



OPERAČNÍ PROGRAM
ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ



EVROPSKÁ UNIE
Fond soudržnosti

Pro vodu,
vzduch a přírodu

Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách u stacionárních zdrojů nespádajících pod BREF

SPALOVÁNÍ PALIV

konečná verze



Obsah:

1	Předmluva	3
1.1	Zadání pro zpracování dokumentu	3
1.2	Způsob zpracování dokumentu	4
1.3	Struktura referenčního dokumentu	4
2	Oblast působnosti	5
2.1	Stacionární zdroje zahrnuté do referenčního dokumentu	5
2.2	Související procesy a činnosti	5
2.3	Stacionární zdroje nezahrnuté do referenčního dokumentu	5
3	Techniky používané v odvětví a jejich emisní úrovně	6
3.1	Spalování paliv v kotlích	8
3.1.1	Používané techniky a postupy	10
3.1.1.1	Spalování pevných paliv v roštových ohništích	10
3.1.1.2	Spalování pevných paliv v práškových ohništích	11
3.1.1.3	Spalování pevných paliv ve fluidních ohništích	12
3.1.1.4	Specifika spalování biomasy	13
3.1.1.5	Spalování kapalných paliv	13
3.1.1.6	Spalování plyných paliv	14
3.1.1.7	Výměňková část kotlů	14
3.1.1.8	Související činnosti	15
3.1.2	Techniky snižování emisí do ovzduší	17
3.1.2.1	Primární techniky ke snižování emisí	17
3.1.2.2	Sekundární techniky ke snižování emisí	18
3.1.3	Dosahované emisní úrovně	20
3.2	Spalování paliv v motorech	22
3.2.1	Používané techniky a postupy	22
3.2.2	Techniky snižování emisí do ovzduší	23
3.2.2.1	Primární techniky ke snižování emisí	23
3.2.2.2	Sekundární techniky ke snižování emisí	23
3.2.3	Dosahované emisní úrovně	23
3.3	Spalování paliv v turbínách	25
3.3.1	Používané techniky a postupy	25
3.3.2	Techniky snižování emisí do ovzduší	26
3.3.2.1	Primární techniky ke snižování emisí	26
3.3.2.2	Sekundární techniky ke snižování emisí	26
3.3.3	Dosahované emisní úrovně	26
4	Nejlepší dostupné techniky	28
4.1	Nejlepší dostupné techniky	29
4.1.1	Spalování paliv v kotlích	29
4.1.1.1	Spalování pevných paliv v kotlích	29
4.1.1.2	Spalování plyných paliv v kotlích	31
4.1.1.3	Spalování kapalných paliv v kotlích	33
4.1.2	Spalování paliv v motorech	34
4.1.3	Spalování paliv v turbínách	35
4.2	Nejlepší dostupné techniky pro podporu z OPŽP	36
5	Použité zdroje	37
6	Seznam zkratk	38



1 PŘEDMLUVA

1.1 Zadání pro zpracování dokumentu

V oblasti ochrany ovzduší se desítky let kontinuálně provádí analytické a výzkumné práce. Většina z nich se zaměřuje na úroveň znečištění ovzduší, její příčiny a důsledky. Během posledních dekad ale nebyla provedena (až na výjimky) žádná souhrnná a plošná analýza technické úrovně stacionárních zdrojů, které jsou v České republice v provozu, ani obdobná analýza nových technik a technologií dostupných na trhu. Výjimku tvoří skupina spalovacích stacionárních zdrojů, kde se s ohledem na tvorbu evropského právního předpisu pro spalovací stacionární zdroje o jmenovitém tepelném příkonu do 50 MWt a revizi Göteborgského protokolu, prováděla rovněž analýza technických a ekonomických aspektů regulace této skupiny stacionárních zdrojů.

Od roku 2007 se ekologizace stacionárních zdrojů staly předmětem masivní podpory z prostředků Evropské unie. Prostřednictvím Operačního programu Životní prostředí (dále také jen „OPŽP“) bylo podpořeno snížení vlivu stacionárních zdrojů na vnější ovzduší prostřednictvím necelých 2 tis. projektů. Do ekologizace stacionárních zdrojů bylo (resp. v řadě případů investice stále je) investováno cca 40 mld. Kč.

Je oprávněným zájmem Ministerstva životního prostředí, aby mělo k dispozici informace o tom, zda je podpora směřována na řešení technicky vyspělá a pokročilá. Ministerstvo životního prostředí zajímá, zda byly podporovány nejlepší dostupné techniky - ve volném významu tohoto spojení [nikoliv ve smyslu definice dle zákona č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a o omezování znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů (zákon o integrované prevenci), ve znění pozdějších předpisů, dále také jen „zákon o integrované prevenci“, neboť v řadě případů podporované stacionární zdroje nespádají pod integrovanou prevenci a nejlepší dostupné techniky ve smyslu právní úpravy pro ně nejsou stanoveny].

Podpora ekologizace stacionárních zdrojů má pokračovat i v dalším programovém období prostřednictvím OPŽP 2014+. Finančních prostředků je k dispozici výrazně méně, a proto musí být cíleny maximálně efektivně na velmi účinná technická opatření.

Z tohoto důvodu zadalo Ministerstvo životního prostředí v roce 2015 zpracování studie „Zpracování referenčních dokumentů o nejlepších dostupných technikách u stacionárních zdrojů nespádajících pod BREF“. Předmětem této studie bylo na základě důkladné analýzy trhu zpracovat referenční dokumenty o nejlepších dostupných technikách pro stacionární zdroje neuvedené v příloze č. 1 k zákonu o integrované prevenci, a tím umožnit Ministerstvu životního prostředí u zdrojů znečišťování ovzduší celkové vyhodnocení aplikace nejlepších dostupných technik v rámci prioritní osy 2 a prioritní osy 3 OPŽP, a dále pak usnadnit žadatelům o finanční podporu z evropských fondů na oblast ochrany ovzduší orientaci ve volbě nejefektivnějších technik za účelem zvýšení environmentálních přínosů finančních prostředků poskytovaných z OPŽP 2014+.

Z předmětu studie vyplývají rovněž její hlavní dva účely

- a. **efektivnější čerpání finančních prostředků** díky úpravě hodnocení, případně kritérií přijatelnosti v OPŽP 2014+, a
- b. **lepší orientace žadatelů v dostupných technických řešeních** prostřednictvím uceleného dokumentu popisujícího příslušné odvětví (resp. skupinu stacionárních zdrojů dle přílohy č. 2 k zákonu č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů, dále také jen „zákon o ochraně ovzduší“), jehož součástí je i popis a soupis zjištěných dostupných technik pro omezování znečišťování ovzduší.



1.2 Způsob zpracování dokumentu

Proces zpracování standardních BREF dokumentů prováděný dle právní úpravy EU pro oblast integrované prevence je proces několikaletý, založený na rozsáhlých mnohostranných jednáních a výměně rozsáhlých dat o provozu obrovského vzorku zařízení.

