivní hoření při změnách tlaku plynu v síti i při krátkém plameni
2. Zařízení, pro které je zapotřebí hořák, může běžet velmi hladce, a to už od 1 % maximálního výkonu
3. Součinitel prostupu tepla je až o 20% vyšší než u hořáků jiných typů, které používají difúzní plamen
4. Teplota odcházejících spalin klesá od 30 do 60 stupňů
5. Mají malý aerodynamický odpor
6. Teplota plamene je prakticky všude stejná, často je toto jedním z požadavků pro hořáky, které jsou určeny k použití v průmyslových zařízeních
7. Mají optimální poměr přebytku vzduchu ve spalovacím zařízení. [16]

3.4 Podle typu regulace výkonu

Jednostupňový hořák

Pracuje jen v jednom rozmezí výkonu. Při práci jednostupňových hořáků dochází k častému zapnutí a vypnutí hořáku, kterým se upravuje automatizace kotle.

Dvoustupňový hořák

Má dva stupně výkonu. První stupeň, obvykle poskytuje 40% výkonu, a druhý – 100%. Přejít z prvního stupně na druhý se děje v závislosti na sledovaném parametru kotle (teplota chladicí kapaliny nebo tlak páry), režimy zapnutí/vypnutí závisí na automatizaci kotle.

Hladce-dvoustupňový hořák

Umožňuje provádět hladký přechod z prvního stupně na druhý. Tento typ hořáků se řadí mezi dvoustupňovými a modulními hořáky.

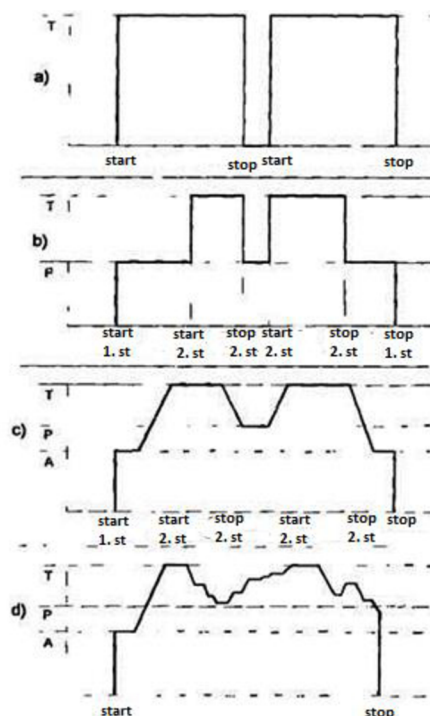
Jako příklad může sloužit řada hořáků Max Gas firmy Ecoflam.

Modulní hořák

Ohřívá kotel neustále, podle potřeby se zvyšuje nebo snižuje výkon. Rozsah změny režimu hoření — od 10% do 100% jmenovitého výkonu.

Modulní hořáky jsou rozděleny na tři typy podle principu práce:

- hořák s mechanickým systémem regulace;
- hořáky s pneumatickým systémem regulace;
- hořáky s elektronickou regulací.[17]



Obr. 21 Možnosti režimů hořáků a) jeden stupeň b) dvoustupňová c) progresivní dvoustupňová d) modulní [6]

4 NORMY A NÁVRH HOŘÁKU

4.1 Zákonne rámce, které musí splňovat hořáky

Dle mezinárodního standartu GOST 21204-97 "Plynové Hořáky průmyslové. Obecné technické požadavky " (upřesnesení Gosstandartu RUSKÉ federace 17. září 1997, № 313) (se změnami od 9. března 2004)

Na hořáky se kladou následující normy: [18],[19]

1. Základní typy hořáků se musí vyrábět v továrnách podle technických podmínek. Pokud jsou hořáky vyrobeny podle individuálního projektu, pak při uvedení do provozu musí projít testy pro určení základních charakteristik
2. Hořáky by měly propouštět daného množství plynu při úplnosti jeho spalování s minimálním koeficientem spotřeby vzduchu α , s výjimkou hořáků zvláštního určení (např. pro pece)
3. Při daném technologickém režimu hořáku se musí zajistit minimální množství škodlivých emisí do atmosféry
4. úroveň hluku hořáku, nesmí překročit 85 dB při měření hlukoměrem ve vzdálenosti 1 m od hořáku a ve výšce 1,5 m od podlahy
5. Hořák musí trvale pracovat bez přerušování a přeskoků plamene v rámci běžného rozsahu regulace tepelného výkonu
6. U hořáků s kompletním předběžným mícháním plynu se vzduchem musí rychlost vypršení plynovzdušné směsi překročit rychlost šíření plamene
7. Odpor proudu vzduchu by měl být minimální, aby se snížila spotřeba elektrické energie pro vlastní potřebu při použití hořáků s nuceným dodáním vzduchu
8. Pro snížení provozních nákladů musí být konstrukce hořáku a stabilizujícího zařízení dostatečně jednoduchá na údržbu
9. V případě nutnosti uchování rezervního paliva, musí hořák zajistit rychlý přechod z jednoho paliva na druhé bez porušení technologického režimu
10. Kombinované hořáky musí zajistit přibližně stejnou kvalitu spalování obou paliv – plynného (zemní plyn) a kapalného (topný olej)
11. Koncentrace oxidu uhličitého suchých produktů spalování při $\alpha=1,0$ nesmí překročit hodnoty uvedené v tabulce v rozmezí pracovní regulace.

Tab. 1 Koncentrace oxidu uhličitého suchých produktů spalování

Podmínky práce (testu) hořáků	Místo odběru vzorků	Teplota spalin, °C ,ne více	CO ($\alpha = 1,0$) % ob.
Plynové zařízení	Na výstupu z spalovací komory plynové zařízení	1400	0,05
Venkovní vzduch	V kontrolním průřezu za viditelnou délkou plamene		0,01

Vzorky nově vytvořených a provozovaných hořáků podléhají státní zkoušce.

