



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL  
ENGINEERING

## ZKOUŠKY HOŘÁKŮ

BURNER TESTING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ALEŠ RYCHTER

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR BĚLOHRADSKÝ, Ph.D.

BRNO 2012



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2011/2012

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Aleš Rychter

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

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

### **Zkoušky hořáků**

v anglickém jazyce:

#### **Burner testing**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zkoušky hořáků poskytují možnost získat cenné informace týkající se provozních parametrů, emisí, tvaru a délky plamene, přenosu tepla do stěn spalovací komory, a v neposlední řadě i bezpečnostních limitů a hluku. Úkolem studenta je provést analýzu zkoušek hořáků, zaměřit se na přístrojové vybavení, které je nezbytné k měření veličin, prodiskutovat analýzu reálných naměřených dat, a závěrem uvést normy pro zkoušení hořáků.

Cíle bakalářské práce:

1. Cíle a účely zkoušek hořáků.
2. Přehled přístrojového vybavení nezbytného pro měření fyzikálních veličin.
3. Analýza reálných naměřených dat ze zkoušek hořáků.
4. Normy pro zkoušky hořáků.

Seznam odborné literatury:

1. Baukal C.E., Industrial Burners Handbook, CRC PRESS, 2004, ISBN 0-8493-1386-4.
2. Baukal C.E., Industrial Combustion, Pollution and Control, USA, Marcel Dekker, 2004, ISBN 0-8247-4694-5.
3. Norma ČSN.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Bělohradský, Ph.D.

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

V Brně, dne 1.11.2010

L.S.

---

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## Abstrakt

Bakalářské práce se zabývá problematikou zkoušení hořáků používaných v průmyslových aplikacích. Celkově je práce rozdělena do dvou částí. První část se zabývá základním rozdělení hořáků a to podle způsobu tvorby směsi paliva s okysličovadlem, podle typu použitého paliva a podle způsobu přívodu okysličovadla. Dále se práce již zaměřuje na vlastní zkoušky hořáků. Jsou zde popsány typy prováděných zkoušek hořáků a zkušební prostředí, v nichž lze zkoušky provádět. Z pohledu provedení zkoušky, je potřeba učinit několik důležitých rozhodnutí, mezi něž zejména patří volba zkušebního paliva, zkušební spalovací komory a volba vhodného okysličovadla, které mají vliv na výsledek zkoušky. K přípravám zkoušky patří i vypracování zkušebního plánu, do něhož je nutné zahrnout potřeby konkrétních zkoušek. Zkoušky je potřeba také provádět s ohledem na příslušně technické normy. Po vykonání každé zkoušky je zapotřebí provést vyhodnocení naměřených dat a vypracování zkušebního protokolu, který shrnuje nejdůležitější výsledky. V souvislosti s nutností monitorovat v průběhu veličiny jako jsou emise, teploty, tlaky, průtoky atd., je v práci popsáno i přístrojové vybavení určené k jejich záznamu.

## Klíčová slova

Zkoušky hořáků, spalovací komora, zkušební zařízení, zkušební palivo, technická norma, přístrojové vybavení, typy zkoušek, analýza dat.

## Abstract

Bachelor thesis deals with testing of burners used in industrial applications. Overall is work divided into two main parts in which the first one is focused on basic classification of burners according to mixing type, fuel type and air supply system. The Second part of work is then focused on the burner tests. It describes types of tests and test environments in which the combustion tests can be carried out. In terms of tests, it is then necessary to make some important decisions, including the choices of testing fuel, combustion chamber and oxidizer, which have impact on the result. The preparation of tests also includes the developing of test procedure in which it is necessary to include the requirements of specific tests. The tests have to be carried out according to the relevant technical standards. After the realization of every test the evaluation of measured data has to be done and the test report summarizing the results of the test has to be issued. Since during the tests a number of process variables is measured like emissions, temperatures, pressures, flow rates, etc., the necessary instrumentation is described as well.

## Keywords

Burner testing, combustion chamber, testing facility, testing fuel, technical standard, measurement equipment, types of tests, analysis of experimental data

### **Bibliografická citace**

RYCHTER, A. *Zkoušky hořáků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 49 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Bělohradský, Ph.D.

### **Prohlášení o původnosti**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petra Bělohradského, Ph.D. a to s použitím literárních zdrojů, které jsem uvedl v seznamu literatury.

V Brně dne 23. 5. 2012

.....

Aleš Rychter

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Petru Bělohradskému, Ph.D. za odborné vedení a poskytnuté rady při psaní bakalářské práce a pak panu Ing. Lubomíru Vítkovi za poskytnutí praktických informací o dané problematice. Dále bych chtěl poděkovat rodině za podporu ve studiu a pak svému otci za pomoc při zpracování bakalářské práce.

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>10</b>
1.1	Cíle práce.....	11
<b>2</b>	<b>Hořáky – princip a základní části .....</b>	<b>12</b>
2.1	Základní rozdělení hořáků .....	14
2.1.1	Hořáky podle způsobu tvorby směsi .....	14
2.1.2	Hořáky podle typu paliva .....	15
2.1.3	Hořáky podle přívodu okysličovadla .....	17
<b>3</b>	<b>Zkoušky hořáků .....</b>	<b>18</b>
3.1	Typy prováděných zkoušek .....	18
3.1.1	Výzkumné zkoušky .....	18
3.1.2	Vývojové zkoušky.....	18
3.1.3	Zkoušky pro posouzení shody.....	18
3.1.4	Provozní zkoušky .....	19
3.2	Typy zkušebních prostředí .....	19
3.2.1	Zkoušky na otevřeném prostoru .....	19
3.2.2	Zkoušky na zkušebním zařízení .....	20
3.2.3	Zkoušky na provozním zařízení .....	21
3.2.4	Existující zkušebny hořáků .....	22
3.3	Volba parametrů ovlivňující zkoušky.....	23
3.3.1	Volba zkušebního paliva .....	23
3.3.2	Volba okysličovadla .....	25
3.3.3	Výběr spalovací komory .....	26
3.4	průběh zkoušek - zkušební plán, záznam dat a protokol.....	29
3.5	Normy zabývající se zkouškami hořáků.....	29
3.6	Vyhodnocení zkoušek hořáků.....	31
3.6.1	Výkonové charakteristiky hořáků .....	31
3.6.2	Rozsah regulovatelnosti a regulační poměr .....	33
3.6.3	Násobek stechiometrického objemu spalovacího vzduchu.....	34
3.6.4	Kvalita spalování.....	35
3.7	Měřené veličiny a přístrojové vybavení.....	36
3.7.1	Zjišťování průtoku.....	36
3.7.2	Měření tlaků .....	37
3.7.3	Teplota.....	38
3.7.4	Charakteristika plamene .....	38
3.7.5	Měření emisí.....	39
<b>4</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>40</b>
	<b>Literatura .....</b>	<b>41</b>
	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>43</b>
	<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>44</b>
	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>45</b>
	<b>Seznam použitých symbolů .....</b>	<b>46</b>

# 1 Úvod

Vlivem moderní doby se odvětví průmyslu zabývající se spalovacími procesy setkává s velkým rozmachem počítačových simulací. Ty si kladou za cíl simulovat reálné spalovací podmínky a tím tak získávat potřebná data o provozu i bez praktického zkoušení. I přes tuto skutečnost jsou fyzické zkoušky hořáků stále nezastupitelným procesem, jak obdržet skutečně věrohodné informace o chování hořáků uvnitř procesních zařízení jakými jsou kotle, ohřevné pece a jiné. Je to dáno skutečností, že výpočetní simulace neposkytují informace o chování hořáku v rámci skutečného provozu, natož pak informace o tom jak by se hořák zachoval mimo pracovní rozsah. V souvislosti s výše zmíněnými simulacemi jsou to právě data získaná experimentálním zkoušením, která v částečné míře slouží k vývoji software, jež zahrnuje modely schopné predikovat spalovací proces.

Provádění zkoušek hořáků umožňuje získávat klíčové informace o spalovacích procesech zahrnující obsahy znečišťujících látek ve spalínách, tvary a rozměry plamene, rozložení teplot uvnitř spalovacího prostoru, bezpečnostní limity a hluk vznikající v průběhu spalování. Zkoušky mohou být prováděny za účely ověření funkčnosti nově navrhovaných parametrů hořáků, ověření funkčnosti stávajících hořáků ale i za vědeckými účely umožňující vývoj nových a sofistikovanějších spalovacích technologií. Vezme-li se v potaz široký rozsah dnes dostupných paliv a v neposlední řadě množství typů spalovacích komor, dostáváme nespočet možných konstrukčních řešení hořáků, které je potřeba zkoušením ověřit.

Zkoušení je nedílnou součástí vývoje každého nového hořáku. Někteří, zpravidla větší výrobci, disponují vlastním zkušebním zařízením. To jim umožňuje otestovat chování hořáku za provozu a ověřit tak, zda hořák odpovídá parametrům pro navrhovanou aplikaci. Během zkoušky se zjišťují mezní hodnoty přiváděného paliva a oxidačního činidla, při nichž je hořák schopný bezpečného a spolehlivého provozu. Konstruktor tak získá výkonový rozsah hořáku, jenž může porovnat s teoretickým návrhem a optimalizovat jej pro dosažení zákazníkem požadovaných parametrů. Kromě toho se zkoušením zjišťuje chování hořáku nad rámec provozní oblasti. Empiricky získaná data však nejsou přínosem jen v oblasti vývoje samotných hořáků, jsou stejně tak důležité pro odborníky zabývajícími se spalovacími komorami. Pro ty jsou pak zejména důležité informace o tepelné zátěži působící na okolní stěny pece a díky takto získaným poznatkům jsou schopni přizpůsobit spalovací prostředí pro hořák tak, aby se umožnilo co možná nejefektivnějšího přenosu tepla na ohříváný materiál. Ve většině případů se však hořáky přizpůsobují na míru spalovacímu prostředí.

Lze konstatovat, že objektivně nejdůležitější úkolem zkoušek je snaha pokusit se co možná nejlépe přiblížit provozním podmínkám. S tím souvisí vhodná volba zkušebního paliva, topeniště a mnoho dalších faktorů. Kvalitně provedené testování se neobejde bez řádné přípravy, vhodného měřicího vybavení a dobře zvolené zkušební metody. Jedině takovýmto způsobem je možno obdržet data poskytující důležitý informační zdroj sloužící jako podklad k další práci.

## 1.1 Cíle práce

Hlavní úlohou při vypracování této závěrečné práce je snaha objektivně sumarizovat problematiku zabývající se zkouškami hořáků. Práce se zabývá těmito body:

- zpracování přehledu základních typů hořáků,
- obecná analýza zkoušek hořáků,
- analýza dat obdržených zkouškami hořáků,
- zpracování norem zabývající se problematikou v souvislosti se zkoušením hořáků,
- přehled měřených veličin a přístrojové vybavení používané při zkoušení.



*Obr. 1-1 Ukázka plamene hořáku spalující koksárenský a zemní plyn.*

## 2 Hořáky – princip a základní části

Hořák lze definovat jako zařízení umožňující přeměnit chemicky vázanou energii paliva na energii tepelnou a to za pomoci smíchání paliva s určitým typem okysličovačla, kterým je v drtivé většině případu atmosférický vzduch. Hořák je jednou ze základních součástí spalovacích procesů a z konstrukčního pohledu na věc musí splňovat tyto základní požadavky [1]:

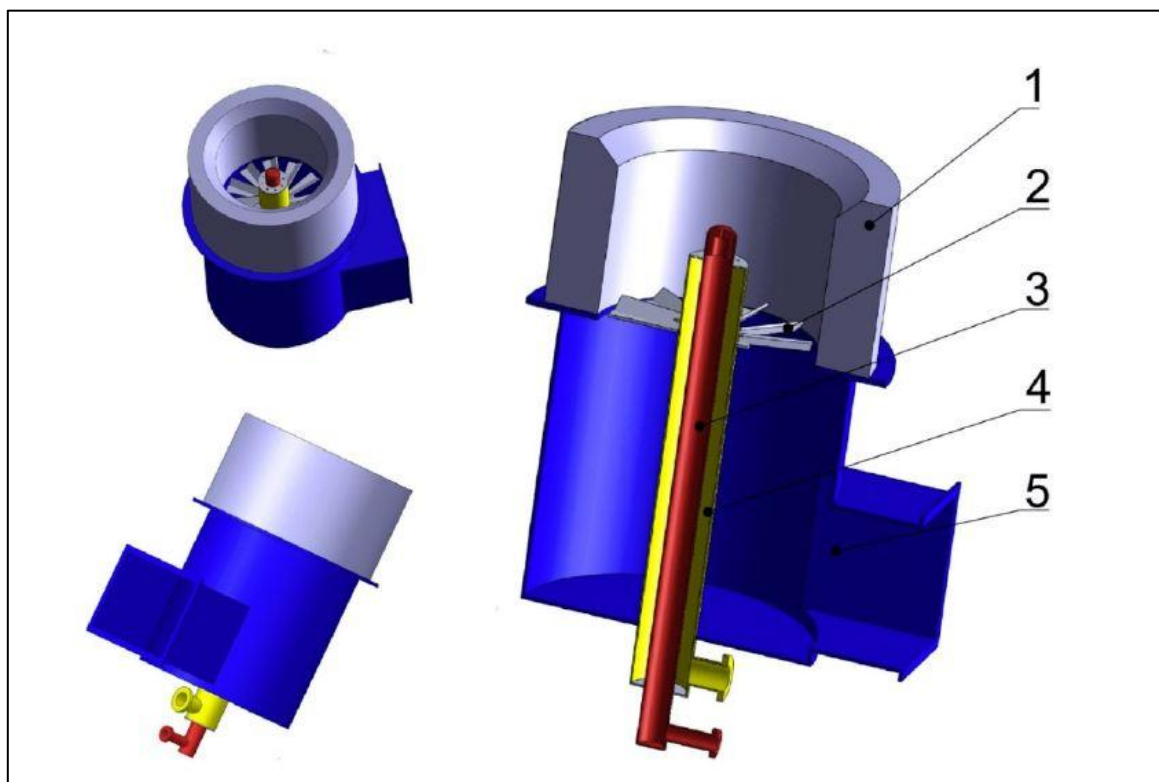
- zajistit kvalitní směšování reakčních složek – paliva a okysličovačla,
- zajišťovat stabilní a trvalý zdroj hoření,
- udržovat plamen v požadované oblasti a tvořit žádaný tvar plamene.

Procesní zařízení v podobě hořáku mohou představovat velké výkonové hořáky používané pro výrobu tepla ve velkých teplárnách a elektrárnách, nicméně pod pojmem hořáku můžeme označit i kupříkladu úplně obyčejnou svíčku používanou jako zdroj světla v dávných dobách a to protože splňuje základní definici hořáku. Konkrétně palivo u svíčky představuje její tělo tvořené hořlavým materiálem (vosk, parafín) a funkci okysličovačla plní z okolí nasávaný vzduch. Zásadním rozdílem v uvedených příkladech je ale jejich určení, v případě průmyslových hořáků je primárním cílem vznikající teplo, u svíčky je účelem vznikající světlo. Vzhledem k povaze této práce bude dále pojednáno o hořácích určených k průmyslovému využití tj. k výrobě tepla pro ohřev procesní látky nebo zpracování materiálu.



**Obr. 2-1** Ukázka příkladu hořákových spotřebičů, nalevo je plynový hořák kuchyňského sporáku [2], napravo je pak zastoupen průmyslový hořák blokové konstrukce na kapalná paliva firmy PBS POWER EQUIPMENT s.r.o. [3].