Tento postup nebyl s ohledem na vymezený časový rámec řešení projektu (pouze několik měsíců) možný. Fyzická návštěva všech stacionárních zdrojů byla neproveditelná. I při nezapočtení stacionárních zdrojů nevyjmenovaných v příloze č. 2 zákona o ochraně ovzduší, kterých je v České republice statisíce a jejichž výčet není dostupný, existuje skupina stacionárních zdrojů vyjmenovaných v příloze č. 2 zákona o ochraně ovzduší, která zahrnuje cca 46 tis. stacionárních zdrojů. V této skupině zdrojů jsou sice rovněž stacionární zdroje, které nejsou předmětem řešení projektu (jsou uvedena v příloze č. 1 k zákonu o integrované prevenci), ale i tak přesahuje představa fyzické návštěvy každého stacionárního zdroje finanční i časový rámec projektu. Z tohoto důvodu se při řešení projektu vycházelo z informací již dostupných, tj. informací dostupných především u odborných útvarů státní správy, mimo jiné Ministerstva životního prostředí, krajských úřadů, Českého hydrometeorologického ústavu a Státního fondu životního prostředí ČR.

Po zpracování vstupních dat byly dokumenty diskutovány prostřednictvím oborových svazů (Teplárenského sdružení ČR). Za účelem získání aktuálních informací o vývoji a dostupnosti technik byli rovněž kontaktováni výrobci technik a technologií používaných u stacionárních zdrojů ke snižování emisí znečišťujících látek.

Klíčovým prvkem přípravy dokumentů a analýzy trhu byla i rozsáhlá rešeršní práce a analýzy projektů podpořených v rámci prioritní osy 2 OPŽP.

Významné okrajové parametry řešení, např. přesné vymezení řešených stacionárních zdrojů a členění na referenční dokumenty, byly závazně odsouhlasovány ze strany zadavatele studie, tj. Ministerstva životního prostředí.

1.3 Struktura referenčního dokumentu

První částí referenčního dokumentu je kapitola *Předmluva*. V rámci této kapitoly je stručně popsáno zadání tvorby a účel referenčních dokumentů, způsob jejich vypracování a jejich struktura.

Druhá kapitola *Oblast působnosti* přesně uvádí, na které stacionární zdroje v členění dle přílohy č. 2 k zákonu o ochraně ovzduší se dokument vztahuje a které související výrobní a další procesy dokument popisuje. Současně jsou zde uvedeny stacionární zdroje, které jsou z oblasti působnosti referenčního dokumentu vyloučeny.

Třetí kapitola *Techniky používané v odvětví a jejich emisní úrovně* tvoří popis technik používaných v provozovaných stacionárních zdrojích a technik dostupných na trhu. Kapitola je tvořena primárně z informací dostupných státní správě, z dotazníkového šetření a z jednání se stakeholdery. Kapitola obsahuje rovněž okrajové podmínky stanovené v právní úpravě (specifické emisní limity, podmínky provozu).

Poslední kapitola *Nejlepší dostupné techniky* tvoří souhrnný přehled nejlepších dostupných technik určených pro podporu v rámci prioritní osy 2 OPŽP 2014+.



2 OBLAST PŮSOBNOSTI

2.1 Stacionární zdroje zahrnuté do referenčního dokumentu

Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách v odvětví spalování paliv zahrnuje tyto skupiny stacionárních zdrojů v členění dle přílohy č. 2 k zákonu o ochraně ovzduší

- Spalování paliv v kotlích o celkovém jmenovitém tepelném příkonu od 0,5 MW (kód 1.1 dle přílohy č. 2 k zákonu o ochraně ovzduší);
- Spalování paliv v pístových spalovacích motorech o celkovém jmenovitém tepelném příkonu od 0,3 MW (kód 1.2 dle přílohy č. 2 k zákonu o ochraně ovzduší);
- Spalování paliv v plynových turbínách o celkovém jmenovitém tepelném příkonu od 0,3 MW (kód 1.3 dle přílohy č. 2 k zákonu o ochraně ovzduší).

V České republice se nachází přibližně 10 tis. spalovacích stacionárních zdrojů, které spadají pod zpracovaný referenční dokument. V závislosti na druhu spalovaného paliva lze tyto zdroje členit následovně:

Druh paliva	Jmenovitý tepelný příkon [MWt]			Celkem	
	0,3 až 1	nad 1 až 5	nad 5 až 50	Počet zdrojů	Podíl
Tříděné hnědé a černé uhlí	64	245	36	345	3,5 %
Prachové hnědé a černé uhlí	1	21	73	95	1,0 %
Dřevo a biomasa	85	224	42	351	3,5 %
Topný olej a nafta	130	469	95	694	7,0 %
Zemní plyn	2 769	4 479	835	8 083	81,7 %
Bioplyn	134	182	9	325	3,3 %
Celkem	3 183	5 620	1 090	9 893	100,0 %

Zdroj: Studie IREAS¹⁾

Z dostupných statistických dat je patrné, že bezkonkurenčně největší zastoupení v této kategorii spalovacích stacionárních zdrojů mají zdroje spalující zemní plyn (cca 82 %). Tato informace koreluje s dlouhodobě velmi nízkým (až nepodstatným) množstvím emisí, které je z této skupiny stacionárních zdrojů evidováno.

2.2 Související procesy a činnosti

Mezi související činnosti zahrnuté do referenčního dokumentu patří především skladování vstupních a výstupních surovin a odpadů (palivo, redukční činidla, popílek).

2.3 Stacionární zdroje nezahrnuté do referenčního dokumentu

V kategorii spalování paliv v kotlích jsou do referenčního dokumentu zahrnuty spalovací stacionární zdroje od spodní hranice celkového jmenovitého tepelného příkonu ve výši 500 kW. Oproti příloze č. 2 k zákonu o ochraně ovzduší, kde je hranice celkového jmenovitého tepelného příkonu ve výši 300 kW,

¹ Studie IREAS, viz kapitola 5 Použité zdroje



zde dochází k navýšení této hranice. Důvodem je skutečnost, že pro kotle do 500 kW existuje právní předpis Evropské unie, který dostatečně stanovuje podmínky provozu a specifické emisní limity pro tuto skupinu stacionárních zdrojů a stanovování dalších podmínek provozu pro tyto menší kotle není nákladově efektivní.

V souladu se zadáním projektu nejsou do referenčního dokumentu zahrnuta zařízení, která spadají do působnosti zákona o integrované prevenci. V tomto případě spalovací stacionární zdroje, jejichž celkový jmenovitý tepelný příkon by při uplatnění pravidel pro sčítání tepelných příkonů (dle § 4 odstavce 7 a 8 zákona o ochraně ovzduší) dosáhl 50 MWt a více.

Součástí referenčního dokumentu nejsou ani teplovzdušné přímotopné spalovací zdroje. Tyto spalovací stacionární zdroje spalující převážně zemní plyn a umístované převážně do vytápěných místností neumožňují efektivní regulaci kromě dodržování pokynů pro instalaci a provoz těchto zařízení stanovených jejich výrobcem.