Základní parametry hořáků definovány GOST 17356-71:

- jmenovitý tepelný výkon — maximální dosažený výkon při dlouhodobé práci hořáku, chemický nedopal nesmí nepřekročit normu při schváleném minimálním α
- nominální tlak plynu (vzduchu) před hořákem — tlak plynu (vzduchu), který odpovídají nominálnímu tepelnému výkonu při atmosférickém tlaku ve spalovací komoře
- nominální relativní délka plamene — vzdálenost od osy hořáku od výstupního průřezu hořáku, která je měřena při jmenovitém tepelném výkonu a vnitřním průměru výstupního otvoru, do bodu, kde je koncentrace 95% maximální hodnoty CO_2 při $\alpha = 1$
- koeficient limitu regulace hořáku na tepelný výkon — poměr maximálního a minimálního tepelného výkonu. Maximální výkon je 0,9 od výkonu, odpovídajícího horní hranici trvalého výkonu hořáku a minimální — 1,1 od výkonu, odpovídajícího dolní hranici trvalého výkonu hořáku
- koeficient pracovní regulace hořáku podle tepelného výkonu — poměr nominálního tepelného výkonu k minimálnímu
- měrná tepelná kapacita — poměr hmotnosti hořáku ke jmenovitému tepelnému výkonu
- hlučnost hořáku — uroveň akustického tlaku, vytvořeného pracovním hořákem v závislosti na spektru frekvencí.

5 TEORIE SPALOVÁNÍ

5.1 Základní reakce

Proces hoření je děj rychlé oxidace paliva. Reakce je doprovázena viditelným fyzikálním jevem - "plamenem" a uvolněním velkého množství tepelné energie.

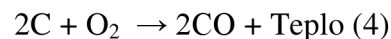
V důsledku oxidace se uhlík spojí s kyslíkem: oxid uhličitý s uvolněním určitého množství tepla.



Stejným způsobem vodík, vstupuje do reakce s kyslíkem a vytváří vodní páru a určité množství tepla.



V důsledku nedokonalého spalování, jak je patrné z následujícího vzorce, je doprovázena tvorbou oxidu uhelnatého (CO), který je vysoce toxickou látkou.



Látky podporující hoření

Jako oxidační činidlo se při spalování obvykle používá vzduch.

Pokud je známo přesné chemické složení paliva, je možné vypočítat stecheometrické množství kyslíku, a taky množství vzduchu, potřebného pro spalování.

Stecheometrické množství vzduchu lze vypočítat podle následujícího vzorce:

$$W_a = 11,51 \cdot C + 34,26 \cdot H + 4,31 \cdot S - 8,54 \cdot O \text{ [kg vzduchu/kg paliva] (5)}$$

nebo:

$$W_a = 8,88 \cdot C + 26,44 \cdot H + 3,33 \cdot S - 3,33 \cdot O \text{ [norm.m}^3 \text{ vzduchu/ kg paliva] (6)}$$

kde C, H, S a O - hmotnostní % uhlíku, vodíku, síry a kyslíku, které jsou součástí paliva.

Teoretické množství vzduchu potřebné pro hoření

To je minimální množství vzduchu, které se zúčastní spalování a je nutno pro dožení dokonalého stecheometrického hoření.

Relativní hustota plynu

Je to poměr hmotnosti stejného objemu suchého vzduchu a plynu, který se měří při stejné teplotě a tlaku při normálních podmínkách.

Rosný bod

Je hodnota, při které začne vodní pára obsažená v kouřových plynech kondenzovat.

Nebezpečná koncentrace

Je to rozsah koncentrace plynu ve vzduchu, vyjádřeno v procentech, ve kterém je tato směs výbušná.

Wobbého číslo

Tento parametr určuje teplo ve zniklých plynech. To se určí z poměru mezi spalným teplem a relativní hustotou .

$$W = \frac{Q_s}{\sqrt{h}} \quad (7)$$

Kde Q_s spalné teplo, MJ/m³
 h relativní hustota

Wobbého číslo slouží pouze k jednostrannému posouzení záměnnosti plynu z hlediska tepelného příkonu. [22],[26]

5.2 Spotřeba vzduchu na spalování a množství produktů spalování paliva

Hořlavé látky paliva spolupůsobí s kyslíkem v určitém poměru. Spotřeba vzduchu na spalování a množství produktů spalování paliva se počítá podle stecheometrických rovnic spalování, které se zapisují na 1 kg pro každou hořlavou složku. Stecheometrické rovnice spalování hořlavých složek tuhých a kapalných:

Uhlík $C + O_2 = CO_2$:

12 kg C + 32 kg O₂ = 44 kg CO₂;

1 kg C + (32 : 12) kg O₂ = (44 : 12) kg CO₂ (8)

Síra $S + O_2 = SO_2$:

32 kg S + 32 kg O₂ = 64 kg SO₂;

1 kg S + 1 kg O₂ = 2 kg SO₂; (9)

Vodík $2H_2 + O_2 = 2H_2O$:

4 kg H₂ 32 kg O₂ = 36 kg H₂O;

1 kg H₂ 8 kg O₂ = 9 kg H₂ (10)

V palivě se nachází $C^p/100$ kg uhlíku, $S^p/100$ kg polétující síry, $H^p/100$ kg vodíku a $O^p/100$ kg kyslíku. Proto celková spotřeba kyslíku pro spálení 1 kg paliva, je rovna:

$$M^0_{O_2} = \frac{\frac{8}{3}C^p + 8H^p + S_l^p - O^p}{100} \quad (11)$$

Hmotnostní zlomek kyslíku ve vzduchu je roven 0,232. Pak požadované množství vzduchu je:

$$M^0 = \frac{2,67C^p + 8H^p + S_l^p - O^p}{100} \times \frac{100}{23,2} = 0,115C^p + 0,345H^p + 0,043(S_l^p - O^p)$$

$$\text{nebo } M^0 = 0,115(C^p + 0,375S_l^p) + 0,345H^p - 0,043O^p \quad (12)$$

Za normálních podmínek je hustota vzduchu $p_0 = 1,293$ kg/m³.