Průmyslové hořáky jsou komplikovaná zařízení skládající se z mnoha součástí, přičemž každá z nich má svůj význam a opodstatnění pro plnění správné funkce. Pro uvedení příkladu jednotlivých součástí, ze kterých se může v průmyslu užívaný hořák skládat, je zde pomocí obrázku 2-2 uveden model dvoupalivového hořáku s popisem převzatý z vysokoškolské kvalifikační práce [1].



**Obr. 2-2** Pohled a řez zjednodušeným modelem dvoupalivového hořáku (převzato z [1])

1 - Tvarovka hořáku – slouží k usměrnění směsi okysličovadla a paliva do spalovacího prostoru, čímž ovlivňuje výsledný tvar a rozměry plamene. Tvarovka se většinou vyrábí ze žáruvzdorných materiálů (keramika, kvalitní ocel), protože je schopen odolávat vysokým teplotám v okolí plamene.

2 - Vířič vzduchu – nebo také někdy označovaný jako poutač plamene slouží ke stabilizaci plamene a současně k promíchávání spalovací směsi. Vlivem natočení lopatek vířiče je vstupující spalovací vzduch roztáčen, čímž se zvyšuje jeho relativní rychlost mezi ním a palivem. Tento jev má za následek turbulentní proudění vzduchu, čímž se zintenzivní smíchávání směsi.

3, 4 - Olejová a plynová vsuvka – v závislosti na typu hořáku (jedno, dvou nebo více palivový) je konstrukčně uzpůsoben vnitřek zařízení. U vsuvky určené k vedení plynného paliva je důležitý tvar trysek na konci, protože mají zásadní vliv na vyhoření paliva, s čímž souvisí vznik škodlivých emisí, teplota plamene a jiné. U kapalných paliv je tvar trysek stejně důležitý, avšak je také zapotřebí zaručit kvalitní atomizaci přiváděného paliva.

5 - Vzduchová skříň – má za úkol přivedení vzduchu do těla hořáku. Z konstrukčního hlediska se většinou vyrábí z tenkého plechu, který ještě bývá opatřen izolací, aby se snížila povrchová teplota skříňe v případě spalování s přehřátým vzduchem. Izolace současně pracuje jako tlumič hluku vznikajícího prouděním vzduchu.

## 2.1 Základní rozdělení hořáků

Hořáky lze dělit podle mnoha rozličných faktorů. V této části je uvedeno základní rozdělení zvolené s ohledem na dělení podle dostupné literatury zabývající se danou problematikou [4], [5], [6] a to následujícím způsobem:

- podle způsobu tvorby spalovací směsi,
- podle typu spalovaného paliva,
- podle způsobu přivádění oksyličovadla.

### 2.1.1 Hořáky podle způsobu tvorby směsi

Podle tohoto kritéria se hořáky dále člení na hořáky difuzní, hořáky s částečným smícháním paliva s oksyličovadlem a hořáky s úplným smíšením paliva před vstupem do spalovacího prostoru.

#### Hořáky s předmísenou směsí

Palivo je v hořáku kompletně předmíšeno s oksyličovadlem a vytváří tak spalovanou směs ještě před vstupem do zóny spalování. Rychlost tvořené směsi musí být vyšší než rychlost spalování, jinak by hrozilo zašlehnutí plamene do ústí hořáků a mohlo by jej tak poškodit vysokými teplotami. Typickým charakterem daného způsobu je kratší a intenzivnější plamen. Vlivem toho se dosahuje vyšších teplot a je umožněn lepší přenos tepla zejména radiačním způsobem, který roste se čtvrtou mocninou teploty. Typickými představiteli jsou zejména z bezpečnostních důvodů hořáky menších výkonových parametrů.

#### Hořáky bez předmísení

Tento typ spalování se označuje jako difuzní, od kterého se odvíjí i název pro hořáky. Jedná se o situaci, kdy je palivo a oksyličovadlo uvnitř hořáku od sebe odděleno a ke vzniku spalovací směsi dochází až v prostoru za hořákem. Charakter plamene je dán intenzitou směšování a záleží na poměru rychlostí vhněných plynů a počtu trysek hořáku. V porovnání s hořáky s předmísenou směsí je délka plamene větší. Odděleného způsobu přívodu paliva a spalovacího vzduchu přímo do topeniště se využívá například u hořáků pracujících na bázi palivo-kyslík, kde se zabraňuje vysoce reaktivnímu kyslíku vracení plamene zpět do těla hořáku, tzv. prošlehnutí. Produkce delšího plamene zajišťuje rovnoměrnější rozložení teploty po délce ve spalovacím prostoru spolu se snížením teplotních špiček plamene, což má příznivý vliv na tvorbu oxidů dusíku.

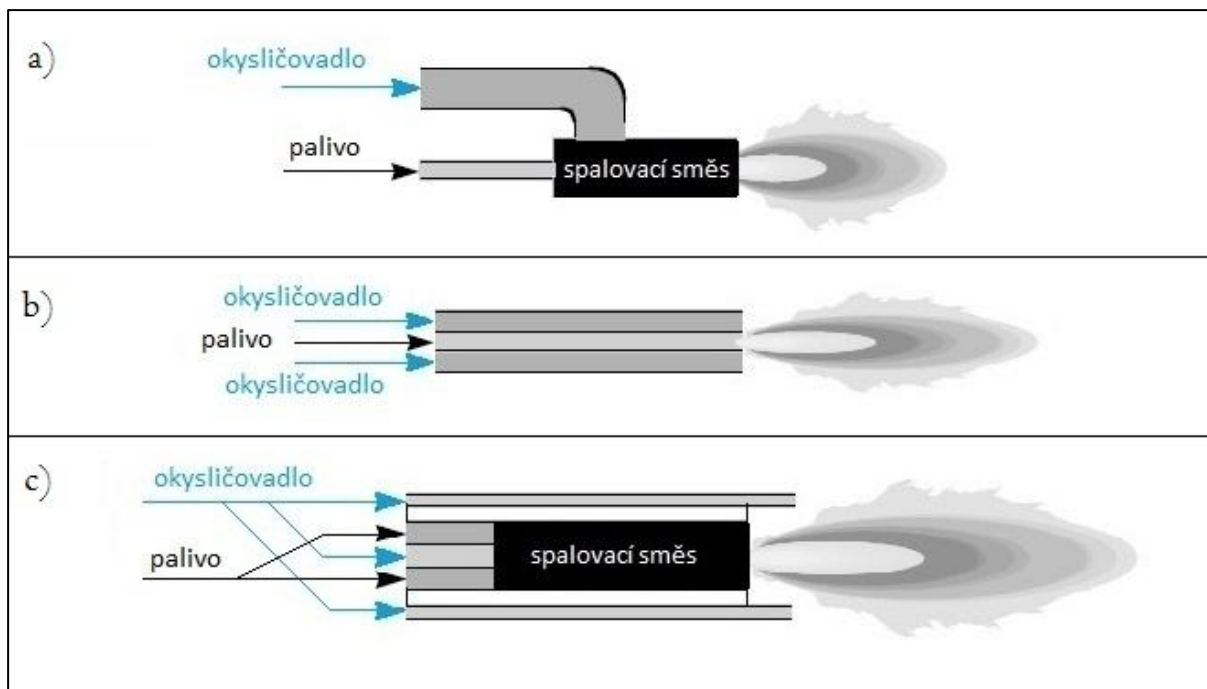
#### Hořáky využívající kombinace mísení

Tento typ hořáku nabízí kompromis spojující vlastnosti obou předcházejících typů. Část paliva je smíchána před vstupem do topeniště a spalovací směs vycházející z hořáku je poté podporována dalším přívodem vzduchu. Částečně předmísená směs pomáhá stabilnímu hoření plamene u ústí hořáku, sekundární přívod vzduchu naopak napomáhá proti prošlehnutí plamene do těla hořáku.

#### Hořáky s víceetapňovým přívodem oksyličovadla/paliva

Jedná se o způsob postupného vytváření spalovací směsi za pomoci specifické konstrukce hořáku. V případě víceetapňového přívodu oksyličovadla je část oksyličovadla smíchána s palivem (stechiometrický násobek oksyličovadla bývá  $n < 1$ , což znamená, že v prvním stupni nedochází k úplnému spalování paliva) a zbytek oksyličovadla je později přiváděn do oblasti plamene sekundárními nebo terciárními tryskami (název trysek v závislosti na počtu

stupňů). Hořák s vícestupňovým přívodem paliva funguje obdobně s rozdílem, že se ve stupních dávkuje palivo. Tyto metody tvorby směsi se využívají často k potlačení tvorby oxidů dusíku, protože podporují snížení teploty v jádru plamene.



**Obr. 2-3** Schématické rozdělení hořáků podle způsobu tvorby spalovací směsi [4]:  
 a) hořák s předmísenou směsí, b) difuzní hořák, c) hořák s částečným předmísením

### 2.1.2 Hořáky podle typu paliva

K tvorbě spalovací směsi se využívá plyných, kapalných nebo tuhých paliv a dále se pak používá kombinace těchto jmenovaných skupenství. Podle počtu zpracovávaných paliv se pak tyto hořáky rozlišují na dvou nebo více palivové hořáky. Kombinace paliv se většinou vybírá podle dostupnosti na daném místě nebo může jedno z paliv plnit záložní úlohu v případě, kdyby došlo k výpadku primárního zdroje paliva a byla by potřeba zachovat kontinuitu spalovacího procesu.

#### Hořáky na plyná paliva

Hořáky spalující plyná paliva patří v globále mezi nejpoužívanější a to vlivem jednodušší konstrukce, nižší ceny a geografické dostupnosti paliva. Plynových hořáků se hojně využívá v chemickém průmyslu. Spalování plyného paliva nevyžaduje z konstrukčního hlediska hořáku žádnou speciální úpravu paliva jako je tomu u kapalných paliv (atomizace) nebo tuhých paliv (drcení na prášek). Palivo je díky plynému skupenství jednoduše přiváděno do ohniště pod požadovaným tlakem. Z ekologického hlediska vycházejí plynové hořáky jako nejšetrnější k životnímu prostředí, neboť plyná paliva neobsahují velké množství škodlivých prvků, zejména dusíku a síry, které se pak podílejí na vzniku  $\text{NO}_x$  a  $\text{SO}_x$ . Plynými palivy a hořáky spalujícími plyná paliva se podrobně zabývá odkazovaná literatura [7].

#### Hořáky na kapalná paliva

Tento typ hořáků se vyskytuje pouze v provedení s difuzním spalováním (palivo s okysličovadlem je od sebe uvnitř hořáku odděleno a ke vzniku spalovací směsi a smíchání dochází až v prostoru plamene nebo spalovací komory). Jako palivo se většinou používá lehký topný olej (LTO), těžký topný olej (TTO), nafta a různé odpadní kapaliny vznikající

jako vedlejší produkt během industriálních procesů. Kapalné palivo je potřeba na výstupu z hořáku dostatečně rozprášit na tak malé kapičky, aby se během letu stačily vypařit a shořet. Tomuto se napomáhá různými typy atomizace a také se často používá přehřevu paliva z důvodu jeho vysoké viskozity. S rostoucí teplotou se u kapalných látek snižuje viskozita neboli míra tření v látce a rozprášení paliva je snazší a kvalitnější. Některé hořáky nabízejí z konstrukčního hlediska i ohřívačku oleje zakomponovanou v těle hořáku. K rozprašování paliva (atomizaci) se užívá různých metod, z nichž nejčastěji používané jsou zde popsány [8]:

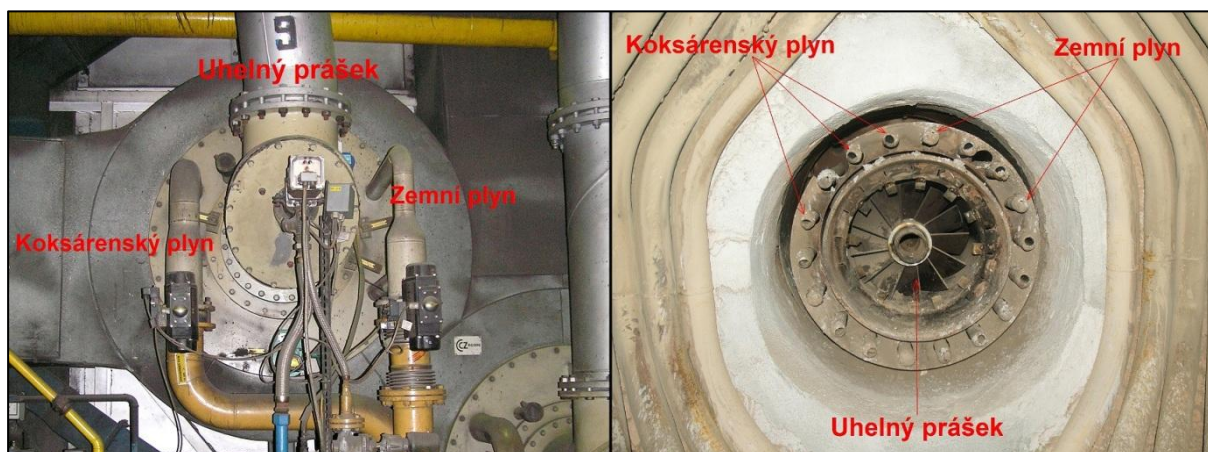
Tlakové rozprašování – je prováděno pomocí speciálně tvarovaných trysek hořáku, jimiž je protlačováno palivo o vysokém tlaku. Řádově nižší tlak ve spalovacím prostoru působí tlakovou vlnou na palivo a to se rozptýlí do okolí. Velikost tlaku závisí na typu spalované kapaliny. Výhodou metody je použití nepohyblivých částí, které jsou ovšem vystavovány vysokým tlakům.

Rozprašování pomocí atomizačního média – vytváří se pomocí tlakového vzduchu nebo páry, kdy tlak paliva a atomizačního média u většiny aplikací nepřesáhne tlak 1,2 MPa. Při srovnání s tlakovým rozprašováním je výsledek spalování méně citlivý na viskozitu a není tak náročný na tlaky paliva a atomizačního média. Použití technologie vyžaduje konstrukční úpravu hořáku a přívod atomizačního média [8].

Mechanické rozprašování – je zajištěné vlivem odstředivé síly. Palivo je přivedeno na rotující disk točícím se vysokými otáčkami umožňující vyvinout dostatečnou odstředivou sílu pro rozprášení paliva a z toho také vyplývá i nevýhoda, kterou je přítomnost rychle pohybující se části.

#### Hořáky na tuhá paliva

S hořáky na tuhá paliva se v běžném prostředí příliš nesetkáváme. Hořáky se uplatňují v zejména průmyslu, kde se využívá výkonových hořáků konstruovaných speciálně pro daná topeniště. Pro navození příkladu se používají na kotlích v tepelných elektrárnách, kde vznikající tepelná energie ohřívá a vypařuje vodu v trubkách za vzniku páry. Jako palivo se nejčastěji používá uhlí, které je ještě před vstupem do hořáku potřeba rozdrtit popřípadě rozemlít na prach nebo dostatečně malé části aby během spalování došlo k jejich vyhoření. Nepříjemnou skutečností hořáků na tuhá paliva je jejich velká produkce škodlivin ve spalinách, jež mají pak citelný dopad na okolní prostředí. Jedná se zvláště o oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ), oxidy síry ( $\text{SO}_x$ ) a tuhé znečišťující látky (TZL). Z tří plyné, kapalné a hořáky na tuhá paliva jsou to právě ty poslední zmíněné, které produkují nejvíce škodlivin. Některá používaná paliva obsahují i nebezpečné chemikálie produkující spalovacím procesem karcinogenní látky.