Spalování paliv v dalších případech, ať již se jedná o přímé či nepřímé procesní ohřevy, není součástí tohoto referenčního dokumentu, ale je součástí dokumentu pro příslušné průmyslové odvětví (např. potravinářství, nerostné suroviny, apod.).



3 TECHNIKY POUŽÍVANÉ V ODVĚTVĚ A JEJICH EMISNÍ ÚROVNĚ²⁾

Spalování je fyzikálně chemický proces, při kterém je směřováno připravené palivo a oksyločvadlo, sloučením tzv. hořením dojde k intenzivnímu uvolnění tepla, čímž stoupne teplota směsi i spalin. Hoření vzniká samovolně nebo pomocí iniciace a vykazuje charakter řetězové reakce, tedy část spalného tepla slouží jako iniciace zápalu další směsi. Ukončení hoření nastává po vyčerpání jedné ze složek směsi nebo intenzivním odvodem tepla pod mez zápalnosti. Fyzikální podstata hoření je založena na doplňování neúplných sfér atomu hořlaviny na plný počet. Dochází k energeticky efektivnějšímu rozmístění elektronů a nově vzniklé molekule, která obsahuje oba původní prvky např. CO₂. Snížení energetické úrovně elektronů při spalování znamená úsporu energie, což se projevuje uvolněním tepla, tzn. intenzitou hoření.

Při spalování tuhého paliva dochází k několika významným fázím, které charakterizují průběh hoření a ovlivňují dynamiku hoření. Zrno paliva, které vstupuje do spalovacího procesu, je nejdříve zahříváno a v první fázi dochází k uvolnění vody ve formě páry z povrchu a následně z pórů. Po uvolnění vody následuje uvolnění prchavé hořlaviny. Uvolnění prchavé hořlaviny opět závisí na dosažené teplotě zrna tuhého paliva. Nejdříve se uvolňují lehké uhlovodíky a následně těžké uhlovodíky. Po dosažení zápalné teploty dojde ke vznícení uhlovodíků. Vznícení je mimo povrch zrna v prostoru ohniště. Poslední vznícení pak přísluší tuhému uhlíku, který se spaluje od povrchu a v pórech směrem k jádru. Zrno mění svůj rozměr a povrch. Intenzita látkové výměny je určena rozměrem zrna, hlavní vliv je registrován především pro vstupní zrna pod 0,2 mm, která vykazují vysoký měrný povrch, snadný zápal, přenos tepla, homogenitu směsi atd.

Souhrnně při hoření dochází k sušení, odplynování, rozkladu plynů a popelovin, přenosu tepla, vlastnímu hoření, transportu kyslíku a spalin a to současně i postupně. Složení popelovin a obsah prchavé hořlaviny je určujícím znakem pro spalovací charakteristiku paliva. Prchavá hořlavina urychluje vznícování, oblasti cca 300°C, a zároveň zvětšuje povrch a tloušťku fronty spalování tzv. vyplnění plamenem. Hoření uhlíku a prchavé hořlaviny se v určitou dobu překrývají. Při dohořívání prchavé hořlaviny dojde k poklesu hoření uhlíku. Hoření tuhého paliva vykazuje dvě maxima, první je maximum prchavé hořlaviny a druhé je maximum tuhé hořlaviny. Popelovina paliva hoření brzdí, protože je nutné dodávat energii, kterou vyžaduje ohřev popelovin a často dochází zmenšení povrchu spalovaného zrna.

Dříve poměrně široce využívaná kapalná paliva se vyznačovala relativně vysokou jakostí a výhřevností s konstantními charakteristickými palivovými znaky. Kapalně palivo obecně zajišťuje plamen s vyšším podílem sálání, což se může příznivě projevit ve vlastní konstrukci kotle a provozu kotle. Zároveň jsou minimalizovány oproti tuhým palivům ztráty nedopalem, případně sáláním. Problematické z hlediska využití kapalných paliv jsou složky např. vanadu, alkálie, případně síry, jejichž přítomnost ve spalovacím procesu je nezbytné zohlednit v konstrukčním provedení spalovacího zařízení a v provozu.

Při spalování kapalného paliva jsou rozeznávány tři hlavní fáze tj. fáze ohřevu a odpaření, fáze uvolnění prchavé hořlaviny a vznícení a fáze hoření. V rámci procesu spalování dochází ke zmenšení rozměrů kapek paliva. Uvolněná prchavá hořlavina a páry paliva postupují směrem k frontě hoření tedy na kraj, kde je nejvyšší teplota hoření. Průchod ke kraji hoření je přes krakovací zónu, která ovlivňuje vznik sazí tj. atomární uhlík o velikosti cca 0,3 μm. Pro minimalizaci vzniku sazí a rozsahu krakovací zóny je důležitý transport kyslíku do zón hoření. V krakovací zóně se v rámci redukčních pochodů vytvářejí směsi CO a CO₂. Vzájemný poměr obou složek je závislý na teplotě směsi v rozsahu teplot 800 až 1 500°C. Obvykle s rostoucí teplotou CO roste a CO₂ klesá a v oblasti nevyhořelého uhlíku není prakticky žádné CO₂.

²⁾ Zdroje informací: především Příručka ochrany kvality ovzduší, viz kapitola 5 Použité zdroje



Kvalita a správnost spalování kapalných paliv je závislá především na rozměru kapek paliva a dokonalosti rozprášení. Zvětšení povrchu a kvalita egalizace rozprášeného paliva ovlivňuje odpar a vznícení prchavé hořlaviny. Důraz je také kladen na stabilitu hoření a načasování zápalu. Spalování těžkých druhů paliv, např. oleje a mazutu, je citlivější na nedokonalost odpaření kapiček a pomalejší tvorbu směsi. Větší rozměry kapiček nad 500 μm jsou náchylnější na nedokonalé vyhoření a vznik atomárního uhlíku. Vznik větších rozměrů kapiček je podporován právě nevhodným rozprášením, aerodynamikou hořáků a vysrážením jemné mlhoviny před vyhořením. Hlavním původcem vzniku sazí jsou aromatické složky kapalných paliv. Rozměry vytvořených sazí z kapalných paliv mají různé specifické rozměry. Například saze z lehkých topných olejů se vyskytují před shlukem v rozměru 0,1 μm , saze z nedostatečného víření je v rozměrech 10 až 40 μm .

Plynné palivo lze považovat za palivo, které vytváří poměrně příznivé podmínky pro spalovací reakci např. dokonalé promísení se vzduchem. Spalovací proces je zahájen při tzv. vzněcovací nebo zápalné teplotě. Po zápalu dochází k rozvinutí spalovacího procesu, pokud je palivo zplyněno a smícháno s oxidací v požadovaných teplotách. Právě plynné skupenství umožňuje bezprostřední reakci a teplo uvolněné při spalování udržuje spalovací proces.