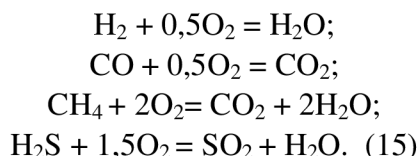
Spotřeba vzduchu na spalování a množství produktů při spalování paliva jde snadno vypočítat, jako:

$$V_0 = M^0 / 1,293 \text{ m}^3 \text{ vzduchu/kg paliva. (13)}$$

Tímto způsobem

$$V_0 = 0,0889 (C^p + 0,375 S^p/l) + 0,265 H^p - 0,033 O^p \quad (14)$$

Pro plynná paliva V^0 určují na základě objemových podílů hořlavých složek, které tvoří plyn, pomocí stecheometrických reakcí:



Teoretické množství vzduchu m^3/m^3 , potřebného pro spalování zemního plynu se určí podle vzorce:

$$V^0 = 0,0476 \left[0,5CO + 0,5H_2 + 2CH_4 + 1,5H_2S + \sum_{i=i}^{i=m} \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n - O_2 \right] \quad (16)$$

Objemovou koncentraci složek v %, dosadíme do rovnice (16). Pokud data o koncentraci uhlovodíků nemáme, počítáme že jsou složeny z C_2H_4 .

Množství vzduchu V_n , které se vypočítá ze stechiometrických rovnic (14) a (16), se nazývá teoreticky nutným, tj. hodnota V_0 představuje minimální množství vzduchu, potřebné pro zajištění dokonalého spalování 1 kg (1m^3) paliva, za předpokladu, že veškerý kyslík obsažený ve vzduchu a v palivu, bude využit na spalování.

Vzhledem k určitým obtížím v organizaci procesu úplného míchání paliva se vzduchem v provozním objemu spalovací komory se mohou objevit oblasti, kde se projeví místní nedostatek nebo přebytek okysličovadla.

V důsledku tohoto se kvalita a spotřeba vzduchu na spalování a množství produktů spalování paliva zhoršuje. Takže se v reálných podmínkách vzduch pro hoření paliva podává ve větším množství, ve srovnání s jeho teoretickým množstvím V_0 . Poměr skutečného množství vzduchu dodávaného do spalovací komory, k teoreticky nutnému, se nazývá součinitelem přebytku vzduchu:

$$\alpha = \frac{V_d}{V_o} \quad (17)$$

Při návrhu a tepelném výpočtu spalovacích komor, se α volí v závislosti na druhu spalovaného paliva, způsobu spalování a konstrukci spalovacích komor. Hodnota se pohybuje v rozmezí 1,02 - 1,5.

Složení a množství spalin při úplném spalování paliva. Spaliny při $\alpha = 1$ obsahují:

- suché tříatomové plyny CO_2 a SO_2
- H_2O - vodní pára, která je získána při spalování vodíku
- N_2 - dusík paliva a dusík, který se nachází v teoreticky potřebném množství vzduchu.

Kromě toho, se ve složení spalin nachází vodní pára, která se objevila při odpařování vlhkosti paliva. Při teplotě spalin pod teplotu rosného bodu se vodní pára kondenzuje. Při úplném spalování s $\alpha = 1$ bude ve spalinách pouze CO_2 , SO_2 , H_2O a N_2 . Je-li $\alpha > 1$, pak v nich bude přítomen přebytek vzduchu, tj. dodatečné množství kyslíku a dusíku.

Procentuální obsah příslušných plynů podle objemu označíme CO_2 , SO_2 , H_2O , atd. V_{CO_2} , V_{SO_2} , V_{N_2} , a tak dále - jejich objemy, které získáme při spalování 1 kg (1m^3) paliva, při normálních podmínkách (index 0 ukazuje, že výpočty jsou provedeny při $\alpha = 1$). Pak dostaneme:

$$\text{CO}_2 + \text{SO}_2 + \text{N}^{0/2} + \text{H}_2\text{O}_2 = 100 \% \text{ nebo } V^{0/r} = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2} + V^{0/\text{N}_2} + V^{0/\text{H}_2\text{O}} \quad (18)$$

Kde $V^{0/r}$ - celkový objem spalin, při normálních podmínkách, m^3 kg.

Pro zjednodušení výpočtu množství suchých tříatomových plynů je spočítáme společně a jejich součet označíme symbolem RO_2 , tj.

$$V_{\text{ro}_2} = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2} \quad (19)$$

Součet prvních třech složek v rovnici (18) představuje množství suchých plynů $V_{c.p.}$, a, proto,

$$V^0_r = V^0_{c.p.} + V^0_{\text{H}_2\text{O}} \quad (20)$$

kde $V^0_{c.p.} = V_{\text{ro}_2} + V^{0/\text{N}_2}$

Hodnoty V^{0/N_2} , $V^0_{\text{H}_2\text{O}}$, $V^0_{c.p.}$, V^0 a V_{ro_2} - jsou teoretické objemy plynů při spalování 1 kg tuhých nebo kapalných paliv. V souladu s rovnicemi (8) a (9) je hmotnost tříatomových plynů rovna:

$$M_{\text{RO}_2} = \frac{44}{12} + \frac{O^P}{100} + \frac{64}{32} + \frac{S^P_l}{100} \quad (21)$$

Teoretické množství vodních par, které vzniká při spalování vodíku $V^r_{\text{H}_2\text{O}}$, se určuje v souladu s rovnicí (10). K tomuto objemu je třeba přidat objem páry, která vznikne při odpařování vlhkosti paliva $V^r_{\text{H}_2\text{O}}$. Objem pár v trysce $V^t_{\text{H}_2\text{O}}$ a množství vodní páry, která je obsažena ve vzduchu $V^{B^3}_{\text{H}_2\text{O}}$, pak:

$$V^t_{\text{H}_2\text{O}} = V^r_{\text{H}_2\text{O}} + V^r_{\text{H}_2\text{O}} + V^t_{\text{H}_2\text{O}} + V^{B^3}_{\text{H}_2\text{O}} \quad (22)$$