**Obr. 2-4** Ukázka hořáku kombinujících více paliv nainstalovaného uvnitř parního kotle

### Kombinované a více palivové hořáky

Kombinované hořáky umožňují spalování odlišných typů paliv. Hořák může pracovat samostatně s jedním typem paliva nebo spalovat více paliv současně. Využití kombinování paliv se používá kvůli ekonomickým a technologickým důvodům:

- a) *ekonomické* – spalované palivo se volí podle aktuální ceny,
- b) *technologické* – využití kombinace spalovacích vlastností paliv, kupříkladu ke spalování paliv s nižší výhřevností se přidává palivo mající vyšší výhřevní hodnoty a to za účelem zvýšit celkovou teplotu plamen. Dále také už dříve zmíněné opatření proti odstávce jednoho z paliv.

#### **2.1.3 Hořáky podle přívodu oksličovadla**

Jako oksličovadlo se u hořáků a ve většině spalovacích procesů používá atmosférický vzduch (cca 21% O<sub>2</sub>) nasávaný z okolní atmosféry, dále vzduch obohacený kyslíkem (podíl O<sub>2</sub> > 21 %) a v procesech požadujících dosažení vysokých teplot se užívá čistého kyslíku. Do hořáku lze oksličovadlo přivádět buď tahem paliva tzv. ejekčním účinkem, nebo se vzduch dopravuje nuceným způsobem, nejčastěji pak za pomoci ventilátorů. Podle toho se provádí i základní rozdělení na hořáky s přirozeným tahem a hořáky s nuceným přívodem.

##### Hořáky s přirozeným tahem

Nasávání vzduchu je primárně vytvořeno ejekčním účinkem spalovaného paliva, ten je způsoben rychle proudícím palivem, jež kolem sebe vlivem své rychlosti vytváří podtlak. Jev vychází z Bernoulliho rovnice. V případech kdy je palivo přiváděno pod nízkým tlakem, ejekční účinek paliva stačí nasát pouze část potřebného vzduchu pro stechiometrické spalování a zbytek potřebného vzduchu je dodán tahem spotřebiče. Samonasávací hořáky se častěji používají ve spojení s plynnými palivy. Problémem tohoto typu je snížená možnost regulace výkonu a využití proto nacházejí zejména v procesech, kde není vyžadováno širokého výkonového rozsahu hořáku.

##### Hořáky s nuceným přívodem spalovacího vzduchu

Hořáky s nuceným přívodem představují většinu typů hořáků používaných v průmyslových aplikacích. Změnou otáček ventilátoru lze přesně regulovat množství a přetlak přiváděného vzduchu. Regulace vzduchu umožňuje hořákům široký rozsah pracovního zátěže. To je oproti hořákům s přirozeným tahem zvýhodňuje a umožňuje jejich využití v širším spektru průmyslových aplikací. Uváděný typ hořáků, lze podle umístění ventilátoru rozdělit na hořáky blokové konstrukce (ventilátor je součástí hořáku) a hořáky výkonové (spalovací vzduch je přiváděn prostřednictvím vzduchových kanálů).

## 3 Zkoušky hořáků

Spalování paliv pomocí hořáků je kombinací složitých chemických a tepelných pochodů paliva s oxidací, přičemž možnost provádění zkoušení hořáků nabízí spolehlivý způsob jak těmto procesům lépe porozumět. Zkoušení hořáků je definováno jako experimentální vyhodnocování kvalitativních a kvantitativních výkonnostních charakteristik spalovacího systému za provozu na zkušebním prostředí [9].

### 3.1 Typy prováděných zkoušek

V případě testování se dají zkoušky typově rozdělit a to v závislosti za jakým účelem jsou prováděny. V globále je lze klasifikovat do těchto kategorií:

- 1) Výzkumné zkoušky
- 2) Vývojové zkoušky
- 3) Zkoušky pro posouzení shody
- 4) Provozní zkoušky

#### 3.1.1 Výzkumné zkoušky

Účely výzkumných zkoušek jsou zaměřeny k ověření chování nových experimentálních spalovacích technologií. V průběhu se zkoumají poznatky o průběhu směšování a spalování paliva s oxidací, vliv jednotlivých změn konstrukčních součástí hořáku na spalovací proces a jejich vliv na tvorbu znečišťujících látek nebo lze zkoumat vznikající proudění spalin uvnitř topeniště. Důležité je dbát na přesná nastavení a zaznamenání volených provozních hodnot. Jejich záznam by se pak měl zásadně provádět až po ustálení provozní teploty spalovacího procesu. Jelikož bývá v průběhu zkoušky testováno mnoho nových konfiguračních nastavení hořáku, je vhodné před začátkem zkoušení vypracovat předběžný plán experimentu. Díky němu je pak možno provést zkoušky efektivněji a projít veškerá požadovaná nastavení.

#### 3.1.2 Vývojové zkoušky

Vývojové zkoušky se provádí v průběhu vývoje nového typu hořáku. Obvykle se vychází z předem zákazníkem kladených požadavků a je již tedy předem známo místo budoucího použití hořáku. Tomu se pak přizpůsobuje i harmonogram zkoušek, kdy je postupně testována základní geometrie hořáku aby vyhovovala požadavkům odběratele. S ohledem na provedené změny se testuje výkon hořáku, regulační rozsah, rozměry a tvar plamene v závislosti na přebytku vzduchu a v neposlední řadě obsah škodlivin ve spalinách. Zkoušky probíhají tak dlouho, dokud předem definované hodnoty neodpovídají požadovaným technickým parametrům a je dosaženo shody s technickými předpisy. V rámci vývojových zkoušek by mělo být dosaženo parametrů hořáku s dostatečnou rezervou [8], [10].

#### 3.1.3 Zkoušky pro posouzení shody

Cílem zkoušek je ověřit zda hořák splňuje uváděné provozní parametry, shoduje se s technickou dokumentací a je vyroben ve shodě se stanovenými požadavky technických předpisů a norem. Zkoušky se provádí z důvodu poskytnutí ochrany spotřebiteli před výrobky, které by mohly ve zvýšené míře ohrozit zdraví nebo bezpečnost osob, majetek nebo životní prostředí, popřípadě jiný veřejný zájem. Procesem posouzení shody musí projít každý nový hořák (výrobek). V České republice je způsob stanovování technických požadavků na výrobky upraven zákonem č. 22/1997 Sb. - **Zákon o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů**. Posouzení shody hořáků podle tohoto zákona se

provádí podle **nařízení vlády č.173/1997 Sb., kterým se stanoví vybrané výrobky k posouzení shody**. Podle tohoto vládního nařízení zajišťuje výrobce nebo dovozce hořáku u autorizované osoby posouzení shody vzorku hořáku (prototypu) se základními požadavky na hořák podle Zákona č.22/1997 Sb. a harmonizovaných technických norem, které se na hořáky vztahují. Autorizovaná osoba pak provede přezkoušení vzorku hořáku způsobem stanoveným vládním nařízením, vystaví a předá výrobcí nebo dovozci certifikát hořáku, který obsahuje závěry zjišťování, ověřování a výsledků zkoušek hořáku. Na základě vystaveného certifikátu vydá výrobce nebo dovozce hořáku prohlášení o shodě výrobku (hořáku) s technickými předpisy. Před rokem 1997 než byl vydán v platnost zákon č. 22/1997 se prováděly tzv. schvalovací zkoušky, které byly prováděny nezávislou státní zkušebnou [11], [12].

### 3.1.4 Provozní zkoušky

Před samotným uvedením hořákového spotřebiče do trvalého provozu se provádějí provozní zkoušky. Provozní zkoušky obstarává dodavatel hořáku, přičemž v závislosti na jeho možnostech se volí místo pro vykonání zkoušky. Běžně se volí mezi prostory zkušebního zařízení a provozního místa hořáku. Větší výrobci mívají k dispozici vlastní zkušební zařízení se spalovacími komorami adekvátní velikosti, a tudíž mohou využít vlastního technického zázemí firmy pro případné poslední úpravy hořáků před jeho zařazením do provozu. V případě zkoušení na konečném zařízení se vzhledem k možnostem poskytovaných podmínek provedou pouze nastavení regulačních orgánů hořáků, přičemž je potřeba počítat s možností komplikací z důvodu nedostatečného technického zázemí potřebného pro testování.

Při provozních zkouškách plynových hořáků je zjišťováno, zda nemá hořák výrobní případně montážní nedostatky, zda je plněna vyžadovaná technologická funkce, provozní přetlak paliva a spalovacího vzduchu a dále je kontrolována kvalita spalování v provozních podmínkách, hluk po instalaci na spotřebič a povrchové teploty hořáku [11]. Provozní zkoušky hořáků je vhodné provést i po opravách spotřebiče [8].

## 3.2 Typy zkušebních prostředí

Zkoušky se nezbytně nemusejí provádět jen na místech, kde se nachází zkušební spalovací komora, ke spalování paliva v praxi dochází i na místech, kde se spalovací komora nevyskytuje. Typickým příkladem je spalování odpadních materiálů a nepotřebných plynů pomocí tzv. flér. K testování těchto atmosférických hořáku bude nejlepší zkušební možností představovat prostředí otevřeného vzduchu. Zkoušky lze také provádět i na místech budoucího provozu hořáku. Každé spalovací prostředí nabízí své pro a proti, o kterých bude v této části práce dále pojednáno. Výběr zkušebního prostředí je především zapotřebí provést s ohledem na parametry, které jsou oblastí zájmu.

### 3.2.1 Zkoušky na otevřeném prostoru

Jedná se o případ, kdy spalovací proces probíhá při atmosférických podmínkách. Je to dáno tím, že směs paliva je za pomoci hořáku spalována v prostředí bez jakýchkoliv bariér nebo stěn. Jedním z důvodů pro volbu této metody může být fakt nedostatečného prostoru, poskytovaného vnitřkem dostupné spalovací komory [4]. Otevřené topeniště přináší z optického hlediska velmi dobrou příležitost jak vizuálně pozorovat charakter a vlastnosti plamene. Z druhého pohledu na věc však poskytuje velmi omezený zdroj informací pro ověření vhodnosti hořáku pro danou aplikaci (v případě zkoušení hořáku, který bude provozován ve spalovací komoře). To je zapříčiněno tím, že většina spalovacích procesů dnes probíhá uvnitř spalovací komory nebo topeniště. Spalovací komora vytváří uzavřený prostor,

ve kterém vznikají zcela odlišné podmínky, přičemž navození těchto okolních podmínek na otevřeném prostoru není možné. Dalším negativem metody je nemožnost dobře analyzovat spaliny neboť jsou ihned smíchávány s okolní atmosférou. V době kdy se na výrobce, vlivem stále striktnějších emisních předpisů, kladou požadavky provádět rozbory spalin, je potřeba zvolit testovací prostředí, které daný požadavek umožňuje lépe.



*Obr. 3-1 Ukázka a detail atmosférického hořáku spalující koksárenský plyn z koksárenských baterií. Jedná se o typický příklad hořáku v otevřeném spalovacím prostředí.*

### 3.2.2 Zkoušky na zkušebním zařízení

Zkušební zařízení představuje na rozdíl od ostatních typů vynikající možnosti jak přesná získávat provozní data. V tomto směru nabízí zkušební zařízení velkou výhodu, avšak díky pořizovacím nákladům na stavbu takovéhoho zařízení se použití do jisté míry omezuje. Je to také dáno tím, že zkušebny jsou dimenzovány přesně pro potřeby zkoušení parametrů hořáků. Součástí každého takovéhoho zařízení je již avizované množství měřícího vybavení, schopného velice přesného záznamu sledovaných veličin a možnost navození odlišných tlakových podmínek (podtlak, přetlak). Naskytuje se tak příležitost otestovat chování hořáků v různých předem definovaných podmínkách, dále pak příležitost kvalitně zaznamenat tlaky a teploty paliva nebo okysličovadla a další sledované veličiny, na základě kterých lze provést kvalitní vyhodnocení spalovacího procesu. Pro uvedení důležitosti získávání adekvátních naměřených hodnot je uveden jeden malý příklad. U hořáků s přirozeným tahem spalovacího vzduchu je prakticky velice obtížné mapovat objem nasávaného spalovacího vzduchu a to protože je přisáván z okolí. Množství nasávaného plynu je tak závislé na více rozličných faktorech, jakými jsou vlhkost, teplota, okolní tlak atd. Objem spalovacího vzduchu se v tomto případě zjišťuje ze složení spalin, a proto je důležité provádět kvalitní rozbor spalin, což právě vybavenost zkušebního zařízení velice dobře umožňuje. Zkušební zařízení jsou také vybavena inspekčními otvory pro možnost vizuálního pozorování vlastností plamene. V reálných spalovacích procesech není výjimečným případem se setkat v provozu s kotlí, kde je v provozu několik hořáků najednou. Zde se může projevit nevýhoda zkušebních zařízení,

jejichž spalovací komory bývají dimenzovány pro zkoušení pouze jednoho hořáku, a proto pak nelze určit, jakým způsobem se bude chovat více takto testovaných hořáků v topeništi při současném provozu. Existují však i velká zkušební centra [13] umožňující instalaci více hořáků do jedné spalovací komory současně. Z pohledu dostupnosti a také kvůli finančním nárokům však nelze pokaždé využívat zázemí těchto velkých zkušeben pro testování všech hořáků, které by to vyžadovali. Ke kompenzaci tohoto problému se vhodně využívá kombinace s použitím jiných metod zabývajících se zkoumáním spalovacích procesů - CFD modelování, fyzikální modelování procesu spalování, nebo prováděním zkoušek na provozním zařízení [4].

### 3.2.3 Zkoušky na provozním zařízení

Jedná se o způsob, kdy je hořák zkoušen přímo na místech kde se hořáky provozují. Testovacím prostředím může být pro ilustraci kotel tepelné elektrárny, výheň pro tavení kovů nebo pece používané ve sklářském průmyslu. Tzv. „polních zkoušek“ se využívá v případě, kdy standartní zkušební zařízení nenabízí dostatečné možnosti ke zkoušení požadovaných parametrů. Řeč je především o testování velkých a výkonových hořáků malosériové výroby, které jsou optimalizovány pro konkrétní zařízení, a vzhledem k jejich výkonu není možnost odzkoušet, popř. certifikovat hořák jinde. Protože jsou v průmyslových provozech zařízení často osazena více než jedním hořákem, představují zkoušky na provozním zařízení možnost, jak získat informace o chování hořáku, pokud na sebe plameny jednotlivých hořáků navzájem působí.

Jako každá jiná metoda má i tato určité nedostatky. V literatuře [4] je pojednáno o problematice možnosti vzniku netěsností v průmyslových pecích. Ty přece jen nejsou primárně určeny pro speciální účely testování a tak se pod vlivem vznikajících netěsností dostává do prostoru topeniště přebytečný spalovací vzduch, která má za následek změny ve složení spalin. Jelikož je složení spalin hlediskem poukazujícím na kvalitu spalovacího procesu, vznikají tak v rozborech spalin odchylky a nepřesnosti, se kterými je během zkoušek nutné počítat a posuzovat podle toho i emisní limity. Jak již bylo řečeno, průmyslové spalovací komory nejsou primárně určeny pro zkoušení hořáků a je potřeba počítat s omezením představující dostupnost měřícího vybavení na provozu. Vlivem nutnosti záznamu dat potřebných pro vyhodnocení zkušební procesu se musí počítat s investicí do mobilního měřícího zařízení [4]. Pokud se výrobce hořáku rozhodne pro takovéto zkušební prostory za účelem otestování svého hořáku, je také potřeba vzít na vědomí, že zkouška způsobí dočasnou odstávku spalovací komory. Data získaná tímto způsobem mají však velkou cenu a umožňují výrobcům získat tolik potřebné informace o skutečném provozu. Přístup k takovýmto datům může představovat velký problém a to z důvodu uchování firemního know-how před konkurencí.