Plynná paliva obvykle obsahují hořlavé složky H_2 , CO , C_xH_y a nehořlavé CO_2 , Ar , H_2O , N_2 , O_2 . Rozklad CH_4 začíná již při 300 °C a při teplotě 900 °C je rozloženo cca 97 %. Dokonalost spalování je určena opět podíly spalování, které shořely dokonale. Nedokonalost spalování plyných paliv je určena podíly spalování, které shořely nedokonale nebo vůbec neshořely. Tedy výstupní plyny obsahují určité množství nespálených plynů a hořlaviny jako např. CO , H_2 , CH_4 a saze. Důvody nedokonalého spalování jsou obdobné jako u spalování kapalných paliv tj. nedokonalé mísení, neúčinná distribuce kyslíku do zón hoření, ochlazení plamene.

V případě, že dochází k vzniku malých částic cca 0,3 μm tj. atomární uhlí - sazí, mohou se tvořit shluky, které zabarvují plamen do žluta. Spalování sazí je heterogenní záležitost, tzn. na povrchu a probíhá v několika fázích. Saze je možné v rámci procesu spalování ještě dále spálit, ale je nutné zajistit teploty nad cca 900 °C. Při poklesu pod 850 °C již většinou nedojde k opětovnému zápalu sazí a saze odcházejí se spalinami.

3.1 Spalování paliv v kotlích

Kotel je zařízení, ve kterém se teplo získané ze spalovacího procesu, případně teplo přivedené odpadními plyny, předává do pracovního média. V rámci spalovacího procesu dochází k uvolnění tepelné energie, která je dále využita dle konstrukčního řešení kotle pro zvýšení tepelného potenciálu vody resp. páry. Kotel je obvykle sestaven z následujících technologických souborů:

- **Spalovací zařízení** - ucelený soubor zařízení tj. zejména ohniště, hořáky, rošt, příprava a distribuce paliva, odstraňování tuhých zbytků atd.;
- **Ohniště** (spalovací komora) – vyhrazený prostor, ve kterém probíhá spalování paliva a ochlazování vystupujících spalin na požadovanou teplotu;
- **Ohřívák vzduchu** – ohřev spalovacího vzduchu;
- **Ohřívák napájecí vody** – teplosměnná plocha, součást tlakového systému, zajišťuje předání tepla spalin do napájecí vody;
- **Parní generátor** – soubor zařízení sestavený z tlakového systému a teplosměnných ploch, včetně výparníku, přehříváku, propojů, regulátorů teploty, vše zapojené v jeden celek. U horkovodních kotlů není.
 - **Výparník** - teplosměnná plocha, součást tlakového systému, zajišťuje předání tepla spalin obvykle s nejvyšší teplotou do pracovního média;



-
- **Přehřívák páry** - teplosměnná plocha, součást tlakového systému, zajišťuje předání tepla spalin do pracovního média pro jeho přehřátí. Většinou řešeno v několika částech;
 - **Přihřívák páry** - teplosměnná plocha, součást tlakového systému, zajišťuje předání tepla spalin do vratného pracovního média z turbíny pro jeho přehřátí na požadovanou teplotu.

Kotle lze dělit na dvě základní skupiny - parní a horkovodní. Vysoké výkony jsou v energetice zajišťovány ve většině případů parními kotli. Jejich konstrukce a materiálová vybavenost je náročnější právě kvůli přenosu vyšších výkonů na vyšších teplotních a tlakových úrovních.

Parní kotel je zařízení, které vyrábí tlakovou páru pro účely energetické, otopné nebo průmyslové. Obecně se sestává ze spalovacího zařízení s příslušenstvím a z parního generátoru. Součástí kotle je tzv. výzbroj zajišťující spolehlivý a bezpečný provoz. V opodstatněných případech může být část zařízení vynechána, např. kotle na odpadní teplo (utilizační) jsou většinou bez spalovacího zařízení. V parním kotli je zajištěna transformace chemické energie na tepelnou a její přenos do pracovního média tak, aby byly zajištěny podmínky pro vznik páry (změny skupenství). Přenos tepla ze spalin je zajištěn sáláním a konvekcí ve výměnících. Změna není izobarická a dochází tedy ke ztrátám při proudění a poklesu tlaku v systému. Nezbytné pro bezpečný a správný provoz je zajištění dostatečného přívodu a odvodu všech produktů spalování a nositelů energie.

Parní kotle jsou obvykle rozděleny:

- Podle použití (elektrárenské, teplárenské, spalovny, atd.);
- Podle paliva (tuhá, kapalná, plynná);
- Podle druhu ohniště (prášková, roštové, atd.);
- Podle pracovního média (voda, olej).

Parní kotle mají charakteristické parametry:

- Jmenovitá výkonnost – hmotnostní průtok páry, kterého musí kotel dosáhnout na výstupu při dodržení základních parametrů (tlak, teploty) a záručním palivu;
- Jmenovitý tlak;
- Jmenovitá teplota páry;
- Nejvyšší tlak páry (nejnižší tlak na PV);
- Nejvyšší teplota páry;
- Konstrukční přetlak (nejvyšší přetlak při jmenovité výkonnosti);
- Jmenovitá teplota napájecí vody;
- Druh a vlastnosti paliva;
- Způsob proudění vody v kotli.

Vybrané charakteristické parametry jsou obvykle realizovány ve standardizovaných úrovních.

Horkovodní kotel je zařízení, které slouží převážně v systému centralizovaného zásobování teplem. Kotel přivádí teplo do vratné větve vody otopné soustavy. Kotle jsou většinou konstruované jako strmotrubé, kombinované nebo průtočné a nejsou vybaveny přehřívákem a výparníkem. Výměňiková část je převážně sestavena z ohříváku vody. Podle úrovně maximálních topných teplot se kotel nazývá teplovodní (pod 110°C) a horkovodní (nad 110°C).



Kotle jsou obvykle rozděleny na:

- Skříňový (s roštovým ohništěm);
- Plamencový;
- Bubnový (většinou dvoububnový).

Definice charakteristických parametrů horkovodních kotlů převážně odpovídají charakteristickým parametrům parních kotlů jako např. jmenovitý tlak, jmenovitá teplota, druh paliva apod.

3.1.1 Používané techniky a postupy

Prostor, kde se průběžně spaluje palivo za účelem uvolnění tepla, se nazývá ohniště. Rozeznává se několik významných druhů ohnišť se svými specifickými vlastnostmi, což je diskutováno dále. Pro ohniště jsou zavedena četná porovnávací kritéria, podle kterých se ohniště posuzuje např. hlavní rozměry a tepelné toky. Mezi hlavní kritéria ohnišť lze řadit např.:

- Střední měrný tok do výhřevných ploch, který vyjadřuje poměr tepelného toku do výhřevných ploch ohniště vůči plochám ohniště [kW/m^2];
- Poměrné předané teplo do výhřevných ploch, které vyjadřuje poměr celkového tepelného toku do výhřevných ploch vůči teplu v palivu a teplu z recirkulace (bez tepla ve strusce a popílku);
- Měrné průřezové zatížení ohniště q_v [kW/m^2];
- Tvarový faktor ohniště – určení míry využití ohniště pro přenos tepla do pracovní látky;
- Zatěžovací číslo, což je měřítko intenzity přenosu a uvolnění tepla;
- Štíhlost ohniště.