Výpočet jednotlivých objemu z rovnice (22):

$$V^r_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\left(\frac{36}{4}\right) \left(\frac{H^P}{100}\right)}{0,805} = 0,111H^P$$

$$V_{H20}^r = \frac{W^P / 100}{0,805} = 0,0124W^P$$

$$V_{H20}^t = W^t / 0,805 = 0,24W^t$$

$$V_{H20}^{B3} = \frac{V^t d / 1000}{0,805} = 0,0161V^t$$

kde 0,805 - hustota vodní páry při normálních fyzikálních podmínkách, kg/m^3 ;
 W^t - spotřeba pár na trysku (uvažujeme $W^t = 0,3 \div 0,35 \text{ kg/kg}$),
 d - vlhkost vzduchu (obvykle se užívá $d = 13 \text{ g/m}^3$).

Kompletní teoretické množství vodní páry se určí podle vzorce:

$$V_{H20}^0 = 0,111H^p + 0,0124W^P + 1,24W^t + 0,0161V^0 \quad (23)$$

Teoretické množství dusíku (1 m^3 na 1 kg paliva) při $\alpha = 1$ se skládá z dusíku, vzduchu a dusíku paliva, tj.

$$V_{N2}^0 = \frac{V^0}{100} 79 + \frac{N^P}{100\rho_{N2}} = 0,79V^0 + 0,8 \frac{N^P}{100} \quad (24)$$

kde $\rho_{N2} = 1,25$ - hustota dusíku, kg/m^3

Při koeficientu přebytku vzduchu $\alpha > 1$ budou ve složení spalin navíc existovat přebyteky vzduchu a vodní páry, které byly s tímto vzduchem přinášeny. Objem spalin při $\alpha = 1$ se nazývá skutečným.

Skutečný objem bude tvořit:

Vodní pára

$$V_{H20} = V_{H20}^0 + 0,0161V^0(\alpha - 1) \quad (25)$$

Dvouatomový plyn

$$V_{R2} = V_{N2}^0 + V^0(\alpha - 1) \quad (26)$$

Suché spaliny

$$V_{c.r} = V_{RO2} + V^0(\alpha - 1) + V_{N2}^0 \quad (27)$$

Celkový objem spalin

$$V_r = V_{c.r} + V_{H20} = V_{RO2} + V_{N2}^0 + V_{H20}^0 + 1,061V^0(\alpha - 1) \quad (28)$$

Hodnota V_{RO2} je koeficient přebytku vzduchu.

Teoretické množství spalin 1 m³ plynného paliva se počítá na základě stecheometrických rovnic (15). Při úplném spalování hořlavých složek plynných paliv CO, H₂ a C_mH_n se tvoří oxid uhličitý CO₂ a vodní pára. Při spalování sirovodíku H₂S se kromě vodní páry tvoří sirmé plyny SO₂. Objem tříatomových plynů, m³/m³,

$$V_{RO_2} = 0,01(CO_2^T + CO + H_2S + \sum mC_mH_n) \quad (29)$$

Objem vodní páry, m³/m³, při $\alpha = 1$

$$V_{H_2O}^0 = 0,01(H_2S + H_2 + 2CH_4 + 0,124d + \sum \frac{n}{2}C_mH_n) \quad (30)$$

kde d – vlhkost plynu, g/m³

Množství dusíku, suchých plynů a celkový objem spalin, se pro kapalná a tuhá paliva určí stejně, podle vzorce (16), (12) a (10).

Při $\alpha > 1$ se skutečný objem vodní páry, suchého plynu a celkový objem spalin zjistí podle vzorce (17), (19) a (20). Pokud se složení uhlovodíků C_mH_{2n}, které tvoří plyn, není znám a jejich celkový obsah není vyšší než 3 %, pak se ve výpočtu zapíše, jako C₂H₄. [25]

6 VÝPOČET HOŘÁKU

6.1 Výpočet a návrh hořáku je konceptován dle:

Pro výběr nového hořáku je nutné znát a dodržet následující pravidla:

1. Stávající parametry kotle:

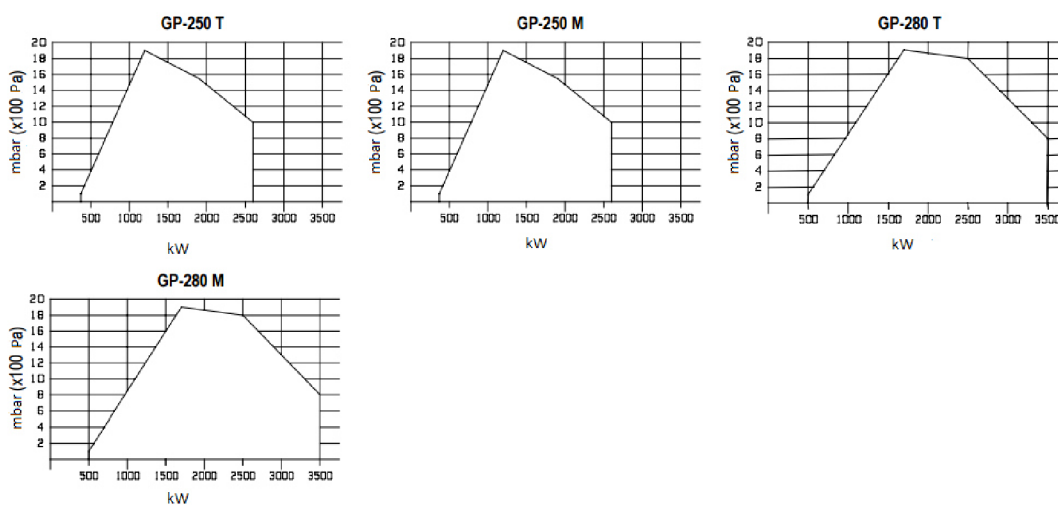
- druh paliva, které lze použít pro kotel
- tlak, pod kterým do spalovací komory vstupuje palivo
- protitlaková spalovací komora
- účinnost kotle, jeho výkon nebo optimální výkon hořáku
- metoda regulace výkonu hořáku

2. Je třeba vypočítat přesný výkon hořáku. Optimální výkon hořáku se rovná součinu výkonu kotle a jeho účinnosti. Například pro kotle s výkonem 2500 kW a účinností 90% je potřeba hořák o výkonu 2780 kW.