### 3.2.4 Existující zkušebny hořáků

#### Zkušebna FSI VUT Brno

Zkušebna spadající do majetku Vysokého učení technického pod Ústav procesního a ekologického inženýrství Fakulty strojního inženýrství. Zkušebna slouží k výzkumným ale i ke komerčním zkušebním účelům. Stručná charakteristika zkušebního zařízení:

- vodou chlazená horizontální spalovací komora (d=1000 mm, l=3800 mm),
- možnost provádět zkoušky o maximální tepelné zátěži 1500 až 2000 kW,
- zázemí pro zkoušení plynových, kapalných (LTO, TTO) a kombinovaných hořáků s možností přehřevu paliva,
- vysokotlaký ventilátor s frekvenčním měničem otáček,
- elektrochemický analyzátor spalin TESTO 350XL.

Více informací k nalezení na stránkách ústavu [14].

#### Zkušební centrum Johna Zinka [13]

Asi největší zkušební prostory nabízí zkušebny Johna Zinka sídlící v americkém státě Oklahoma (Tulsa) a západní Evropě v Lucembursku. Pro účely zkoušení hořáku je americká základna vybavena 12 spalovacími komorami a v Evropě nabízí 3 spalovací komory navíc je možnost uskutečnit zkoušky jak v horizontální tak i vertikální poloze komory. Testovací zařízení jsou velice dobře vybavena, umožňují přehřev spalovacího vzduchu, rozbor spalin a další potřebné přístrojové vybavení pro zjištění výkonových parametrů hořáku. Kromě jiného je základna v Tulse vybavená zkušebními prostory pro zkoušení flér. Více informací o zkušebních zařízeních je uvedeno na webových stránkách.

#### Příklady firem zabývajících se vývojem hořáků



#### PBS POWER EQUIPMENT s.r.o. [3]

Česká dceřiná společnost firmy PBS INDUSTRY a.s. zabývající se navrhováním výkonových a monoblokových hořáků využívající pro vývoj vlastní zkušební zařízení.



#### WS [15]

Německá firma se zastoupením v Americe zabývající se vysoce výkonnými spalovacími zařízeními pro průmyslové pece. V rámci výzkumu a vývoje společnost oplývá moderním vývojové centrum s dlouholetou praxí s použitím CFD modelů ve spalovacích procesech.

### 3.3 Volba parametrů ovlivňující zkoušky

Zkouškám hořáků jako v každém jiném případě, kdy se jedná o komplexnější proces, by měla zpravidla předcházet řádná příprava, ve které by měly být zohledněny aspekty ovlivňující zásadním způsobem průběh a úspěšnost zkoušky. Jedná se zejména o tyto aspekty:

- volba zkušební paliva,
- volba použitého oksličovadla,
- volba spalovací komory.

V této kapitole je o jednotlivých volbách pojednáno a to i v souladu s u nás platnými českými technickými normami, které se konkrétně zabývají zkoušením hořáku s ventilátorem a s automatickým řízením na plynná [16] a kapalná paliva [17]. Jde o normy zabývající se zkoušením komerčně používaných hořáků blokové konstrukce. **V obsahu kapitoly jsou uváděny citace a výtahy z norem pro navození stručných příkladů, proto v případě nejasností, popřípadě k zisku podrobnějších informací, je potřeba odkázat na dané normy.**

#### 3.3.1 Volba zkušební paliva

Ať už v případě plyných, kapalných nebo v menší míře spalovaných tuhých paliv, důležitá je volba zkušební paliva. Vhodný výběr je zásadním rozhodnutím pro vykonání úspěšné zkoušky, protože právě složení paliva má eminentní vliv na složení spalin. Parametry hořáků lze v optimálním případě nejlépe ověřit s palivem, pro které je hořák konstrukčně navržen a se kterým je hořák v provozu využíván. Avšak užití provozního paliva nebývá ve většině případů možné a to kvůli ekonomickým i technickým důvodům. Častým problémem bývá nedostupnost provozního paliva v místech, kde se nachází zkušební zařízení. Tento problém se dá řešit transportem paliva, pokud to zkušební zařízení umožňuje, avšak to celý proces značně prodražuje a komplikuje. Z daného důvodu se často používá náhradní zkušební palivo, u kterého se klade velký důraz na co možná největší podobnost s palivem spalovaným v provozu a to, aby se předešlo výrazným odchylkám při zkoušení. Náhradní palivové směsi by měly být svou výhřevností, objemem a molekulovou hmotností co možná nejvíce podobné palivu skutečnému a mělo by proto obsahovat alespoň hlavní chemické sloučeniny obsažené v palivu spalovaném v provozu a nebyla tak zásadně ovlivněna velikost a stabilita plamene, což by mohlo mít za následek změny ve tvorbě škodlivých látek. Dobře vybavené zkušební mívají k dispozici různé druhy spalovacích paliv jako je zemní plyn, propan, propylen, butan, vodík, dusík a oxid uhličitý [4]. V případě výrazných odlišností ve složení paliva může dojít k situaci, že se hořák bude na provozu chovat jinak, v krajních případech i nebezpečně a prováděné zkoušky se v porovnání s provozem budou jevit jako zbytečné. Dobrým pomocníkem při výběru vhodné náhradní směsi je Wobbého index. Ten je definován následujícím vztahem:

$$Wb = \frac{HHV}{\sqrt{SG}}, \quad (3-1)$$

Kde HHV je spalné teplo paliva [ $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3}$ ] a SG je měrná hmotnost paliva [-]. V závislosti na porovnávání paliv se liší způsob určení měrné hmotnosti paliva. Pro plynná se měrná hmotnost paliva vypočítá podle rovnice (3-2).

$$SG_p = \frac{M_p}{M_{vzd}}, \quad (3-2)$$

kde  $SG_p$  měrná hmotnost plynného paliva [-],  
 $M_p$  molární hmotnost plynu [ $\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ ],  
 $M_{vzd}$  molární hmotnost vzduchu [ $\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ ].

Pokud porovnáváme kapalná paliva, určí se měrná hmotnost podílem z rovnice:

$$SG_k = \frac{\rho_k}{\rho_{H_2O}}, \quad (3-3)$$

kde  $SG_k$  měrná hmotnost kapalného paliva [-],  
 $\rho_k$  hustota kapaliny [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ],  
 $\rho_{H_2O}$  hustota vody [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ].

Důležité je poznamenat potřebu srovnávat paliva při stejné teplotě. Pro co největší podobnost vlastností zkušební paliva s provozním palivem je nutné, aby byl rozdíl mezi Wobbeho indexem zkušební paliva a provozního paliva co nejmenší.

V souvislosti se zkoušením kapalných paliv se objevuje další problém ohledně viskozity paliva. Viskozita kapalin je výrazně ovlivněna její teplotou, čím vyšší má kapalina teplotu, tím má menší viskozitu a projevuje se jako tekutější. Konkrétně v rámci spalovacího procesu je důležité, aby mělo palivo takovou viskozitu, aby bylo umožněno kapalně palivo kvalitně rozpráší uvnitř spalovací komory. Nedostatečné rozprášení a tudíž vysoká viskozita kapaliny by mohla zapříčinit problémy s ucpáním rozprašovací trysky, popřípadě by palivo nestačilo v komoře vyhořet a docházelo by k neúplnému spalování.

### Zkušební paliva z hlediska norem ČSN EN 676+A2 a ČSN EN 267+A1

Na výběr zkušební paliva se také kladou podmínky závaznými normami. Pro oblast České republiky platí v rámci zkoušek hořáků spalující plynná paliva norma ČSN EN 676+A2 (ČSN 07 5802) – Hořáky na plynná paliva s ventilátorem a s automatickým řízením. Zde je uvedena část normy, jež pojednává o zkušebních palivech, které lze v daném případě použít:

*Paliva se třídí do tříd a skupin. V tabulce 3-1 je uveden výběr zkušebních plynů pro hořáky s ventilátorem, které jsou převzaty z tabulky C.1. Zkoušky provozních vlastností hořáku se provádějí zkušebními plyny uvedenými v tabulce 1. Jestliže je tepelný příkon 300 kW nebo větší, je přípustné pro zkoušky použít plynné paliv skupiny H/E nebo L a palivo třetí třídy z veřejné distribuční sítě. V tomto případě musí být průtok paliva nastaven tak, aby byl dosažen tepelný příkon, který by byl dosažen v případě použití základního zkušební plynu [16].*

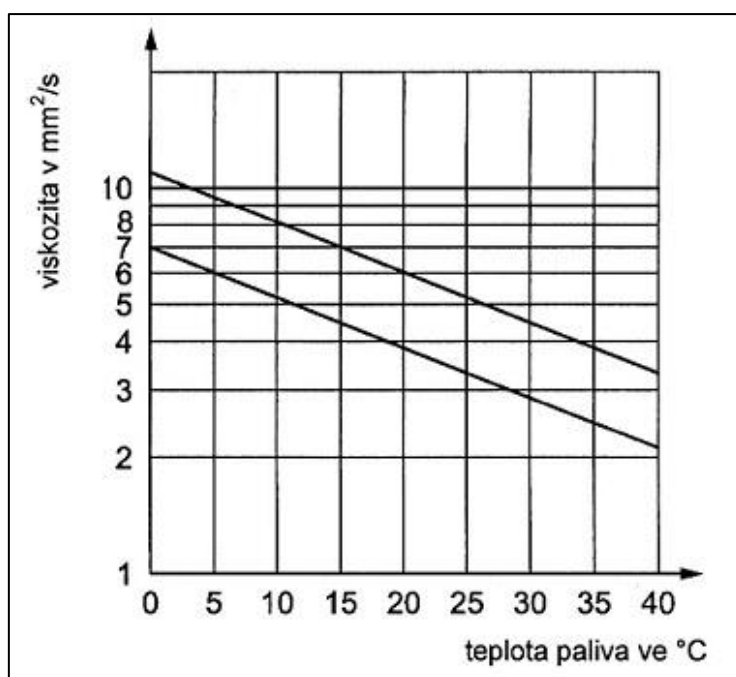
Normu, která stanovuje obecné zásady pro zkoušení hořáků na kapalná paliva, představuje ČSN EN 267+A1 (ČSN 075857) – Hořáky na kapalná paliva s ventilátorem a s automatickým řízením. Odtud je pak citována část, která stanovuje pravidla při výběru zkušební kapalného paliva:

*Zkoušky musí být provedeny s palivem, běžně dostupným v obchodní síti, jehož viskozita je při teplotě 20°C v rozmezí od 1,6 mm<sup>2</sup>/s do 6 mm<sup>2</sup>/s a s podílem dusíku do 200 mg/kg (obrázek 3-2). V případě aplikací s jinými palivy musí být pro zkoušky použita tato paliva a rozmezí viskozity musí být uvedeno na výrobním štítku [17].*

**Tab. 3-1** Výběr zkušebních plynů dle ČSN EN 676+A2 [16]. (složení paliv k nalezení v příloze normy)

	Paliva první třídy	Paliva druhé třídy			Paliva třetí třídy
		Skupina H	Skupina E	Skupina L	
Tepelný výkon	G110	G20	G20	G25	G30 G31
Stabilita plamene	G110 G112	G20	G20	G25	G30 G31
Úroveň spalování	G110	G20 G21	G20 G21	G25 G26	G30 G31
Prošlehnutí plamene <sup>a)</sup>	G112	G222	G222	G25	G32
Održení plamene <sup>a)</sup>	-	G23	G231	G27	G31

<sup>a)</sup> U hořáků s úplným předmísením

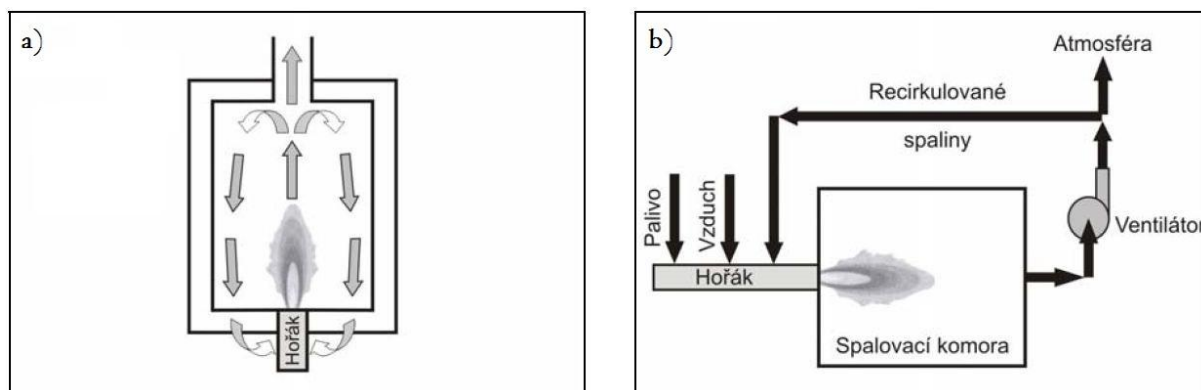
**Obr. 3-2** Příklad rozsahů viskozity zkušebního paliva [17].

### 3.3.2 Volba oksličovadla

Použité oksličovadlo může značně ovlivnit průběh zkoušky, pokud to tedy podmínky umožňují, je důležité pokusit se co nejvíce přiblížit podmínkám skutečného spalovacího procesu. V běžných spalovacích procesech se jako oksličovadlo používá atmosférický vzduch. Pro navození prostředí odpovídajícímu provozním podmínkám je zapotřebí, aby hořákem procházel vzduch o stejném množství a nebyla tak tím výrazně ovlivněna teplota, což by mohlo mít za následek změny v množství tvorby termických NO<sub>x</sub>, protože ty jsou výrazně závislé na teplotě. S ohledem na zvolenou technologii spalování může být nutné, aby měl spalovací vzduch před vstupem do hořáku vyšší teplotu, a je proto nezbytné provést

předehřev pomocí ohříváče. V ideálním případě je vhodné využít, pokud to zkušební zařízení umožňuje, kupříkladu vnější nebo vnitřní recirkulace spalin (obrázek 3-3), při němž je teplo odcházejících spalin využito k ohřevu vzduchu, což přispívá ke zvýšení celkové účinnosti spalovacího procesu.

V určitých případech, a to zejména když je potřeba dosáhnout vyšší spalovací teploty, se jako okysličovadlo používá čistý kyslík nebo vzduch obohacený kyslíkem. Simulace těchto podmínek je z technického hlediska možné provádět jen na několika málo zkušebních místech [8].



Obr. 3-3 Schematické znázornění recirkulace spalin a) vnitřní recirkulace, b) vnější recirkulace [20]

### 3.3.3 Výběr spalovací komory

Výběr vhodné spalovací komory je z hlediska výsledků zkoušek stejně důležitým hlediskem jako výběr paliva. Spalovací komora by měla být dostatečně velká, aby nedocházelo k viditelnému styku plamene se stěnami komory. Při volbě velikosti se také klade důraz na zákazníkem požadovanou teplotu uvnitř pece, dále na směr a tvar plamene (horizontální, vertikální, plochý, cylindrický) a typ pece (přímý nebo nepřímý ohřev materiálu). Z hlediska výkonu hořáku a vznikající teploty je pak potřeba zvolit, zda je vhodnější chlazená nebo nechlazená spalovací komora. Zkoušky hořáků menších výkonů je možno provést v nechlazené komoře a to pouze v případě, že plášť nechlazené komory bude poskytovat dostatečný teplotní odběr a nebude tak docházet ke zvyšování teploty spalin. Hořáky o vyšším výkonu pak jsou zkoušeny v prostředí chlazené spalovací komory.