Pokud je ohniště vhodně navrženo a správně funguje tak zajišťuje dokonalé průběžné spalování paliva s optimem vzduchu s nejvyšší možnou účinností. Produkty spalování by neměly zásadně snižovat provozní periodu a zároveň by měla být minimalizována produkce CO a NO_x. Správně provedené ohniště není zásadním způsobem citlivé na proměnnost paliva a vykazuje bezpečné a příznivé odezvy na regulační zásahy včetně stabilního hoření v celém výkonovém rozsahu kotle. Stěny ohniště dokonale odvádějí teplo, což je hodnoceno i dalším kritériem tzv. středním tepelným tokem do výhřevných ploch tak, aby bylo potlačeno měknutí popelovin. Nezanedbatelné jsou požadavky na těsnost ohniště, tuhost a odolnost vůči opotřebení.

3.1.1.1 Spalování pevných paliv v roštových ohništích

V roštovém ohništi se spaluje kusovité palivo v tzv. klidné vrstvě. Ohniště je sestaveno z vlastního spalovacího prostoru tj. dvě boční stěny, přední a zadní klenba, roštem na dně, palivovou násypkou a hradítkem, škvárovým jízkem, výsypkami, zařízením pro přívod a regulaci spalovacího vzduchu. Rošt je sestaven z nosné konstrukce, roštnic a u průmyslových kotlů se využívá hnací ústrojí.

Rošt musí zajistit vytvoření a udržení vrstvy paliva o požadované tloušťce a prodyšnosti s minimálním propadem zrn. Zároveň je důležitý optimální přívod spalovacího vzduchu. Na roštu probíhá postupné vysoušení, zahřátí a zápal paliva, hoření a vyhoření zrn, shromáždění tuhých zbytků. Rošt zároveň slouží jako regulační prvek výkonu kotle.

Rošty pro roštová ohniště jsou různorodých technologických provedení např. pevný rovinný rošt, pevný stupňovitý rošt, pohyblivý rovný rošt, pohyblivý šikmý rošt, přesuvný rošt, vrativý rošt. V roštových ohništích se obvykle dosahují výkony v rozmezí několika kilowat až cca 150 MWt a teploty cca 1 100 - 1 400 °C (lokálně 1 600 °C).

K výstavbě roštových ohnišť pro průmyslové využití spalování uhlí v současné době již prakticky nedochází. Přesto jsou roštová ohniště hojně využívána především z hlediska původních technologických



vybavení (lokální zdroje, vytopny). Renaissance výstavby roštových ohnišť je v současné době u spalování biomasy a především odpadů. Zde se jedná o dominantní technologii.

Mezi výhody roštových ohnišť lze zařadit:

- Necitlivost na nadrozměrné frakce a obsah nečistot v uhlí;
- V případě pevných roštů se jedná většinou o provozně odolné a jednoduché zařízení;
- Vyšší dosažené teploty spalování (až 1 400°C) a delší doba pobytu paliva ve vysokých teplotách.

Nevýhody roštových ohnišť lze spatřovat v:

- Nižším procentu účinnosti spalování, citlivosti na rozdělení vrstvy a prachové podíly;
- Většinově vyšší produkci emisí;
- Struskování;
- Zvyšující se složitosti zařízení při snaze zlepšit kvalitu spalování.

3.1.1.2 Spalování pevných paliv v práškových ohništích

Práškové ohniště bylo původně vyvinuto pro spalování prachových zbytků tříděného uhlí. Povrch prachového uhlí je 100 až 1000x větší než u uhlí použitého na roštu, částice uhlí mají tedy významně větší specifický povrch, čímž je zkrácena doba spalování. Časy spalování v práškovém ohništi jsou cca 0,5 až 2 s, na roštovém ohništi cca 10 až 20 min. V současnosti se v práškových ohništích spaluje rozemletý uhelný prášek ve vznosu v rozměru cca pod 1mm. Samotné mletí uhlí je nedílnou součástí výzbroje kotle a ve většině případů je spojeno se sušením paliva tzv. suškou. Přívod paliva do kotle je zajištěn pomocí nosného média prostřednictvím tzv. hořáků. Základní typy provedení hořáků jsou tzv. vířivý hořák, proudový hořák s vnějším přívodem sekundárního vzduchu a proudový hořák s vnitřním přívodem sekundárního vzduchu. Nosné médium může být např. vzduch, spaliny nebo směs vzduchu a spalin. V ohništi probíhá distribuce dalších vzduchů tzv. sekundární a terciální. Distribuce vzduchů, jejich členění a směry jsou závislé na zkušenostech jednotlivých výrobců a provozovatelů a jsou jedním z určujících prvků výsledně dosahovaných emisí. V současnosti se používají dva druhy ohniště tzv. granulační a výtavné. V případě výtavných ohnišť je většina popelovin zachycena v dolních partiích ohniště v prostoru určeném k jejich vytečení. Popeloviny jsou z paliva přímo vytaveny, zchlazeny a následně ve formě strusky odvedeny z ohniště. Na kotlích granulačních vzniká při spalování velmi jemný popílek, který je unášen spolu se spalinami. Většina popelovin cca 70 % není vytavena a jejich záchyt se realizuje v dalších partiích kotle, jako jsou výsyvky dalších tahů, filtrace, mokré a polosuché metody odsíření. Zbylé popeloviny se opět zachytávají ve spodních partiích ve formě škváry. Následným vývojovým stupněm práškových ohnišť jsou tzv. cyklónová ohniště. Cyklónová ohniště byla svým návrhem cílena na vytvoření ohniště s vírovým polem a vyšším tepelným zatížením tzn. menší obestavěný prostor. V cyklónových práškových ohništích se spaluje s nižším přebytkem vzduchu, obvykle je možnost spalovat frakce do 5 mm a dochází k vyššímu záchytu popelovin v ohništi. Očekávané efekty cyklónových ohnišť však nebyly dosaženy ve všech předpokladech.

Spalování a přenos tepla v práškových ohništích je z hlediska praktického návrhu ovlivněn:

- Počtem, výkonem a umístěním hořáků
- Geometrickým tvarem a rozměrem plamene hořáku
- Průběhem izotach, izoterm a dohoříváním v rámci rozsahu výkonů
- Vzájemným ovlivněním jednotlivých hořáků (spolupracujících/nespolutracujících)



Práškové kotle granulační a výtavné mají četná nasazení v teplárenských a elektrárenských provozech. Jsou to kotle s nejvyššími instalovanými výkony. Obecně je možné dosáhnout průtoků páry od 50 t/h do cca 1 600 t/h v ČR, v USA jsou zkušenosti až do 4 600 t/h. Tlakové úrovně jsou od nízkých 3 MPa do cca 25 MPa při provozních teplotách 1 100 – 1 500°C a výstupní teplotou páry cca 410 - 585°C.