3. Je třeba také spočítat potřebnou spotřebu paliva (PSP). V případě plynového hořáku se PSP vypočítá: $PSP = (P_{hoř} \times 3,6)/Q_{pl}$ (31). Tzn., pokud má plynový hořák výkon 2780 kW, pak dostaneme: $(2780 \text{ kW} \times 3,6)/35,8 = 279 \text{ kg/h}$, kde $35,8 \text{ MJ/nm}^3$ je výhřevnost zemního plynu.

Z tohoto vzorce lze taky spočítat množství spalovaného paliva je-li hořák na kapalném palivo (nafta). Při tomto, je hodnota výhřevnosti paliva $42,7 \text{ MJ/kg}$. Takže, pokud provádíme výpočty pro hořák 2780 kW, spotřeba paliva je 234 kg/h.

4. Pro výše stanovené parametry je možné vybrat určitý typ hořáku. Z grafu závislosti protitlaku a výkonu zvoleného hořáku je možné určit pracovní rozsah. Například, výkon hořáku je 2780 kW při protitlaku kotle 12 mbar. Při těchto parametrech bude pracovní bod umístěn uvnitř křivky GP-280M. V případě, že se bod dostane pod křivku, pak je pro daný protitlak výkon hořáku dostatečný.



Obr. 22 Graf závislosti protitlaku a výkonu. [10]

5. Nyní je třeba vybrat vhodnou klapku pro plynové hořáky. Klapku lze vybrat na základě k tomu určených tabulek, které jsou závislé na výkonu hořáku. Vhodnou tabulku najdeme v katalogu výrobce, u kterého jsme zakoupili hořák. Avšak tabulky jsou určeny pro spalovací komory, které mají protitlak 0 mbar. To znamená, že před tím, než jsou využity údaje z tabulky, je třeba snížit tlak paliva do skutečné hodnoty protitlaku spalovací komory. Teprve poté bude možné využívat údaje z tabulky. V tabulce parametry jsou výkonu uvedeny pouze pro zemní plyn.

6. Je třeba pečlivě zkontrolovat rozměry plynového hořáku. V této fázi je třeba věnovat zvláštní pozornost na délku čela hořáku. V ideálním případě by měla být délka čela taková, aby byla stejná jako spalovací komora, nebo o 10-20 mm delší.

7. Zkontrolovat délku plamene. Plamen by se neměl dotýkat stěny topeniště.

8. Při výměně hořáku je třeba zkontrolovat pomocná zařízení, zda vyhovují novému hořáku. [20],[10]

6.2 Výpočet účinnosti spalování [2]

Pokud víme obsah CO_2 a teplotu odchazejících plynů, je velmi snadné najít účinnost spalování díky vzorci

$$R_c = 100 - \left(0,59 \times \frac{T_f - T_a}{CO_2} \right) \quad (32)$$

kde R_c : účinnost spalování, v %

$T_f - T_a$: Teplota odchazejících plynů, minus pokojová teplota v kotelně

CO_2 : Obsah CO_2 (v %) v odchazejících plynech

Příklad :

- Kotel De Dietrich GTU 126, naladěný na užitečný výkon 36 kW.
- CO_2 nastaveno na 13 %
- Ustálena teplota odchazejících plynů - pokojová teplota : 150° C.

$$\text{Účinnost spalování} = 100 - \left(0,59 \times \frac{150}{13} \right) = 93,2 \quad (33)$$

6.3 Hořák na plyn nebo na kapalná paliva?

Byl proveden výpočet a srovnání dvou hořáků na kapalná a na plynná paliva. Při známých parametrech, účinnost kotle a aerodynamický odpor, navrhněn hořák a byla výpočítána jeho spotřeba vzduchu a paliva.

Na příkladu kotle s výkonem 1012 kW. [27],[28]

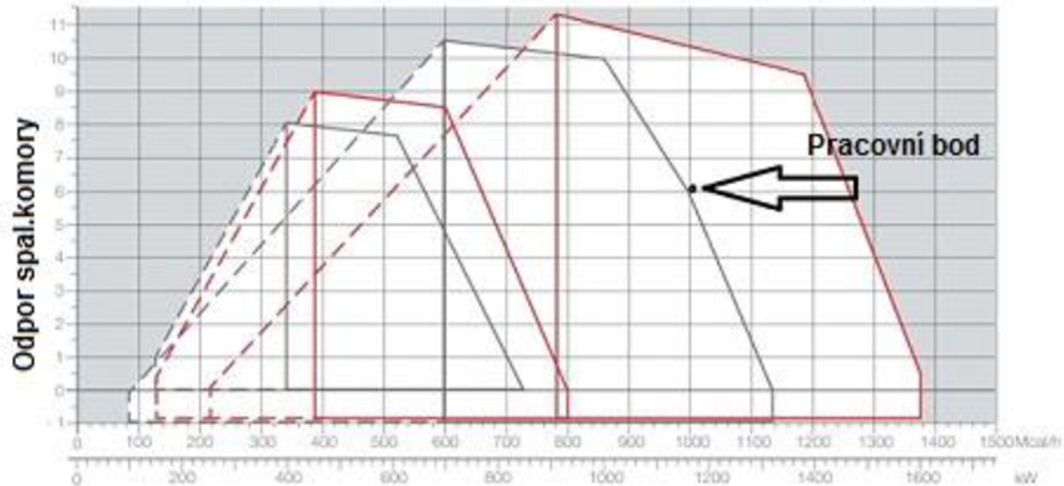
Vstupní data:

Účinnost kotle – 93,4%

Aerodynamický odpor – 6,1 kPa (mbar), viz Příloha 1

A) Hořáky na plynná paliva

V souladu s daty, které byly získány pomocí experimentů (v laboratořích výrobců kotlů), vybereme hořák s potřebným výkonem. Další podrobnosti jsou uvedeny v Příloze 1. K tomu budou použity data z grafů pracovních oblastí hořáků s výkonem od 0,1 MW do 0,4 MW



Obr. 23 Graf závislosti odporu spal. komory a výkonu.