#### Zkušební zařízení dle normy pro zkoušení hořáků na plynná paliva [16]

Pokud výrobce hořáků nedefinoval přímo zkušební zařízení, používá se následně definované zkušební zařízení:

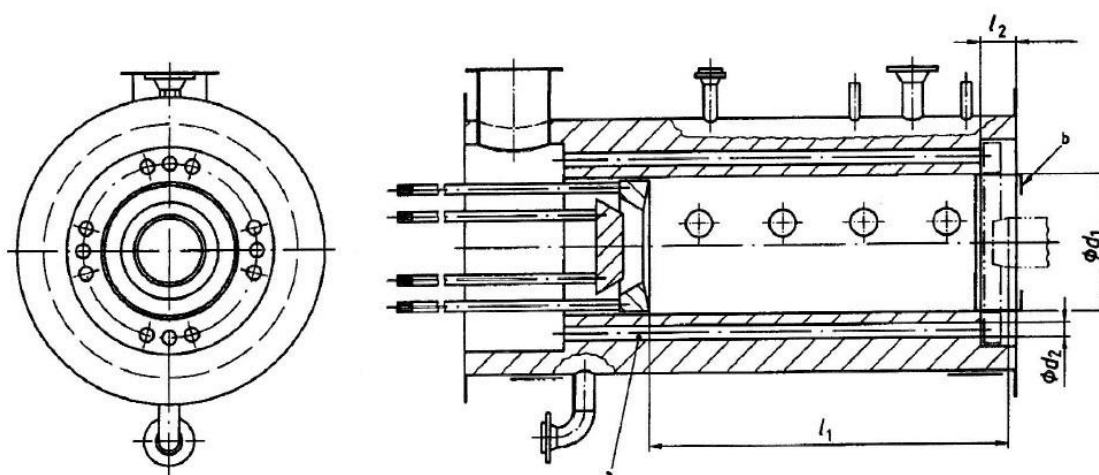
Zkušební zařízení musí obsahovat spalovací komoru, kde se s ohledem na výkon zkoušeného hořáku volí komora z řady vnitřních průměrů 0,225 m, 0,300 m, 0,400 m, 0,500 m, 0,600 m, 0,800 m (obrázek 3-4) a délka spalovacího prostoru. Ta se nastavuje pohyblivou zadní stěnou, jejíž pohyb je umožněn po celé délce vnitřního průměru a vypočítá se podle rovnice (3-4).

$$l_1 = 0,23 \cdot \sqrt{\frac{Q_F}{10}}, \quad (3-4)$$

kde  $l_1$  délka spalovacího prostoru zkušební spalovací komory [m],  
 $Q_F$  tepelný příkon [kW].

Mezi další požadavky na spalovací komoru patří:

- komora je vybavena těsnými pozorovacími okénky pro vizuální kontrolu,
- kromě čelní stěny jsou všechny stěny chlazeny,
- volba výrobce určuje zda bude hořák zkoušen buď v provozu s přímým nebo vratným plamenem, přičemž při zkouškách s přímým plamenem se do vstupní části komory vkládá ocelový nechlazený válec, který uzavře vstupní otvory spalinových trubek jak je uvedeno na obrázku 3-4,
- komora je vybavena uzavíracím ústrojím pro vyvolání změny tlaku ve výstupní části,
- u hořáků s větším tepelným příkonem než cca 2,4 MW se provádí zkouška na zkušebním zařízení určeném výrobcem,
- musí být umožněno měření tlaku uvnitř komory,
- pokud se provádí zkouška na hořáku s většími rozměry než v tabulce 3-2, provede se zkoušení na příslušném tepelném zařízení nebo v jiné zkušební komoře.



#### Legenda

- a - podle volby výrobce se může zkouška provést také při provozu s vratným plamenem  
b - provoz s přímým plamenem (ocelový válec)

**Obr. 3-4** Zkušební spalovací komora a její uspořádání [16].

**Tab. 3-2** Popis rozměrů spalovací komory z obrázku 3-4 [16].

zkušební spalovací komora	spalinová trubka		počty	Ocelový válec $l_2$ [mm]	
	$d_1$ [m]	$d_2$ [mm]			
		interní	externí		
0,225		16	20	8	60
0,3		21	25	14	80
0,4		36,5	41,5	12	100
0,5		39,5	44,5	26	130
0,6		51,5	57	30	160
0,8		80,9	88,9	28	200

Zkušební zařízení dle normy pro zkoušení hořáků na kapalná paliva [17]

Požadavky na komory ze strany této normy se rozdělují v závislosti na velikost tepelného příkonu a to takto:

- a) Zkušební zařízení s tepelným příkonem  $\leq 2,4$  MW
- b) Zkušební zařízení s tepelným příkonem  $> 2,4$  MW

Opět platí, že pokud výrobce nestanoví zkušební zařízení jinak, použije se následující definice zkušebního zařízení.

a) Požadavky na zkušební zařízení jsou podobné jako u plyných paliv. Definované vnitřní průměry jsou stejné (0,225 m, 0,300 m, 0,400 m, 0,500 m, 0,600 m a 0,800 m) a délka spalovací komory se vypočte podle stejné rovnice (3-4). Rovněž platí ve stručnosti shrnuté stejné požadavky a podmínky uvedené v bodech a) až g) podkapitoly - Zkušební zařízení dle normy pro zkoušení hořáků na plyná paliva.

b) Zkušební zařízení může představovat kotel nebo provozní spotřebič na kapalné palivo se spalovací komorou, kterou definuje výrobce. Spalovací komora se definuje minimální délkou z rovnice (3-5), minimálním vnitřním průměrem z rovnice (3-6) a odpovídajícím tepelným příkonem.

$$l_1 = 0,2 \cdot Q_F^{0,3682}, \quad (3-5)$$

$$d_1 = 0,135 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q_F}{10,1}}, \quad (3-6)$$

kde  $l_1$  délka spalovací komory [m],  
 $d_1$  průměr spalovací komory [m],  
 $Q_F$  tepelný příkon [kW].

Další požadavky na spalovací komoru pro příkon  $> 2,4$  MW:

- a) dle výrobce může být hořák zkoušen v komoře s přímým nebo vratným plamenem,
- b) komora je vybavena uzavíracím ústrojím,
- c) kromě čelní stěny jsou chlazeny všechny stěny komory,
- d) komora musí být vybavena aspoň jedním pozorovacím okénkem,
- e) musí být umožněno měření tlaku ve spalovací komoře.

### 3.4 průběh zkoušek - zkušební plán, záznam dat a protokol

Průběh samotné zkoušky se řídí předem připraveným zkušebním postupem nebo zkušebním plánem. Zkušební postupy zkoušek, při kterých se porovnávají provozní parametry hořáku s legislativními předpisy a kterými musí daný hořák projít před uvedením do provozu, jsou stanoveny technickými normami týkajícími se zkoušek hořáků – kapitola 3.5. Pro jiné a specifické typy zkoušek je potřeba sestavit vlastní zkušební postup, jímž se bude řídit následný průběh zkoušky. Při sestavování takového plánu je důležité zohlednit potřeby konkrétní zkoušky. Zkušební plán zajišťuje efektivnější průběh zkoušení, čímž se zamezí zbytečným a opakovaným měřením, které by celý proces činilo časově nebo finančně náročnější.

Dalším důležitým aspektem zkoušky je potřeba zaznamenat všechny veličiny, jež mají vliv na chování hořáku. Jedná se nejen o parametry hořáku (teplota, tlaky medií, hluk, emise a jiné), ale také o parametrech zkušebních zařízení a jeho technických možnostech, dále pak o zjištění okolních podmínek panujících v průběhu zkoušky (teplota, atmosférický tlak, relativní vlhkost vzduchu). Na starých zkušebních zařízeních, kde zkušební prostředí neumožňuje záznam dat jinak než manuálním způsobem, se zápis provádí do srozumitelně vypracovaných formulářů. Ukázka takového formuláře je přiložena v Příloze I. bakalářské práce. V dnešní době se však využívají především digitální přístroje schopné měření a záznamu dat zároveň. Moderní měřicí vybavení navíc nabízí možnost propojení s počítačem a získaná data lze posléze jednoduše vytisknout, zaznamenat a archivovat. Více o měřicích přístrojích používaných při zkouškách v kapitole 3.7.

Na závěr zkoušky se vypracovává závěrečný protokol, který vyhodnocuje výsledky zkoušky. Jelikož je výsledný protokol asi nejdůležitějším zdrojem výstupních informací, je v něm potřeba uvádět všechny zásadní informace. Pro přehlednost zprávy se upřednostňuje uvádět data v tabulkách, grafech (např. závislosti na výkonu, otáčkách ventilátoru, úhlu natočení klapky regulující přívod paliva, oksličovadla atd.) a upravit data do jednotné formy pro pozdější srovnání. Tím se má na mysli kupříkladu přepočítat obsahy jednotlivých složek ve spalinách na požadované hodnoty (CO při dokonalém spalování, NO<sub>x</sub> při určitém obsahu kyslíku – viz. 3.6.4) nebo při určování úrovně hluku odfiltrovat hluk vznikající v okolí zkušebního zařízení (např. zejména zkoušky na provoz). V případech, kde se naměřená data přepočítávají nebo jinak upravují, je vhodné uvést v reportu hodnoty v obou tvarech (naměřené i přepočítané). Potřeba je uvádět i správné jednotky, popřípadě použít i více typů zápisů pro vyjádření množství nebo velikosti dané veličiny. Důvodem je užívání odlišných jednotek v ostatních státech, zejména se pak jedná o přepočty mezi SI a Angloamerickou měrnou soustavou. S ohledem na charakter zkoušky se musí brát ohled na to, že naměřená data mohou posloužit k pozdějšímu srovnání s CFD modelem a uvést tak v protokolu zkoušky potřebné množství informací, umožňující provést kvalitní porovnání reálné zkoušky s teoretickým modelem. Z celkového pohledu by měla být zpráva napsána ve formě, aby jí porozuměl i člověk, jež se přímo nezabývá problematikou zkoušení hořáků [4]. Požadavky na výsledný protokol zkoušky jsou také uvedeny v příloze některých norem.

### 3.5 Normy zabývající se zkouškami hořáků

V České republice je tvorbou a vydáváním technických norem, jejich změnami a zrušením pověřen Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ). Dle značení podle Českých technických norem (ČSN) spadají normy zabývající se zkouškami hořáků do normativní třídy 07 – Kotle. V závislosti na typu hořáku, a to jak už z pohledu konstrukčního provedení nebo typu spalovaného paliva, se pak třídy dále rozdělují. Normy zabývající se hořáky na plynná a kapalná paliva patří do skupiny 0758, přičemž ve stejné třídě

se nacházejí i normativní předpisy pro příslušenství hořáků jakými jsou ventily, armatury, automatiky hořáků, trysky na kapalná paliva a předpisy pro olejové hospodářství na kapalná paliva. Na hořáky a jejich zkoušení se dále vztahují i další normy neurčené přímo pro hořáky, většinou se pak jedná o normy předepisované pro spalovací prostory představující různé typy kotlů, ve kterých je hořák provozován. Především se pro potřeby zkoušení užívají třídy norem označené 0776 – Vodotrubné kotle a 0778 – Válcové kotle, kterých se využívá zejména pro zkoušení hořáků na tuhá paliva, pro které není přímo předepsána žádná z norem pro hořáky patřící do třídy 0758. 7

Normy týkající se zkoušek hořáků obecně stanovují základní požadavky na vybavení zkušebních prostor, rozměry a tvary zkušebních spalovacích komor, technické charakteristiky přístrojů, měřidel, popis zkušebních metod a další. Více informací k dostupným normám lze nalézt na webových stránkách [18].

**Tab. 3-3** Tabulka platných norem spadajících do třídy 0758 – Hořáky na plynná a kapalná paliva, barevně jsou pak zvýrazněny normy zabývající se zkouškami samotných hořáků.

TŘIDÍCÍ ZNAKY	ZNAČENÍ NORMY	NÁZEV NORMY
<b>075802</b>	<b>ČSN EN 676+A2</b>	<b>Hořáky na plynná paliva s ventilátorem a s automatickým řízením</b>
075820	ČSN 07 5820	Ventily s elektrickým ovládním pro plynná paliva. Technické požadavky. Zkoušení
<b>075851</b>	<b>ČSN 07 5851</b>	<b>Hořáky na kapalná paliva s ručním ovládním</b>
<b>075852</b>	<b>ČSN 07 5852</b>	<b>Hořáky na kapalná paliva s poloautomatickým a automatickým řízením. Technické předpisy</b>
075853	ČSN 07 5853	Hořáky na kapalná paliva. Technické požadavky
<b>075854</b>	<b>ČSN 07 5854</b>	<b>Hořáky na kapalná paliva. Zkoušení</b>
075855	ČSN EN 226	Rozprašovací hořáky na topné oleje. Rozměry pro připojení hořáků k vyvíječům tepla
075856	ČSN EN 225	Rozprašovací hořáky na topné oleje. Rotační čerpadla s vnějším pohonem. Rozměry
075856	ČSN EN 225-1	Rozprašovací hořáky na kapalná paliva - Čerpadla a pohony pro hořáky na kapalná paliva - Připojovací rozměry - Část 1: Čerpadla pro hořáky na kapalná paliva
075856	ČSN EN 225-2	Rozprašovací hořáky na kapalná paliva - Čerpadla a pohony pro hořáky na kapalná paliva - Připojovací rozměry - Část 2: Pohony pro hořáky na kapalná paliva
<b>075857</b>	<b>ČSN EN 267+A1</b>	<b>Hořáky na kapalná paliva s ventilátorem a s automatickým řízením</b>
075858	ČSN EN 230	Automatiky hořáků na kapalná paliva
075870	ČSN EN ISO 23553-1	Bezpečnostní a řídicí přístroje pro hořáky a spotřebiče na kapalná paliva - Zvláštní požadavky - Část 1: Uzavírací armatury pro hořáky na kapalná paliva
075880	ČSN EN 293	Trysky na kapalná paliva s tlakovým rozprašováním. Základní požadavky. Zkoušení
075881	ČSN EN 299	Trysky na kapalná paliva s tlakovým rozprašováním - Stanovení úhlů a charakteristik rozprašování
075890	ČSN EN 12514-1	Olejové hospodářství pro hořáky na kapalná paliva - Část 1: Požadavky na bezpečnost a zkoušení - Konstrukční části, palivová čerpadla, řídicí a zabezpečovací přístroje, palivové nádrže
075890	ČSN EN 12514-2	Olejové hospodářství pro hořáky na kapalná paliva - Část 2: Požadavky na bezpečnost a zkoušení - Konstrukční části, uzavírací armatury, palivové rozvody, filtry, odvodušňovací zařízení a měřidla

### 3.6 Vyhodnocení zkoušek hořáků

Po provedení zkoušky se pomocí získaných hodnot různých veličin stanovují charakteristiky a vlastnosti popisující chování hořáku. Mezi základní vlastnosti hořáků patří:

- Výkonová charakteristika\*
- Rozsah regulovatelnosti a regulační poměr hořáku
- Kvalita spalování\*
- Násobek stechiometrického objemu spalovacího vzduchu\*

**Pozn.** U parametrů **označených hvězdičkou \*** jsou použity výpočetní vztahy pro plynový hořák vyhodnocovaný v odkazech [7] a [11], proto použité výpočetní vztahy nelze použít pro obecné vyhodnocení jakéhokoliv typu hořáku. Výpočetní vztahy pro jiné typy hořáků jsou v principech stejné, avšak v závislosti na typu paliva se mohou lišit, konkrétně při spalování kapalných a tuhých paliv obsahují spaliny i jiné látky (např.  $\text{SO}_x$ ), se kterými je potřeba počítat. Postup a vyhodnocení v závislosti na typu hořáku je k nalezení v příslušných normách zabývajících se zkoušením - kapitola 3.5.