U cyklónových ohnišť se pohybují parametry od 50 t/h do 3600 t/h průtoků páry, při tlakových úrovních od 3 MPa do cca 18 MPa, provozních teplotách 1 100 – 1 500°C a teplotách páry cca 410 - 585°C.

Výhoda práškových kotlů je především ve vysoké rychlosti spalování a dynamice kotle, v technologii vysokých výkonů ověřenou dlouhodobou praxí. Dále pak v některých případech v poměrně velkém zachytu popelovin do vody a v příznivých zkušenostech s optimalizací velikosti ohniště tzn. příznivá objemová zatížení ohnišť. Nevýhodou práškových ohnišť je citlivost na nerovnoměrnosti spalovacího procesu, poměrně vysoké hladiny NO_x a CO, citlivost na cizí předměty v palivu, nutnosti sušení a mletí.

3.1.1.3 Spalování pevných paliv ve fluidních ohništích

Fluidní spalování využívá efektů fluidizace známých např. z pseudopravních zařízeních. Na prodyšné (pórovité) přepážce je umístěn sypký materiál (palivo). Skrz prodyšnou přepážku protéká médium (vzduch, spaliny, plyn), které má významně nižší hustotu než je hustota materiálu. Při zahájení průtoku fluidizačního média je nejdříve materiál v klidu a médium prochází nad materiál prostřednictvím vytvořených pórů mezi jednotlivými částicemi. Zvyšováním průtoku resp. rychlosti vzrůstá odpor, ale materiál je stále nehybný až do dosažení určité meze, kdy se vyrovnají odporové síly s gravitací. Mezní stav se nazývá práh fluidizace a odpovídající rychlost prahová rychlost fluidizace. Po překonání mezního stavu, tedy dalším zvýšením rychlosti nad prahovou rychlost fluidace, se začnou částice vznášet v tekutině, promíchávat a směs materiálu a fluidizačního média má vlastnosti obdobné kapalinám. Je zde zřetelná vodorovná hladina, a fungují efekty, jako je vypouštění nebo hydrostatický tlak atd. Objem fluidní vrstvy při prahu fluidizace je větší než vrstvy nehybné, došlo k tzv. expandování. S dalším zvyšováním průtoku resp. rychlosti roste výška vrstvy a zvyšuje se její pórovitost a zmenšuje se její objemová koncentrace až do tzv. prahové rychlosti úletu. Při prahové rychlosti úletu začne fluidizační médium unášet částice z vrstvy a začíná transport materiálu (paliva). Oblast úletu částic při tzv. dopravě ve vznosu odpovídá práškovým kotlům a oblast nehybné vrstvy odpovídá roštovým kotlům. Fluidní spalování vykazuje nejvyšší efektivity přeměny energie a nejnižší produkce emisí ze spalování tuhých paliv. Jejich použití má široký rozsah - jakostní paliva, méně jakostní paliva, odpady. V častých případech je využití jedné technologie z hlediska paliv širokopásmové. Fluidní spalování výhodně využívá vysoké hodnoty přenosu tepla a hmoty. V průběhu fluidizace dochází k intenzivnímu provzdušnění a promíchávání spalované směsi.

U fluidního ohniště se s výhodou využívá suché metody odsíření přímo ve fluidní vrstvě, kdy jsou za určitých teplotních a aerodynamických režimů vhodné podmínky pro silnou reakci odsíření CaO a SO₂. Původní fluidní kotle byly řešeny pouze pro intenzifikaci spalovacího procesu a docházelo k deformaci popelovin. Současné fluidní kotle jsou ve většině případů konstruovány pro neškvářující popeloviny, tzn. vysoké vychlazení fluidní vrstvy. Fluidní vrstva ohniště je složena z inertního materiálu, paliva a aditiva.

Ohniště se stacionární fluidní vrstvou pracuje při nižších rychlostech fluidizace a s větší granulometrií paliva. Mají jasně ohraničenou fluidní vrstvu. Využití je především při spalování méně jakostních paliv a biomasy. Obvyklé provedení ohniště je s ložovými hady tj. výparníkem do fluidní vrstvy, což zajišťuje neškvářování. Průřez ohniště může být rovnoměrný nebo rozšiřující se s rostoucí výškou. Na stacionárním fluidním ohništi je možné dosáhnout průtoků páry 8t/h do 450 t/h, při tlakových úrovních 1,3 MPa do cca 13 MPa a teplotách 250 - 550°C. Provozní teploty ve vrstvě fluidního ohniště jsou běžně v rozsahu 800 - 900°C.

Ohniště s cirkulující fluidní vrstvou pracuje při vyšších rychlostech fluidizace a s nižší granulometrií paliva. Často na hranici pseudopravního transportu. Mají silně expandovanou cirkulující vrstvu, která je v oblasti



ohniště více koncentrovaná. Využití z hlediska paliv je širokopásmové. Obvyklé provozní řešení je na úrovni pod škvárováním popelovin. Průřez ohniště bývá zpravidla rozšiřující se s rostoucí výškou. Společným znakem kotlů bývají cyklóny, kde dochází k odloučení těžkých částic a návratu zpět do vrstvy, cirkulace se pohybuje mezi 10 až 15 cykly. Na kotlích s cirkofluidním ohništěm se dosahuje průtoků páry od 35 t/h do 700 t/h, při tlakových úrovních 2,6 MPa do cca 21 MPa a teplotách 350 - 550°C. Provozní teploty ve vrstvě fluidního ohniště jsou běžně v rozsahu 800 - 900°C.

Obecnou výhodou fluidního spalování je vysoká efektivita vlivem intenzivního přenosu tepla a hmoty se současným využitím suché aditivní metody odsíření přímo ve fluidním loži. Efektivní spalovací proces při současném vysokém procentu využití paliva vykazuje nízkou emisní produkci. Odsíření přímo v ohništi minimalizuje požadavky na ochranu kotle před vlivem kyselých složek. V případě vyšších nároků na účinnost odsíření je nutná dodávka vyššího přebytku aditiva než v případě mokrych a polosuchých metod. Fluidní technologie zpravidla vykazuje vyšší energetické náročnosti provozu kotle ve srovnání s rošty, je nezbytné zajistit fluidaci vrstvy. Fluidní vrstva působí abrazivně na exponované teplosměnné plochy a vyzdívky. Další přidružené energetické nároky provozu kotle se mohou vyskytovat z technologických systémů odvodu popelovin.