Jak lze vidět z grafu pracovních diagramů hořáků pro kotle s výkonem 1012 kW a aerodynamickým odporem ohniště – 6,1 kPa (mbar) odpovídá hořák s výkonem od 220 kW/h do 1380 kW/h

Výpočet tepelného výkonu hořáku

$$Q_{\text{hoř}} = \frac{Q_{\text{zař}} \times 100}{\eta_{\text{zař}}} \quad (34)$$

$Q_{\text{hoř}}$ - vypočtený tepelný výkon hořáku

$Q_{\text{zař}}$ - jmenovitý výkon tepelného zařízení

$\eta_{\text{zař}}$ - účinnost tepelného zařízení

Jmenovitý výkon kotle – 1021 kW

Účinnost kotle – 93,4%

Vypočteme $Q_{\text{hoř}}$ podle vzorce (34):

$$Q_{\text{hoř}} = (1012 \times 100) / 93,4 = 1083,51 \text{ kW}$$

Výpočet spotřeby plynu a vzduchu pro hoření

$$\dot{V}_{\text{pl}} = \frac{Q_{\text{kot}}}{\eta_{\text{kot}} \cdot Q_{\text{pl}}} \quad (35)$$

Je třeba vědět spalné teplo plynu. Je počítáno na příkladu – 10 kWh / m³

Dále účinnost kotle – 93,4%.

Podle vzorce (35) byla spočtena spotřeba plynu:

Celkem: $1012 \text{ kW} / 0,934 = 1083,51 \text{ kW}$.

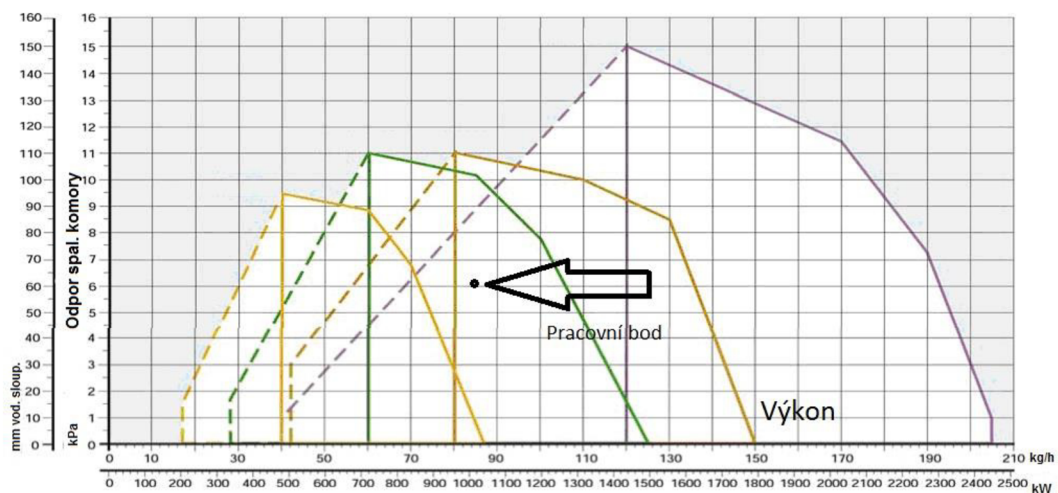
Dále je třeba dělit na spalné teplo plynu (10 kWh m^3). Takže spotřeba plynu při zatížení v $1083,51 \text{ kW}$: $1083,51 \text{ kW} / 10 = 108,351 \text{ nm}^3/\text{hod}$.

$$\dot{V}_{vz} = \dot{V}_{pl} \cdot V_{vz} \quad (36)$$

Na každý 1 m^3 spal. plynu je nutné cca 11 m^3 vzduchu.

Spotřeba vzduchu pro hoření podle vzorce (36) – $108,351 \cdot 11 = 1191,861 \text{ m}^3/\text{hod}$.

B) Hořáky na kapalna paliva (nafta):



Obr. 24 Graf závislosti odporu spal. komory a výkonu.

Jak lze vidět z grafu pracovních diagramů hořáků pro kotle s výkonem 1012 kW a aerodynamickém odporu ohniště – $6,1 \text{ kPa}$ (mbar) odpovídá hořák s výkonem od 340 kW/h do 1500 kW/h (zelená čara).

Výpočet spotřeby paliva a vzduchu pro hoření:

Je třeba vědět spalné teplo nafty. Je počítáno na příkladu – $11,8 \text{ kWh / m}^3$.

Účinnost kotle – 93,4%.

$$\dot{m}_{pal} = \frac{Q_{kot}}{\eta_{kot} \cdot Q_{pal}} \quad (37)$$

Podle vzorce (37) byla spočtena spotřeba paliva:

Celkem: $1012 \text{ kW} / 0,934 = 1083,51 \text{ kW}$. Dále je třeba dělit na spalné teplo nafty ($11,8 \text{ kWh / m}^3$).