#### 3.6.1 Výkonové charakteristiky hořáků

Výkonová charakteristika hořáku se nejlépe zobrazuje pomocí grafu a je závislá na přetlaku paliva a oksyličovadla. Samotná charakteristika se sestavuje na základě hodnot zjištěných zkouškami. V jejím průběhu se provádí měření přetlaků paliva a oksyličovadla odpovídajícím různým výkonovým hodnotám. Měření se většinou provádí ve dvou fázích. V první fázi se nastavuje průtok paliva od minimálního po maximální výkon. Ve druhé fázi se zaznamenávají přetlaky v opačném pořadí. Počet kroků v rozmezí min. a max. výkonu se volí s ohledem na charakter zkoušky. Data je vhodné zaznamenat do tabulky, kam se zapisují měřené a vypočtené hodnoty. Během zjišťování výkonových charakteristik hořáku se také určují mezní výkonové parametry v podobě maximálního výkonu  $P_{Hmax}$  a minimálního výkonu  $P_{Hmin}$ . Maximální výkon hořáku je definován jako výkon na hranici stabilního spalování, minimální pak jako výkon, při kterém začíná plamen zhasínat nebo dochází k nedokonalému spalování paliva. Ukazatelem nedokonalého spalování je obsah CO ve spalinách. Mezní provozní hodnoty jsou do značné míry ovlivněny subjektivním dojmem pracovníka, který zkoušku provádí. Pro příklad je uvedeno vyhodnocení výkonové charakteristiky vířivého hořáku spalujícího ruský zemní plyn se studeným spalovacím vzduchem [7], [11].

**Tab. 3-4** Výsledky měření výkonové charakteristiky vířivého hořáku [7].

Výkon hořáku $P_H$ [kW]	Množství zemního plynu $V_{ph}$ [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ]	Množství vzduchu $V_{vh}$ [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ]	Přetlak plynu $\Delta p_p$ [kPa]	Přetlak vzduchu $\Delta p_v$ [kPa]
200	20,07	206,6	3073	3796
180	18,06	185,9	2340	3073
160	16,06	165,3	1850	2430
140	14,05	144,6	1416	1860
120	12,04	123,9	1040	1365
100	10,03	103,2	722	947
80	8,03	82,6	463	607
60	6,02	60,0	260	320
40	4,01	41,3	115	152
20	2,01	20,7	29	38

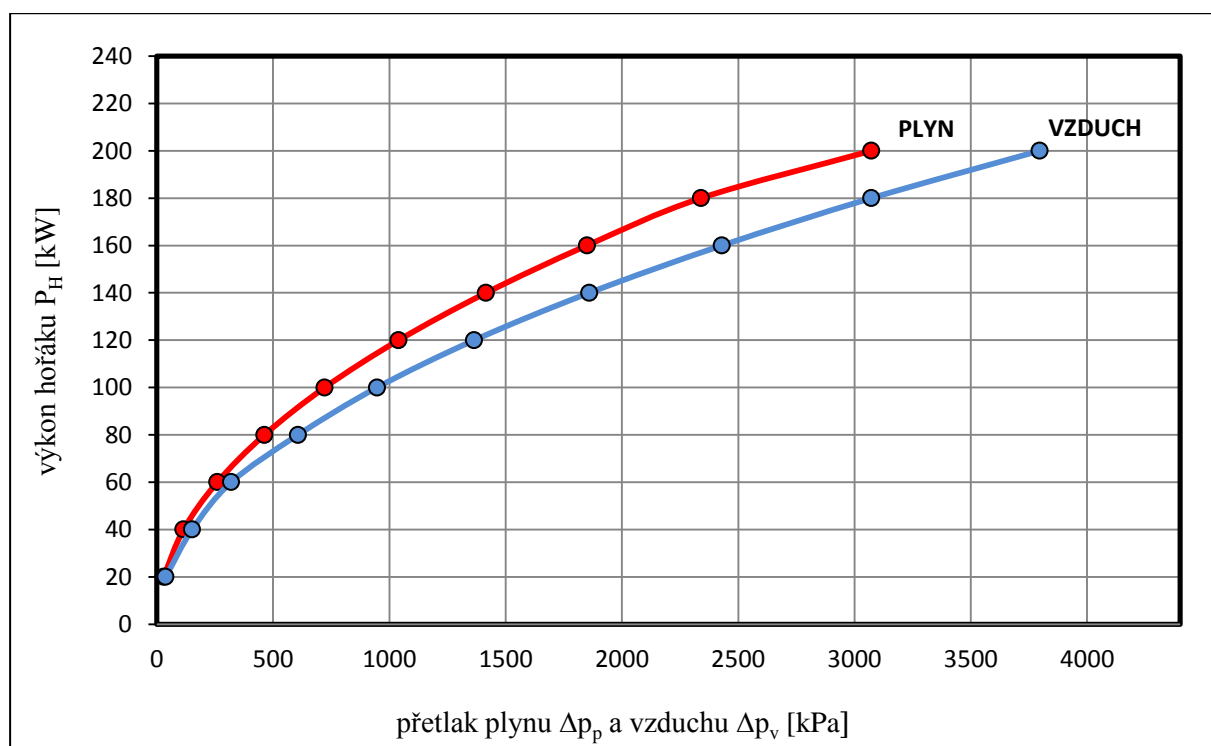
Pro různé hodnoty výkonu v prvním sloupci jsou pomocí tlakoměrů zjišťovány přetlaky vzduchu a plynu odpovídající průtokům  $V_{ph}$  a  $V_{vh}$ , které se určí pomocí výpočtů a jsou stanoveny při normálních podmínkách, to znamená při teplotě 0 °C a tlaku 101,325 kPa.

$$V_{ph} = \frac{P_H \cdot 3600}{Q}, \quad (3-7)$$

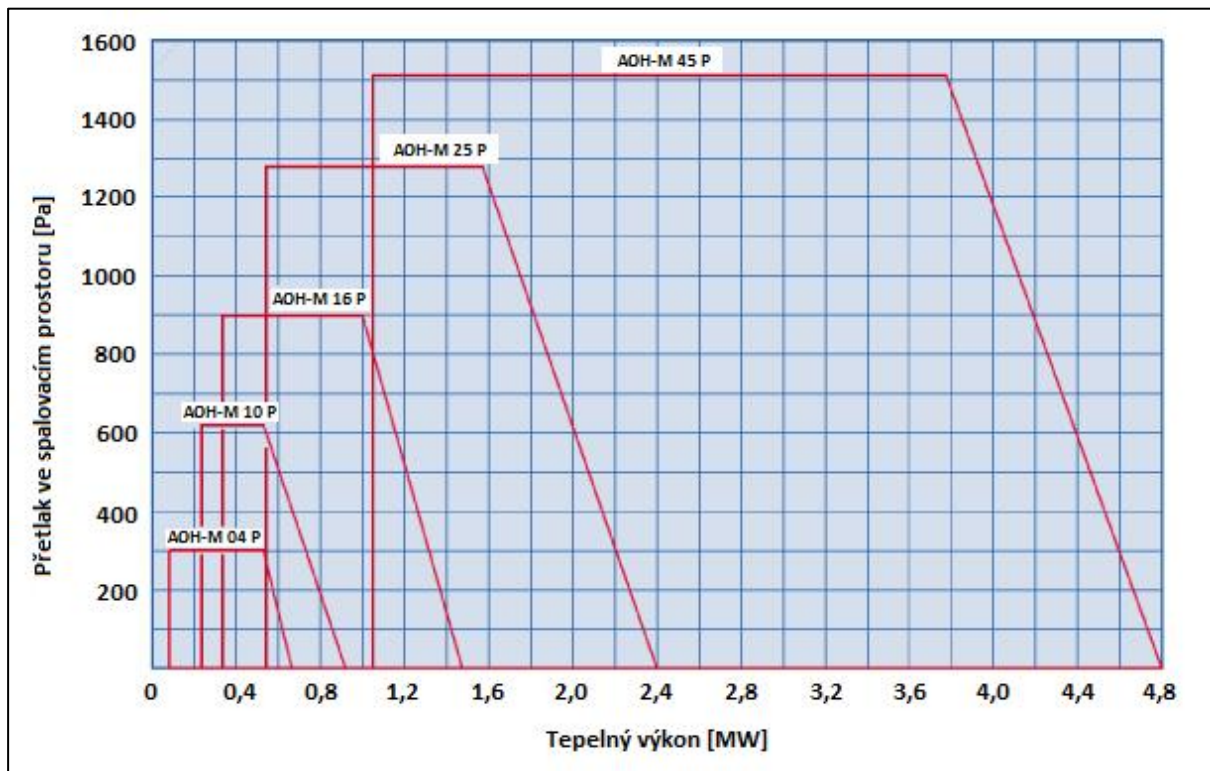
$$V_{vh} = \frac{P_H \cdot 3600}{Q} \cdot n \cdot V_{vT}, \quad (3-8)$$

kde  $V_{ph}$  množství zemního plynu [ $m_N^3 \cdot h^{-1}$ ],  
 $V_{vh}$  množství spalovacího vzduchu [ $m_N^3 \cdot h^{-1}$ ],  
 $Q$  výhřevnost plynného paliva [ $kJ \cdot m^{-3}$ ],  
 $V_{vT}$  stechiometrický objem vzduchu potřebný pro spálení 1  $m^3$  plynu [ $m_N^3 \cdot m_N^{-3}$ ],  
 $n$  násobek stechiometrického objemu spalovacího vzduchu [-].

Výkonovou charakteristiku lze uvádět i jako závislost výkonu na celkovém přetlaku uvnitř spalovací komory jako je na obrázku 3-6. Zjištění výkonu a výkonového rozsahu hořáku patří k nejdůležitějším bodům zkoušky. Je to dáno tím, že na výkonu hořáku se vyjadřují další parametry, mezi něž patří kupříkladu závislost rozměrů plamene a závislost tepelného zatížení spalovací komory na výkonu.



Obr. 3-5 Výkonové charakteristiky vířivého hořáku sestavené podle hodnot z Tab. 3-4.



Obr. 3-6 Výkonový rozsah olejového hořáku firmy PBS [3] z Obr. 2-1.

### 3.6.2 Rozsah regulovatelnosti a regulační poměr

Rozsah regulovatelnosti nebo také regulační rozsah stanovuje rozmezí výkonu, v jakém je hořák schopný provozu. Na základě výsledků zkoušek se stanovuje jmenovitý a maximální regulační rozsah.

**jmenovitý regulační rozsah** = rozmezí mezi minimálním a jmenovitým výkonem

**maximální regulační rozsah** = rozmezí mezi minimálním a maximálním výkonem

Regulační poměr je pak definován jako podíl mezi mezními výkonovými parametry.

Jmenovitý regulační poměr  $R_{jmen}$  [-]:

$$R_{jmen} = \frac{P_{Hjmen}}{P_{Hmin}}, \quad (3-9)$$

Maximální regulační poměr  $R_{max}$  [-]:

$$R_{max} = \frac{P_{Hmax}}{P_{Hmin}}, \quad (3-10)$$

kde  $P_{Hmin}$  minimální tepelný výkon hořáku [kW],  
 $P_{Hmax}$  maximální tepelný výkon hořáku [kW],  
 $P_{Hjmen}$  jmenovitý tepelný výkon hořáku [kW].

Platí že  $R_{max}$  je vždy větší než  $R_{jmen}$ .

### 3.6.3 Násobek stechiometrického objemu spalovacího vzduchu

Stechiometrický násobek spalovací vzduchu  $n$  je poměr mezi množstvím skutečného a stechiometrického objemu spalovacího vzduchu a může nabývat tří hodnot:

- $n=1$ , když dochází ke stechiometrickému spalování,
- $n<1$ , když dochází k nedokonalému spalování,
- $n>1$ , pokud spalovací proces probíhá s přebytkem potřebného spalovacího vzduchu.

Stechiometrický násobek lze určit více způsoby:

1. metoda - pokud jsou měření stanovena množství paliva a vzduchu, vypočítá se násobek z rovnice:

$$n = \frac{V_{vh}}{V_{ph} \cdot V_{vT}}, \quad (3-11)$$

2. metoda – výpočet  $n$  na základě provedeného rozboru spalin a to konkrétně z obsahů oxidu uhličitého, uhelnatého a kyslíku podle rovnic (3-12), (3-13) a (3-14). V případě určování stechiometrického násobku vzduchu u ejekčních hořáků se používá tato metoda určení stechiometrického násobku vzduchu pomocí rozboru spalin. Je to dáno způsobem, jakým je do hořáku přisáván okolní vzduch a kvůli tomu nejde zjistit přesné množství primárního a sekundárního vzduchu [7].

Rovnice pro výpočet  $n$  pokud ve spalinách není obsažen oxid uhelnatý:

$$n = 1 + \left( \frac{CO_{2max}}{CO_2} - 1 \right) \cdot \frac{V_{sT}^s}{V_{vT}}, \quad (3-12)$$

Pokud se ve spalinách vyskytuje oxid uhelnatý a platí tak že  $CO > 0$ , pak se násobek  $n$  určí z rovnice:

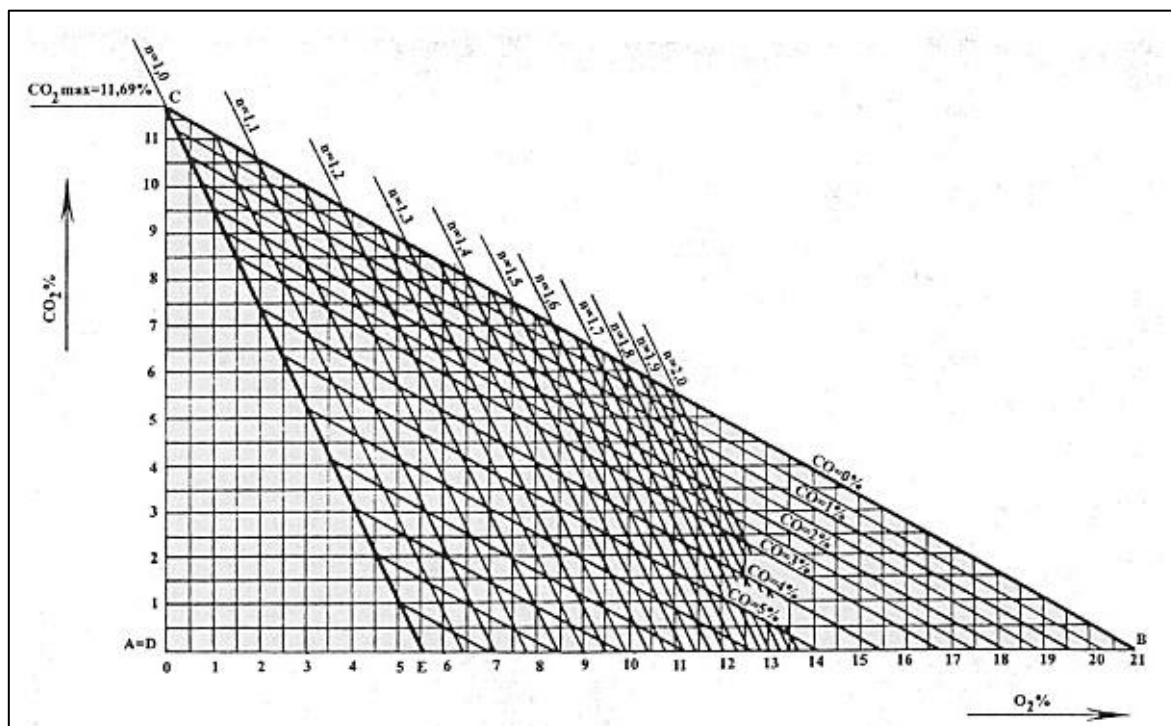
$$n = 1 + \left( \frac{CO_{2max}}{CO_2 + CO} - 1 \right) \cdot \frac{V_{sT}^s}{V_{vT}}, \quad (3-13)$$

Vztah pro výpočet  $n$  z obsahu  $O_2$  ve spalinách:

$$n = 1 + \frac{O_2}{21 - O_2} \cdot \frac{V_{sT}^s}{V_{vT}}, \quad (3-14)$$

kde	$CO_{2max}$	maximální obsah oxidu uhličitého ve spalinách [%],
	$CO_2$	obsah oxidu uhličitého v suchých spalinách [%],
	$CO$	obsah oxidu uhelnatého v suchých spalinách [%],
	$O_2$	obsah kyslíku v suchých spalinách [%],
	$V_{sT}^s$	stechiometrický objem suchých spalin [ $m_N^3 \cdot m_N^{-3}$ ].