Takže spotřeba nafty při zatížení v $1083,51 \text{ kW}$: $1083,51 \text{ kW} / 11,8 = 91,82 \text{ kg/hod nafty}$.

$$\dot{V}_{vz} = \dot{m}_{pal} \cdot V_{vz} \quad (38)$$

Na každých 10 kW výkonu je nutné pro spalování nafty 13,5 m³ vzduchu.

Spotřeba vzduchu pro hoření podle vzorce (38) – $1083,51/10=108,351*13,5 =$
1462,7385 m³/hod

Na závěr zkusíme porovnat náklady na spotřebu jednotlivých paliv:

Pokud známa cena plynného a kapalného paliva v Česku a Rusku, a je to:

Plyn – 4,49 rub. v Rusku a 15 korun v Česku za 1m³

Nafta – 40,6 rub v Rusku a 38,05 korun v Česku za 1kg

Po jednoduchem vypočtu bylo zjištěno že na 1 hod nepřetržitého provozu hořáku náklady na spotřebu paliva budou:

Hořák na kapalna paliva (nafta) – **3727,9 rub/hod** v Rusku a to se bude rovnat cca **1863,5 Kč/hod**, a **3493,8 Kč/hod** v Česku.

Hořák na plynná paliva – **486,5 rub/hod** v Rusku a to se bude rovnat cca **243,25 Kč/hod** a **1625,3 Kč/hod** v Česku.

7 ZÁVĚR:

Plynové hořáky mají širokou škálu výhod. Konstrukce plynových hořáku je velmi jednoduchá. Jeho spuštění trvá vteřiny a funguje téměř spolehlivě. Plynové hořáky se používají pro vytápění kotlů nebo pro průmyslové aplikace.

Při výběru kotle na kapalná a plinná paliva je třeba se zaměřit nejen na jeho výkon a další funkce, ale i na typ hořáku, resp. na jeho spotřeba paliva, účinnosti a životnost.

Tato práce byla zaměřena na hořáky využívané v průmyslových technologických zařízeních. Práce měla tři cíle. První cíl bylo popsat jednotlivé druhy hořáků, základní koncepce konstrukcí hořáků na kapalná a plynná paliva. Podle využití v průmyslových technologiích jsou popsány různé typy hořáků.

Druhý cíl byl popsat zákonné rámce a základní parametry hořáků. Zjistila jsem, že dle norem GOST 21204-97 a GOST 17356-71 je velké množství požadavků, které musí výrobce splnit pro výrobu jednotlivých hořáků. Nejdůležitější z nich jsou jednoduchost montáže a provozu zařízení, dlouhá životnost zařízení, vysoká úroveň bezpečnosti při provozu a udržování. Pokud je takové zařízení je definován jako univerzální, rychlý přechod z jednoho paliva na druhé. Parametr šetrnosti k životnímu prostředí je jedním z hlavních požadavků na moderní fázi, při spalování zemního plynu musí tvořit minimální možné množství oxidu uhelnatého CO a různých oxidů dusíku NO_x.

Třetím cílem je popsat metodu pro navrhování hořáků. Na příkladu kotle s výkonem 1012 kW jsem spočítala různé spotřeby paliva a vzduchu pro hořák na kapalná a plynná paliva. Pro hořák na plynná paliva - 108,351 m³/hod plynu a 1191,861 m³/hod vzduchu. Pro hořák na kapalná paliva - 91,82 kg/hod nafty a 1462,7385 m³/hod vzduchu. Také jsem spočítala náklady na spotřebu jednotlivých paliv. Pro hořák na plynná paliva - 243,25 Kč/hod v Rusku a 1625,3 Kč/hod v Česku. Pro hořák na kapalná paliva - 243,25 Kč/hod v Rusku a 1625,3 Kč/hod v Česku.

Z toho pohledu je mnohem výhodnější koupit hořák na plynná paliva, než na kapalná. Stejně zvláštní pozornost je třeba věnovat kotlům, které pracují na 2 druhy paliva - kapalná a plynná. Vzhledem k tomu, že často náklady na dva hořáky, pracujících na různých druzích paliv, téměř srovnatelné s náklady na jeden hořák, který pracuje na oba druhy paliva. Proto je podstatné finanční přínosy v tomto případě není. V praxi, vzhledem k tomu, že všechny výhody a nevýhody obou typů hořáků, přišli na kompromis: na kotlích malého výkonu častěji instalují atmosférické hořáky a kotle na větší výkon hořáky s nuceným přívodem vzduchu.

8 ZDROJE:

- [1] Reakcia gorenija [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://fas.su/page-508>
- [2] DE DIETRICH. 2001. *Židkotoplevnyje gorelki: Bibliotěka otoplěnia*. B.P. 30 - 57, rue de la Gare - 67580 MERTZWILLER. Dostupné také z: www.dedietrich.com
- [3] WEISHAUPT. *Podogrevatěli židkogo topliva*. 509 s.
- [4] DANFOSS. 04.08n. 1. *Podogrevatěli židkovo topliva: Techničeskoje opisanie*. Danfoss G1 Communication.
- [5] 1980. SEDLÁČEK, Karel. *Plynové hořáky*. Praha: České plynárenské podniky, s. 25-26.
- [6] Gorelki Riello. *Interclima* [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: http://interclima.by/article/gorelki_ot_riello_557.htm
- [7] PBS Power Equipment. 2015. *Pbspe* [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: http://www.pbspe.cz/cze/index.php?action=catalogue_detail&id=33
- [8] Typy gorelok. *Mosenergoinform* [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.mosenergoinform.ru/gorelki/class.htm>
- [9] Teplo Profi. 2015. *Ruskotel* [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.ruskotel.com/gorelki-zhidkotoplivnie/>
- [10] Oilon. 2015. *Oilon* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.ойлон.рф/articles/classification-of-gas-burners/>
- [11] 1966. *Gazovyje gorelki*. Leningrad: Nedra, s. 19. ISBN 662.983.
- [12] 1992. OŠOVSKY, V. a I. KULAGA. *Spravočnik slěsara gazovogo chozjajstva*. Kiev: Budivělnik. ISBN 5-7705-0245-2.
- [13] Kolektiv. *Topenářská příručka*. 1. vyd. Praha: GAS s.r.o. Praha, 2001, 2 396 s.
- [14] Gorelki s prinuditelnoj podačej vozducha. 2015. *Choču vse znat* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://flaska.ru/pgvs/67.html>
- [15] 1989. *Inženernoe oborudovanie zdanij i sooruzenij*. Moskva: Vysšaja škola. ISBN 5-902146-09-0.
- [16] Evropejskije inženernyje systěmy. 2013. *Eesystems* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.eesystems.ru/dual-fuel-burners-for-the-boiler.html?page=2>
- [17] Aljans Termo. 2015. *Altermo* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.altermo.ru/stati/kakuju-gorelku-vybrat/>
- [18] Zavod "Staroruspribor". 2015. *Staroruspribor* [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: <http://www.staroruspribor.ru/articles/view/98.htm>
- [19] *GOST 21204-97. Obšije techničeskije trebovanija*. 25.04.97n. 1. 1.července 1998. Minsk: Promgas.
- [20] 1981. *Sožigatělnyje ustrojstva nagrevatělnych i těrmičeskyh pečej: Spravočnik*. Moskva: Metalurgia. ISBN 5-217-03075-5.
- [21] OHNÚT: Spalovací technika. *Ohnut* [online]. 2014 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.ohnut.cz/horak-skvj-m>
- [22] RIELLO BURNERS. *Azbuka gorenija* [online]. 2002 [cit. 2015-05-16].
- [23] Tzbinfo: Technická zařízení budov. *Tzb-info* [online]. 2015 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2183-horaky-pro-spalovani-zemniho-plynu-iii>
- [24] Gid otoplěniya. *Gazovyje gorelki* [online]. 2012 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://gidotopleniya.ru/kotly-i-kotelnoe-oborudovanie/gazovye/gazovye-gorelki-dlya-kotlov-vidy-3253>
- [25] LARIKOV, N.N. *Těplotěchnika* [online]. Strojizdat, 1985, 432 s. [cit. 2015-05-17].
- [26] GAS S.R.O. *Plynárenská příručka* [online]. 1997, 1222 s. [cit. 2015-05-17].

- [27] RIELLO. *Stal'nyje vodogrejnyje kotky RTS: Instrukcii po obsluzivaniju i montažu* [online]. Italia, 2006 [cit. 2015-05-19].
- [28] RIELLO. *Gazovyje gorelki: Dvustupenčatyje progressivnyje ili modulacionnyje(RS/M)* [online]. 2006 [cit. 2015-05-19].
- [29] RIELLO. *Dizel'nyje gorelki: Dvustupenčatyje progressivnyje ili modulacionnyje* [online]. 2006 [cit. 2015-05-19].

Technické charakteristiky

Model		115	150	200	247	319	410	526	736	850	1012	1200	1355	1500	1850	
Palivo		Plyn/Kapalné palivo														
Nominální teplotní výkon	min	80	115	166	217	255	349	448	639	790	860	1100	1100	1450	1658	kW
	max	125	166	217	270	349	448	575	790	910	1100	1284	1450	1610	1980	kW
Nominální výkon	min	74,7	107,4	155,0	202,7	238,2	326,0	418,4	596,8	737,9	803,2	1027,4	1027,4	1354,3	1548,6	kW
	max	115,3	153,1	201,2	252,5	326,3	418,9	537,6	738,7	850,9	1028,5	1200,5	1355,8	1500,5	1851,3	kW
Účinnost	při min Pn	93,4	93,4	93,4	93,4	93,4	93,4	93,4	93,4	93,4	93,4	93,4	93,4	93,4	93,4	%
	při max Pn	92,2	92,2	92,7	93,5	93,5	93,5	93,5	93,5	93,5	93,5	93,5	93,5	93,2	93,5	%
Účinnost při 30% (Pn Max)		97,2	97,2	97,2	97,2	97,2	97,2	97,2	97,2	97,2	97,2	97,2	97,2	97,2	97,2	%
Ztráty (Pn Max)		< 1,4					< 1,2					< 1,0				%
Teplota spalin (ΔT°)		160±170														°C
Hmotnostní spotřeba spalin (Pn Max)		0,054	0,071	0,093	0,117	0,152	0,193	0,248	0,340	0,395	0,475	0,547	0,609	0,677	0,857	kg/s
Aerodynamický odpor		1,2	1,6	1,8	3,0	2,4	3,7	2,2	4,8	6,8	6,1	9,8	5,1	7,0	7,2	mbar
Objem spal. komory		75	121	176	176	240	296	453	613	613	812	812	1065	1065	1297	dm³
Celkový objem		112	176	253,5	261,5	357,5	443	682	899	899	1209	1209	1656	1656	2088	dm³
Teplosměrná plocha		3,77	5,32	7,34	8,16	10,06	12,88	18,58	23,45	23,45	30,60	30,60	40,40	40,40	51,82	M²
Objemové teplotní zatížení (Pn Max)		1671	1367	1229	1530	1458	1515	1268	1289	1485	1353	1580	1362	1512	1527	kW /M³
Měrné tepelné zatížení (Pn Max)		30,6	28,8	27,4	30,9	32,4	32,5	28,9	31,5	36,3	33,6	39,2	33,6	37,1	35,7	kW /M²
Maximální pracovní tlak		5							6							bar
Maximální povolená teplota		110														°C
Maximální pracovní teplota		110														°C
Minimální teplota zpáteční vody		55														°C
Tlakové ztráty při ΔT 10° C		43	50	90	135	170	260	120	57	98	66	80	118	138	122	mbar
Teplotní ztráty při ΔT 20° C		12	10	20	34	40	60	34	16	30	20	28	29	38	35	mbar
Objem vody v kotli		176	255	319	309	408	495	655	899	899	1193	1193	1537	1537	2111	l