3. metoda – stechiometrický násobek lze stanovit orientačně a to za pomoci spalovacího trojúhelníku (Bunteho nebo Ostwaldův). Ostwaldův spalovací trojúhelník je ilustrován na obrázku 3-7. Spalovací trojúhelníky slouží ke grafické kontrole spalování paliv a jsou sestaveny pro jedno konkrétní palivo o specifickém složení. Odlišná paliva mají tudíž různé spalovací trojúhelníky. Stechiometrický násobek se v trojúhelníku určí průnikem obsahů  $CO$ ,  $CO_2$  a  $O_2$ . Pokud dojde k situaci, že se hodnoty v trojúhelníku neprotínají, poukazuje to na fakt špatně provedeného rozboru spalin [7].



Obr. 3-7 Ostwaldův spalovací trojúhelník pro tranzitní zemní plyn [19].

### 3.6.4 Kvalita spalování

Společně se stanovením výkonových charakteristik se obvykle provádí i rozbor spalin, podle nějž se posuzuje kvalita spalování daného hořáku. Rozborem spalin se myslí zjištění objemových podílů složek ve spalinách, které jsou závislé zejména na složení spalovaného paliva neboť jako okysličovadlo se ve většině případů používá jedno médium s daným složením - atmosférický vzduch. Nejčastěji se ve spalinách určují obsahy CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> a SO<sub>x</sub> (zejména tuhá paliva) a to buď přímo (obsah každé složky se zjišťuje samostatně) nebo nepřímo (zjišťuje se obsah pouze některých prvků a sloučenin přičemž zbytek se dopočítává). Množství škodlivých látek vznikajících spalováním se uvádí buď procentuálním podílem ve spalinách, v jednotkách mg.m<sup>-3</sup> nebo v jednotkách ppm (parts per milion – počet částic na jeden milion, 1% = 10000 ppm). Povolená množství škodlivin jsou buď uváděny zákony, vyhláškami nebo nařízeními vlády příslušného státu. V případě spalovacího procesu s přebytkem spalovacího vzduchu (n>1) se pro srovnávací účely provádí přepočty některých složek spalin a to při stechiometrickém spalování (n=1).

Obsah CO při stechiometrickém spalování CO<sup>n=1</sup> [%] se přepočítá podle vztahů:

$$CO^{n=1} = CO \cdot \frac{CO_2 \max}{CO_2}, \quad (3-15)$$

Použít lze i tento vztah:

$$CO^{n=1} = CO \cdot \frac{21}{21 - O_2}, \quad (3-16)$$

Nabízí se možnost provést přepočítání oxidů dusíků při referenční hodnotě obsahu kyslíku 3% pro plynná paliva:

$$NO_X^{O_2=3\%} = NO_X \cdot \frac{18}{21-O_2}, \quad (3-17)$$

kde  $NO_X^{O_2=3\%}$  množství oxidů dusíku při daném obsahu kyslíku [%],  
 $NO_X$  obsahy oxidů dusíku ve spalínách z rozboru [%],

### 3.7 Měření veličin a přístrojové vybavení

K provedení úspěšné zkoušky hořáku je potřeba v jejím průběhu zaznamenat mnoho různých veličin. Jedná se o veličiny popisující vlastnosti paliva a okysličovač, stejně tak je důležité sledovat spaliny vznikající spalováním a znát parametry používaného zkušebního zařízení, aby bylo možné zjištěná data porovnat s parametry skutečného provozního zařízení. Mezi běžné zkouškami zjišťované parametry patří:

- průtok paliva a okysličovač,
- tlaky přiváděných medií a uvnitř komory,
- teplota zejména vznikajících spalin,
- charakteristické rozměry plamene,
- měření obsahu a množství emisí vzniklých spalováním.

Existuje velké množství metod a principů jak lze tyto veličiny zjistit, z důvodu rozsáhlých možností jsou v následující kapitole uvedeny jen stručně některé užívané způsoby. Detailní informace o způsobech měření veličin lze nalézt v literatuře [9] zabývající se přímo zkoušením ve spalovacích procesech.

#### 3.7.1 Zjišťování průtoku

Pomocí hořáku vzniká spalovací směs složená z paliva a okysličovač, proto je potřeba sledovat průtoky těchto dvou medií, jež mají přímý vliv na výkon hořáku.

##### Průtok paliva

Jedná se o jeden z nejdůležitějších parametrů, který je potřeba v průběhu zkušebního cyklu zjistit. Měření průtoku proudících paliv umožňuje celá řada průtokoměrů pracujících na různých principech. Základními metodami jsou [21]:

- měření rozdílu tlaku před a za primárním prvkem průtokoměru,
- měření rychlosti proudění tekutiny,
- měření objemového průtoku,
- měření hmotnostního průtoku.

Podle [4] se pro účely měření průtoku plyných paliv při zkouškách běžně používá clona vložená do přívodního potrubí paliva. Clona spadá do kategorie průtokoměrů měřících podle rozdílu tlaku před a za primárním prvkem. K záznamu průtoku kapalných paliv se může použít Coriolisův průtokoměr (metoda měření hmotnostního průtoku).

Clonu si lze představit jako kovovou desku s otvorem uprostřed vloženou do přívodu paliva mezi přírubami. Velikost a umístění otvoru se odvíjí od typu měřené tekutiny. Měří se rozdíl tlaků vznikající průchodem paliva škrťácím otvorem, podle kterého se pak dopočítá rychlost proudícího paliva. Výhodami clony je univerzálnost, relativně levné finanční náklady

a menší míra opotřebení vlivem nepohyblivých částí. Mezi nevýhody patří potřebná strojní přesnost na součást (geometrická přesnost, drsnost povrchu) a možnost měřit jen čistá paliva (plynná) z důvodů zanášení clony nečistotami majících za následek nepřesnosti v měření tlaků. Pro průběh zkoušky je důležité zkontrolovat směr natočení clony.

Coriolisův průtokoměr na obrázku 3-8 pracuje na principu tzv. Coriolisovy síly, která vzniká průchodem paliva zahnutými trubicemi vytvářejícím vibrace. Míra vznikajících vibrací je závislá na hmotnostním průtoku paliva. Tento typ měřidla vyžaduje vyšší investiční náklady, které jsou pak vykoupeny přesností a malými požadavky na údržbu.



*Obr. 3-8 Coriolisův průtokoměr [21].*

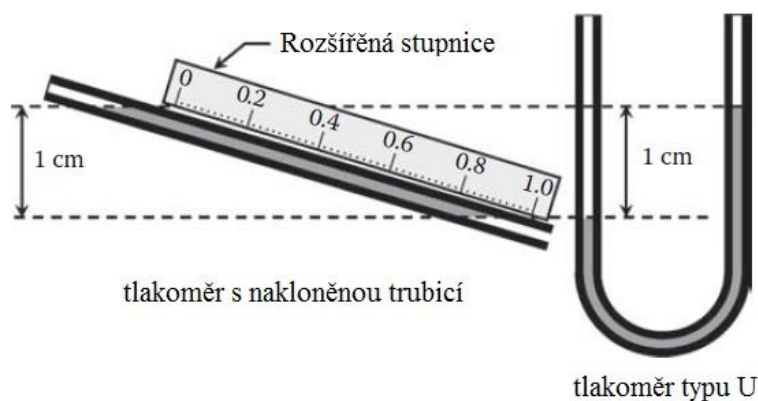
### Průtok okysličovadla

Okysličovadlo běžně reprezentuje spalovací vzduch, přičemž zjištění jeho průtoku patří mezi obtížné úkony a to z důvodu již výše zmiňovaného častého využívání hořáku s přirozeným tahem. Tah vzniká rozdílem tlaků mezi okolním vzduchem a vnitřkem spalovacího prostoru, který však bývá velice malý a díky tomu špatně zaznamatelný. Obvykle se při zkouškách průtok paliva dopočítává v závislosti na průtoku paliva, jeho složení a procentuálního obsahu kyslíku ve spalinách. Z těchto argumentů vyplývá důležitost uvedené veličiny důkladně zkoušením analyzovat.

V případě hořáků s nuceným přívodem vzduchu je zjištění průtoku média jednodušší. Vzduch bývá přiváděn za pomoci ventilátoru skrz potrubí, na které lze napojit vhodné měřidlo. Jako vhodné měřidlo bývá používána Venturiho nebo Pitotova trubice spadající do kategorie průtokoměrů pracujících na principu rozdílu tlaků (více o trubicích v článku [21]).

### **3.7.2 Měření tlaků**

K průběhu zkoušek patří potřeba přesně měřit tlaky a to zejména paliva, okysličovadla, uvnitř spalovací komory (spalin) a také je důležité zaznamenat tlak v okolí zkušebního zařízení. Opět existuje velké množství jak tlakovou veličinu zaznamenat, avšak z pohledu zkoušení a velikosti vznikající tlaků je potřeba volit tlakoměry s menším rozsahem, zato s vyšší přesností. Běžně se využívají kapalinové manometry v podobě U-trubice a tlakoměr se šikmou trubicí (tzv. mikrometr) naplněné vhodnou kapalinou. Vhodnou kapalinou lze označit kapalnou médium, která nemá příliš velkou hustotu. Potřeba kapaliny s nižší hustotou je dána velikostí vznikajících přetlaků a podtlaků, jež mají často velmi malé hodnoty, přičemž kapalina nižší hustoty umožňuje zvětšit a zpřehlednit měřítka přístroje. V případě potřeby zpřesnění měřicí stupnice se užívá zmiňovaný tlakoměr se šikmou trubicí. Mezi tlakoměry používané při zkouškách patří i běžně užívaný Bourdonův tlakoměr, nejčastěji pak pro měření přetlaků.



**Obr. 3-9** Porovnání stupnice tlakoměru se šikmou a U trubicí [9].

### 3.7.3 Teplota

Teplota je v každém spalovacím procesu velice důležitou veličinou. Mezi nejdůležitější důvody proč monitorovat teploty při zkouškách je množství vzniku oxidů dusíku závislých exponenciálně na teplotě, tepelná zátěž na stěny komory a přenos tepla na ohříváný materiál. Většina odvětví průmyslu klade na hořáky potřebu udržovat požadovaný rozsah teplot kvůli prováděným technologickým operacím (tepelné zpracování kovů, spalování odpadu, zpracování skla a jiné). Příliš vysoká teplota má za následek vysokou spotřebu paliva a vystavuje stěny spalovací komory zbytečně vysokým teplotám snižující její životnost, v krajních případech může teplota ohrozit její funkci. Při zkouškách se jedná především o měření teploty plynů vznikajících uvnitř spalovací komory (spaliny), teploty stěn spalovací komory, popřípadě přiváděného paliva pokud se provádí přehřev. Způsoby jakými lze měřit lze rozdělit jako:

- kontaktní,
- optické.

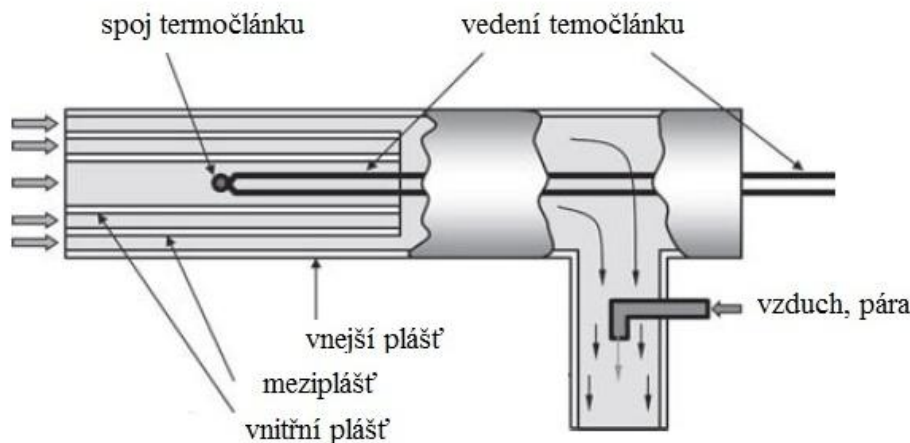
Typickým představitelem kontaktního způsobu pro zjištění teploty spalin uvnitř komory je nasávací termočlánek (Obr. 3-10). Ten je složen z termočláneku a radiačního štítu, který slouží jako ochrana před radiační složkou přenášeného tepla mající za následek nepřesnosti v měření. Krytý termočlánek se v komoře umístí skrz vstupní porty na místa, jež jsou oblastí zájmu. Optické metody reprezentují například optovláknová čidla teploty využívající změnu šíření světla vláknem nebo jeho odrazu na konci vlákna v důsledku změny teploty.

Kontaktní metody představují levnější a prověřené řešení zatímco optické metody je vhodné díky rychlé odezvě využít na místech výskytu rychlých změn podmínek (turbulentní proudění) popřípadě v nehostinném prostředí neumožňující použití kontaktních metod. Jednou z hlavních předností optických metod je, že nenarušují vnitřek spalovací komory.

### 3.7.4 Charakteristika plamene

Charakteristika plamene nespadá do fyzikálních veličin, avšak její parametrizování bývá zařazeno do programu zkoušky. Pro upřesnění, plamen je definováno jako viditelné spektrum vznikající spalováním paliva s okysličovadlem. Jako charakteristiky plamene lze označit jeho rozměry, stabilitu a intenzitu, přičemž měření těchto vlastností bývá prováděno vizuálním způsobem. Za tímto účelem vzniká potřeba během zkoušky plamen pozorovat. V případě zkoušek flér je díky absenci spalovací komory plamen jasně vidět, v případě zkoušení hořáku je komora za účely zkoušení vybavena pozorovacími okénky.

Rozměry plamene se rozumí jeho délka, průměr či plošný průřez při daných výkonech a je závislý na tvarování ústí hořáku a tryskami rozprašující palivo. Rozměry plamene se zjišťují vizuálně za pomoci měřítka. Stabilitu plamene lze posuzovat na základě rozhodnutí osoby provádějící zkoušky. To má za následek subjektivní a nepříliš vhodné posouzení. Danému problému se předchází posuzováním stability na základě obsahu oxidu uhelnatého v okolí plamene, který poukazuje na úplnost spalování. Intenzita plamene se označuje jako jasnost plamene a odvíjí se od použitého zkušebního paliva. Plyny mívají namodralý plamen s menší intenzitou v porovnání s kapalnými palivy, které charakterizuje jasně žlutá barva [4].



Obr. 3-10 Schématické zobrazení víceplášťového termočláčku [9].

### 3.7.5 Měření emisí

Hodnoty vznikajících polutantů patří mezi důležitý krok prováděný během zkoušky. Podle spalovaného paliva lze očekávat složení spalin. Plynná paliva jsou oproti kapalným a tuhým palivům z pohledu vznikajících emisí ekologicky šetrnější. Obvykle se zjišťují obsahy  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ , a  $\text{NO}_x$ . V případě kapalných a tuhých paliv se ve spalinách objevují i oxidů síry  $\text{SO}_x$  a tuhé znečišťující látky - prachy. Pro kontrolu spalování se využívá různých typů analyzátorů spalin s ohledem, o jaký typ zkoušky se jedná. Pro přesná laboratorní měření se jeví jako vhodný způsob používání přístrojů určených přímo pro měření obsahů jednotlivých složek. V případě zkoušek hořáků se rozbor spalin obvykle provádí pomocí přístrojů na bázi elektrochemických senzorů pro kontinuální analýzu spalin. Přístroje jsou díky softwarovému vybavení schopny vyhodnotit spaliny různých typů paliv, dopočítat hodnoty emisí při stechiometrickém spalování nebo převést hodnoty oxidů dusíku při daném množství kyslíku. Samotný přístroj se většinou skládá z odběrové sondy, chladiče spalin s kondenzátorem a vlastního přístroje. Kondenzátor slouží k zachycení vlhkosti ze spalin a odběrové sondy. Důležitým faktorem při zkoušce je umístění odběrové sondy a to do míst kde je již spalování ukončeno, tedy až za plamenem. Vlivem vznikajících teplot je potřeba chránit odběrovou sondu proti vysokým teplotám nejlépe pomocí keramické popřípadě kovové trubky [7].

## 4 Závěr

Zkoušky hořáků představují samostatnou kapitolu v oboru zabývajícím se spalovacími procesy. Cílem bakalářské práce bylo analyzovat problematiku vznikající při zkoušení hořáků. Z obsáhlosti této závěrečné práce a v porovnání se záběrem řešeného tématu lze konstatovat, že uváděný text je pouze stručným zhodnocením nejdůležitějších problémů vznikajících při zkoušení hořákových spotřebičů. V případě podrobnějších informací je potřeba se odkazovat na odbornou literaturu z textu.

Zpracování obsahu je fakticky rozděleno do dvou hlavních kapitol, z nichž jedna se pro ucelenější uvedení do tématu práce věnuje definování a základnímu rozdělení hořáků. Ta druhá a obsáhlejší popisuje samotné zkoušky hořáků. Z objektivního pohledu na věc se text práce věnuje zejména problematice zkoušení hořáků určeným pro provoz ve spalovacích komorách a to s ohledem na zkoušení podle platných technických norem v České republice. Z tohoto pohledu je nutno poukázat na fakt existence technických norem, nabývajících platnosti v jiných zemích (např. ASTM, DIN, ISO a jiné), kterými je třeba se řídit. V ČR je navíc podle zákona stanoveno, že pokyny uváděné příslušnou technickou normou jsou nezávazné a lze je brát pouze jako doporučení, která však poskytují již fakticky ověřený postup s minimem vznikajících rizik.

V současnosti patří fyzické zkoušky k nezastupitelným postupům jak ověřovat provozní chování a vlastnosti hořáků, nicméně v době výkonné výpočetní techniky se zkoušení vhodně doplňuje a to o různé experimentální a výpočetní metody, jež z globálního hlediska mohou mít tendenci postupem času fyzické zkoušky úplně vytlačit. Pokud se však vezme v potaz potřeba vývoje stále nových hořáků, jež jsou dnes nuceny snižovat množství vzniku škodlivých látek, složitost proudění vznikajících při tvorbě spalovací směsi, z nichž některé jsou z matematického hlediska a analýzy stále nevyřešeným problémem, jeví se fyzické zkoušky jako stále nezastupitelný přínos pro pochopení vznikajících podmínek. K uvedeným důvodům je navíc možno vzít v úvahu v současnosti užívané spalování zejména fosilních paliv, které by měly v rámci udržitelného rozvoje planety nahradit nová paliva z obnovitelných zdrojů, což sebou může nést potřebu zkoušení hořáků na alternativní paliva.

## Literatura

- [1] NEJEZCHLEB, R. *Spalování kapalných paliv z obnovitelných zdrojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 77 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Vít Kermes, Ph.D.
- [2] *11 Cooktop Appliances Ideas by Kuppertsbusch* [online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <<http://www.sanyartspace.com/space/2010/01/11-cooktop-appliances-ideas-by-kuppertsbusch/>>
- [3] *PBS POWER EQUIPMENT* [online]. [cit. 2012-02-21]. Dostupné z: <<http://www.pbspe.cz>>
- [4] BAUKAL, Charles E. *Industrial Burners Handbook*, 1st. edition. USA: CRC Press LLC, 2004, 808 s, ISBN 0-8493-1386-4.
- [5] BAUKAL, Charles E a Robert SCHWARTZ. *The John Zink combustion handbook*. Boca Raton, FL: CRC Press, c2001, 750 s. ISBN 08-493-2337-1.
- [6] BAUKAL, Charles E. *Industrial Combustion Pollution and Control*. New York: Marcel Dekker, 2004, 904 s. ISBN 08-247-4694-5.
- [7] FÍK, Josef. *Spalování plynných paliv a plynové hořáky*. 1. vyd. Praha: GAS, 1998, 232 s. ISBN 80-861-7601-0.
- [8] KERMES, V.; BĚLOHRADSKÝ, P.; OTAL, J.; STEHLÍK, P. *Průmyslové hořáky jako nezbytná součást energetického a procesního průmyslu*, 2007.18 s. článek v Efektivní energetika IX.
- [9] BAUKAL, Charles E. *Industrial combustion testing*. Boca Raton: Taylor, 2011, 759 s. ISBN 978-142-0085-280.
- [10] KERMES, V.; HÁJEK, J.; ORAL, J. *Testování hořáků pro procesní průmysl a energetiku - experimentální výzkum a modelování*. 2004. 37 s. Výzkumná zpráva.
- [11] *Plynárenská příručka: 150 let plynárenství v Čechách a na Moravě*. 1. vyd. Praha: GAS, 1997, 1192 s. ISBN 80-902339-6-1.
- [12] FÍK, Josef. *Lexikon spalování plynu*. 1. vyd. Praha: GAS, 2000, 312 s. ISBN 80-902-3399-6.
- [13] *John Zink* [online]. [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: <<http://www.johnzink.com/>>
- [14] *Zkušebna hořáků na plynná a kapalná paliva* [online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <<http://www.upei.fme.vutbr.cz/veda-vyzkum/experimentalni-zakladna-zkusebna-horaku>>
- [15] *WS* [online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <<http://www.flox.com/en/comp/company.html>>
- [16] ČSN EN 676+A2 (075802) - *Hořáky na plynná paliva s ventilátorem a s automatickým řízením*. 2009. 82 s. technická norma

- 
- [17] ČSN EN 267+A1 (075857) – *Hořáky na kapalná paliva s ventilátorem a s automatickým řízením*. 2011. 78 s. technická norma
- [18] *Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví* [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: <<http://www.unmz.cz/urad/unmz>>
- [19] FÍK, Josef. *Spalovací vlastnosti ZP (II)*. [online]. Datum vydání: 11. 5. 2004 [cit. 2012-05-11]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/1980-spalovaci-vlastnosti-zp-ii>>
- [20] BĚLOHRADSKÝ, P. *Metody pro určování charakteristických parametrů procesů spalování na bázi experimentů a modelování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 143 s. Vedoucí dizertační práce prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.
- [21] ORLÍKOVÁ, S. *Měření průtoku tekutin - principy průtokoměrů*. [online]. [cit. 2012-05-14]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/4624-mereni-prutoku-tekutin-principy-prutokomeru>>

## Seznam obrázků

<b>Obr. 1-1</b> Ukázka plamene hořáku spalující koksárenský a zemní plyn. ....	11
<b>Obr. 2-1</b> Ukázka příkladu hořákových spotřebičů. ....	12
<b>Obr. 2-2</b> Pohled a řez zjednodušeným modelem dvoupalivového hořáku.....	13
<b>Obr. 2-3</b> Schématické rozdělení hořáků podle způsobu tvorby spalovací směsi .....	15
<b>Obr. 2-4</b> Ukázka hořáku kombinujících více paliv najednou .....	16
<b>Obr. 3-1</b> Ukázka a detail atmosférického hořáku spalující koksárenský plyn .....	20
<b>Obr. 3-2</b> Příklad rozsahů viskozity zkušebního paliva .....	25
<b>Obr. 3-3</b> Schematické znázornění recirkulace spalin .....	26
<b>Obr. 3-4</b> Zkušební spalovací komora a její uspořádání .....	27
<b>Obr. 3-5</b> Výkonové charakteristiky vířivého hořáku.....	32
<b>Obr. 3-6</b> Výkonový rozsah olejového hořáku .....	33
<b>Obr. 3-7</b> Ostwaldův spalovací trojúhelník pro tranzitní zemní plyn.....	35
<b>Obr. 3-8</b> Coriolisův průtokoměr .....	37
<b>Obr. 3-9</b> Porovnání stupnice tlakoměru se šikmou a U trubicí . ....	38
<b>Obr. 3-10</b> Schématické zobrazení víceplášťového termočlánku.....	39

## Seznam tabulek

<b>Tab. 3-1</b> Výběr zkušebních plynů dle ČSN EN 676+A2 .....	25
<b>Tab. 3-2</b> Popis rozměrů spalovací komory z obrázku. ....	27
<b>Tab. 3-3</b> Tabulka platných norem spadajících do třídy 0758 .....	30
<b>Tab. 3-4</b> Výsledky měření výkonové charakteristiky vířivého hořáku. ....	31

## **Seznam příloh**


Příloha I. - Příklad formuláře pro záznam dat

## Seznam použitých symbolů

symbol	význam	jednotka
Wb	wobbeho index	[MJ.m <sup>-3</sup> ]
HHV	spalné teplo paliva	[MJ.m <sup>-3</sup> ]
SG	měrná hmotnost paliva	[-]
SG <sub>p</sub>	měrná hmotnost plynného paliva	[-]
SG <sub>k</sub>	měrná hmotnost kapalného paliva	[-]
M <sub>p</sub>	molární hmotnost plynu	[kg.mol <sup>-1</sup> ]
M <sub>vzd</sub>	molární hmotnost vzduchu	[kg.mol <sup>-1</sup> ]
ρ <sub>k</sub>	hustota kapaliny	[kg.m <sup>-3</sup> ]
ρ <sub>H2O</sub>	hustota vody	[kg.m <sup>-3</sup> ]
l <sub>1</sub>	délka spalovací komory	[m]
Q <sub>F</sub>	tepelný příkon	[kW]
d <sub>1</sub>	průměr spalovací komory	[m]
V <sub>ph</sub>	množství zemního plynu	[m <sub>N</sub> <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> ]
V <sub>vh</sub>	množství spalovacího vzduchu	[m <sub>N</sub> <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> ]
Q	výhřevnost plynného paliva	[kJ.m <sup>-3</sup> ]
V <sub>vT</sub>	stechiometrický objem vzduchu pro spálení 1 m <sup>3</sup> plynu	[m <sub>N</sub> <sup>3</sup> .m <sub>N</sub> <sup>-3</sup> ]
n	násobek stochiometrického objemu spalovacího vzduchu	[-]
R <sub>jmen</sub>	jmenovitý regulační poměr	[-]
R <sub>max</sub>	maximální regulační poměr	[-]
P <sub>Hmin</sub>	minimální tepelný výkon hořáku	[kW]
P <sub>Hmax</sub>	maximální tepelný výkon hořáku	[kW]
P <sub>Hjmen</sub>	jmenovitý tepelný výkon hořáku	[kW]
CO <sub>2</sub>	obsah oxidu uhličitého v suchých spalinách	[%]
CO <sub>2max</sub>	maximální obsah oxidu uhličitého v suchých spalinách	[%]
CO	obsah oxidu uhelnatého v suchých spalinách	[%]
O <sub>2</sub>	obsah kyslíku v suchých spalinách	[%]
V <sub>sT</sub> <sup>s</sup>	stechiometrický objem suchých spalin	[m <sub>N</sub> <sup>3</sup> .m <sub>N</sub> <sup>-3</sup> ]
NO <sub>X</sub>	obsah oxidů dusíku ve spalinách	[%]
NO <sub>X</sub> <sup>O<sub>2</sub>=3%</sup>	obsah oxidů dusíku při obsahu O <sub>2</sub> =3%	[%]

# **PŘÍLOHA I**

Příklad formuláře pro záznam dat

	<b>Protokol o seřízení a kontrole technického stavu olejového hořáku a přezkoušení zabezpečovacích prvků</b>	
	Servisní organizace:	Tel.:
Místo provozu:	Tel.:	
Provozovatel:	Tel.:	

Hořák	Typ:		Typ automatiky:
	Jmenovitý tepelný výkon [kW]:		Číslo automatiky:
	Výrobní číslo:		Verze progr. vybavení:
	Rok výroby:		Číslo desek s plošnými spoji:
	Tryska (výrobce, velikost):		Dat. ukonč. záruční doby:
Spotřebič	Výrobce:		
	Typ:		Výrobní číslo:
	Jmenovitý výkon	[kW]:	Rok výroby:
[t.h <sup>-1</sup> ]:		Účinnost:	
Palivo	Druh:		Výrobce:
	Teplota před hořákem [°C]:		Výhřevnost [kJ.kg <sup>-1</sup> ]:
	Výška nátoky [m]:		Tlak před hořákem [MPa]:
Sp. vzduch	Barom. tlak [kPa]:		Teplota [°C]:

### ZABEZPEČOVACÍ A REGULAČNÍ PRVKY

Bezp. doba na startu	[s]		Doba větrání	[s]	
Bezp. doba za provozu	[s]		Snímač plamene	[s]	
Manostat tlaku spal. vzduchu	[Pa], [mbar]		REG.2	[°C]	
Manostat přetlaku/tahu ve s.p.	[Pa], [mbar]			[MPa]	
Manostat paliva -přívod (sání čerp.)	[kPa]		REG.1	[°C]	
Manostat paliva - vratná větev	[kPa]			[MPa]	
Teplota oleje - termostat prov.	[°C]		Havarijní regulátor	[°C]	
Teplota oleje - termostat havar.	[°C]			[MPa]	

**PODMÍNKY, které je třeba splnit k zajištění bezpečného a spolehlivého provozu hořáku (projekce, vybavení, stav kotelny a spotřebiče...)**

Upozorňujeme provozovatele na nutnost dodržování pokynů uvedených v „Předpise pro montáž, obsluhu a údržbu“ (kontrolu technického stavu hořáku včetně seřízení spalování je nutno zajistit u oprávněné servisní organizace min. 1x ročně).

PROVOZNÍ HODNOTY		MAX.	STŘED.	MIN.
Průtok paliva	Tlak na čerpadle	[bar]		
	Tlak na regul.šoupátku (vrat)	[bar]		
	Průtok paliva (oleje)	[l.h <sup>-1</sup> ]		
	Průtok paliva (oleje)	[kg.h <sup>-1</sup> ]		
Tepelný výkon hořáku	Ph	[kW]		
		[%]		
Tlak ve spalovacím prostoru		[Pa]		
Tah za spotřebičem		[Pa]		
Teplota spalin		[°C]		
Komínová ztráta		[%]		
Účinnost		[%]		
Analýza spalin	Násobek stech. obj. vzduchu	[-]		
	O <sub>2</sub>	[%]		
	CO <sub>2</sub>	[%]		
	CO	[mg.m(n) <sup>-3</sup> , 3%O <sub>2</sub> ]		
		[ppm]		
	NO <sub>x</sub>	[mg.m(n) <sup>-3</sup> , 3%O <sub>2</sub> ]		
		[ppm]		
	NO	[ppm]		
NO <sub>2</sub>	[ppm]			
SO <sub>2</sub>	[mg.m(n) <sup>-3</sup> , 3%O <sub>2</sub> ]			
	[ppm]			

Měřeno analyzátořem spalin (výrobce, typ):

Měření emisí:  autorizované,  neautorizované

### ZAUČENÁ OBSLUHA

Jméno a příjmení	Os. číslo	Funkce	Podpis

**Práci provedl:**  
(podpis, razítko)

Datum:

**Práci převzal:**  
(podpis, razítko)

Datum:

### POZNÁMKY PRO POTŘEBU KONSTRUKCE A SERVISU HOŘÁKU :

Připomínky a návrhy ke konstrukci a provozu hořáku, případné úpravy směšovací hlavice uveďte do přílohy protokolu, který je zasílán do PBS Třebíč, a.s.