3.1.1.4 Specifika spalování biomasy

Spalování biomasy musí být vhodně uzpůsobeno pro využití paliva s velkým obsahem prchavé hořlaviny a minimem popelovin. Plamen prchavé hořlaviny je oproti uhlí převážně v prostoru nad palivem – odplynění a hoření. Biomasa, především štěpka, je nízkovýhřevné palivo většinou s tvary s jedním převládajícím rozměrem, což musí být zohledněno při dimenzování všech dopravních cest kotle. Ohniště pro biomasu se využívají jak roštová, tak fluidní. V případě použití fluidních kotlů je nutné disponovat zásobou inertního materiálu pro provoz kotle. Popel ze spalování biomasy je vysoce abrazivní a často proměnný (z hlediska teplot tavení) podle druhu biomasy. Biomasové kotle dosahují průtoku páry od 12 t/h do 380 t/h. Tlakové úrovně páry jsou obvykle od 2,7 MPa do cca 9,2 MPa a výstupní pára je v rozsahu teplot cca 300 - 550°C.

3.1.1.5 Spalování kapalných paliv

Základní podstata spalování kapalných paliv není výrazně odlišná od práškových kotlů. Ohniště je vybaveno hořáky pro spalování kapalných paliv. Hořák zajišťuje distribuci paliva a spalováním ohništěm. Řešení ohniště je obdobné řešení granulačních kotlů a cyklónových kotlů. Využívají se olejové hořáky s tlakovým rozprašováním (2 - 7 MPa) tzv. atomizace. Existují i řešení, která mají hořáky umístěné na stropu kotle. Výhodou kapalných paliv bývala snadná těžba, jednoduchost zařízení, skladování a obsluhy. Kapalná paliva dosahují obvykle vyšších výhřevností než tuhá paliva. Odpadá ztráta citelným teplem (v tuhých zbytcích), lze spalovat s nižšími přebytky vzduchu (tedy nižší komínová ztráta). Nepříznivé z hlediska komínové ztráty jsou vyšší teploty spalin, což je ochrana proti kondenzaci kyselých složek spalin. Popeloviny jsou prakticky tvořeny nasátým prachem spalovacího vzduchu a případnými mechanickými nečistotami paliva, což v praxi znamená minimalizaci popelového hospodářství a vyšší rychlosti spalin pro vhodnější zajištění konvekce do teplosměnných ploch. Pro heterogenní hoření je rozhodující měrný povrch resp. rozměr kapiček (pod 200 μm, obvykle 30 - 50 μm). Plamen kapalných paliv vykazuje vysokou sálavost a vysoké měrné tepelné zatížení stěn, což způsobuje jiné rozdělení tepla v kotli oproti spalování tuhých paliv. Obvykle se vytváří menší plocha výparníků a větší plocha přehříváků. Plamen musí zajistit dokonalé vyplnění ohniště, bez místních zásahů do chladných stěn jinak dochází k místnímu přetížení a tvorbě sazí. Provedení hořáků obvykle uděluje kapalnému palivu tangenciální směry výstupních rychlostí, které podporují jemné rozprášení. Součástí hořáků je obvykle vybavenost pro recirkulaci paliva, která zajišťuje široký regulační rozsah, v některých případech je regulační rozsah 20 – 100 %. Účinnosti spalování se běžně dosahují nad 90 %. Na kotli pro spalování kapalných paliv je



dosahováno průtoku páry od 25 t/h do 670 t/h , některé instalace až 855 t/h. Tlakové úrovně páry jsou obvykle od 1,3 MPa do cca 14 MPa a výstupní pára je v rozsahu teplot cca 300 - 550°C.

3.1.1.6 Spalování plyných paliv

Základní podstata spalování plyných paliv není výrazně odlišná od kotlů na kapalná paliva, ohniště je vybaveno hořáky pro spalování plyných paliv. Řešení ohniště je obdobné řešení granulačních kotlů a cyklónových kotlů bez popelového hospodářství. Využívají se dva druhy hořáků směšovací (směs vzduchu a plynu v hořáku) a proudový (směs vzduchu a plynu v až v ohništi). Z hlediska tlakové úrovně se využívají hořáky ejektorové (jednoduché) a hořáky tlakovzdušné (konstantně vyšší tlak vzduchu a nižší tlak plynu). Výstupní rychlosti z hořáků se pohybují na hodnotách 150 - 200 m/s. Výhodou plyných paliv je obvykle dostupnost, jednoduchost technologických zařízení, většinou bez skladování a s minimem obsluhy. Kotle jsou rychle použitelné. Plyná paliva vysokovýhřevná jako je zemní plyn, koksárenský plyn, dosahují obvykle vyšších výhřevností než tuhá paliva. Odpadá ztráta citelným teplem tj. v tuhých zbytcích a lze spalovat s nižšími přebytky vzduchu tedy s nižší komínovou ztrátou. Znečištění je prakticky ve většině případů pouze nasátým prachem spalovacího vzduchu. Kotle na vysokovýhřevné plyny jsou konstruovány pro vysoká měrná tepelná zatížení. Plamen musí zajistit dokonalé vyplnění ohniště, bez místních zásahů stěn chladných stěn (místní přetížení a saze). Hořáky zajišťují obvykle široký regulační rozsah, v některých případech je regulační rozsah 10 – 100 %. Účinnost kotlů pro plyná paliva dosahuje nad 95 %. Na kotli pro spalování plyných paliv je dosahováno průtoku páry od 14 t/h do 380 t/h. Tlakové úrovně páry jsou obvykle od 1,3 MPa do cca 14 MPa a výstupní pára je v rozsahu teplot cca 300 - 550°C. Instalace plyných domovních plynových kotlů vykazují tepelné výkony několika kilowat.

3.1.1.7 Výměňiková část kotlů

Samostatná kapitola je věnována výměňikové části kotlů s ohledem na důležitost této části kotle na emisní parametry kotle. Nesprávně navržená výměňiková část může způsobit i problémy s optimálním spalováním např. špatný odvod tepla a nutnost z tohoto důvodu spalovat palivo, s vyšším přebytkem vzduchu.

Výměňik je zařízení, které slouží k předávání tepelné energie pomocí proudících teplotných médií. V prostředí kotle se jedná o tlakovou část, jejíž dimenzování podléhá přísné pevnostní a bezpečnostní analýze. Jakékoliv poškození má za důsledek minimálně odstavení kotle. Dimenze výměňiků je volena s ohledem na účinnost přenosu tepla, s ohledem na ztráty a s ohledem na spolehlivost. Hlavní technologie výroby je svařování, případně kování a jako materiál se používají kvalitní legované oceli. Při běžném provozu kotle dochází ke kolísání teplot, jedná se o změny rychlé i pomalé. Především rychlé změny vyvolávají nestacionární pnutí v tlakových celcích. Pomalé ohřevy z praktického hlediska ovlivňují tzv. tečení materiálu. Parní kotle jsou v rámci tlakového celku vybaveny:

- **Výparníkem**, kde se z napájecí vody kotle tvoří sytá pára. Výparník je pouze u parních kotlů. Funkční částí jsou trubky tzv. varnice, kde se předává teplo k odpaření. Časté je využití stěn kotle jako části výparníku tzv. membránové stěny. Součástí může být i buben, zavodňovací trubky atd. Ve výparníku se musí vyrobit pára v množství odpovídající výkonu kotle. Zajištění průtoku je realizováno nuceným oběhem (čerpadlem) nebo přirozeně (termosifónový účinek).
- **Bubnem**, jež u velkoprostorových kotlů tvoří rozdělovací plochu mezi párou a vodou. Buben je umístěn mimo průtahy a ohniště. Do bubnu vede i napájení a z bubnu odluh kotle. Jeho funkce je dnes v pohotovostní zásobě vody v kotli a čištění páry. K bubnu je připojen manometr a vodoznak, spojovací potrubí pro pojistné ventily a odvzdušnění. Průtočné kotle jsou vybaveny pouze odlučovákem vlhkosti (částečná funkce bubnu).
- **Přehřívákem**, který zajišťuje přehřátí vyrobené páry a snižuje vlhkost páry po expanzi v turbíně. Přehřátím páry se zvyšuje účinnost cyklu a je jednoznačná tendence na její neustálé zvyšování.



Opět je u přehříváku kladen důraz na stabilitu teploty, v případě kolísání je zatěžován výměník. Přehříváky se realizují ve třech konstrukčních provedeních – svazkové, deskové (šoty) a stěnové.

- **Přehřívákem**, jež zajišťuje opětovné přehřátí již částečně expandované páry. Provádí se teplem ze spalin, nebo teplem z ostré páry. Přehříváním se zlepšuje účinnost tepelného cyklu tzv. carnotizace a omezuje se expanze do oblasti mokré páry.
- **Ohřívákem vody**, který složí k ohřevu napájecí vody, snížení teploty spalin a zvýšení účinnosti kotle, tzv. ekonomizér. V současnosti vlivem zvyšování parametrů vstupní vody se posunuly i provozní teploty ekonomizéru a pro dostatečné dochlazení spalin se dále využívá ohřívák vzduchu.
- **Ohřívák vzduchu** je využit k urychlenému sušení paliv, snížení komínové ztráty, zlepšení vzněcování a hoření paliva a k zvýšení spalovací teploty ohništi.

Veškeré výměňkové části **úzce a neoddělitelně** souvisí s **provozem kotle a s účinnou konverzí energie**. Je zřejmé, že i sebelepší a správně zrealizovaný spalovací proces v ohništi může být významně znehodnocen na výměňkové části kotle a kotel je následně provozován mimo optimální provozní rozsahy nebo nuceně v pásmech s nižší účinností.

3.1.1.8 Související činnosti

Pomocné technologie jsou zařízení a provozní soubory, které nejsou přímou součástí vymezeného spalovacího a spalinového prostoru kotle, ale které zajišťují:

- Provoz kotle z hlediska provozuschopnosti, bezpečnosti, rozsahu regulace apod.
- Provoz dalších technologických celků výroby tzn. odběratelů páry z kotle
- Efektivní spalování, výrobu páry a přeměnu energie pomocí řídicích systémů, měření a regulace, distribuce apod.
- Z hlediska provozních náplní jako je např. doplňovací stanice, úprava vody.

Jednou z nejvýznamnějších pomocných technologií, jejíž výsledek a správná funkce významně ovlivňuje kvalitu a bezpečnost spalovacího procesu, je příprava a skladování paliva. V častých případech je příprava paliva nedílnou součástí výzbroje kotle např. u práškových kotlů. Úloha skladování paliva je především ve vytvoření retenční kapacity pro provoz kotle a tzv. homogenizace paliva pro zajištění přibližně stejné kvality vstupní palivové směsi. Tyto činnosti mohou mít poměrně výrazný vliv na kvalitu ovzduší, především tam, kde ke snižování prašnosti nejsou přijímána žádná technická nebo organizační opatření. Běžná praxe manipulace s palivem na skládce je znázorněna na následujícím obrázku.



Obr. Manipulace s uhlím na skládce teplárny - haldování



Příprava paliva obvykle spočívá v zajištění správné zrnitosti paliva, v častých případech i v předsušení paliva. Pro fluidní kotle se požadovaná zrnitost zajišťuje drtiči, práškové kotle využívají mletí. S výhodou se v přípravě paliva využívá také třídíče, který snižuje zatížení drtiče nebo mlýnu a zároveň umožňuje oddělení, přesné vymezení a distribuční rozložení požadovaných zrnitostních frakcí do spalovacího procesu. Náročnost drcení, mletí a přípravy paliva, především u práškových kotlů, vykazuje vysoké energetické nároky. Energetické nároky jsou přímo spojeny s kvalitou spalovacího procesu, například jemnější mletí může zlepšit kvalitu a rychlost hoření, ale zároveň je nutné dodat vyšší mlecí práci okruhu pro získání jemnějšího zrna. Určuje se tzv. ekonomická jemnost prášku. Práškové kotle v častých případech využívají před mletím sušení paliva. Vysušením paliva se zvyšuje výhřevnost paliva a snižuje se úroveň dodávky tepla do kotle zajišťující odpaření vody z paliva. Přímo je tedy ovlivněna teplota spalování a účinnost kotle. Způsob provedení sušení paliva v práškových kotlích vykazuje rozdílné přístupy v závislosti na druhu paliva, obsahu vlhkosti a popela, spalovacích teplotách atd. Pro sušení paliva do práškových kotlů je možné využívat vzduch, horké spaliny, studené spaliny, směs vzduchu a spalin. Ve všech případech je zřejmé, že sušení a příprava zrnitosti zasahuje do bilance kotle a správnost jeho provedení ovlivňuje celý spalovací proces kotle a produkci emisí.

Regulace kotle je další pomocnou technologií, která významným podílem může ovlivňovat spalovací proces. Obecně regulace kotle zajišťuje optimální a účinný provoz, s nižším rozsahem lidské obslužnosti. Regulací se dosahuje udržení parametrů v požadovaných mezích, zvýšení životnosti zařízení a ochrany vůči abnormálním stavům. Nastavení regulace kotle je ovlivněno dynamickými vlastnostmi kotle, jako je např. dynamika průtoku, dynamika akumulace tepla apod. Regulace kotle tedy přímo ovlivňuje kvalitu a kvantitu výstupní páry, kvalitu spalovacího procesu, kvalitu a správnost plnění emisních limitů apod. Správnost nastavení regulačních zásahů a součinná provázanost nastavení jednotlivých dílčích regulačních uzlů kotle s minimem lidské obslužnosti je jedním ze základních primárních opatření na spalovacím procesu kotle. V současné době existují nadřazené řídicí systémy, které je možné za určitých podmínek implementovat nad dílčí regulační uzly kotle a zajistit jejich optimální provázanost se spalovacím cyklem. S výhodou se v některých případech implementace nadřazeného řídicího systému



využívá i monitoring rozložení spalovacího procesu v reálném čase spolupracující s prediktivním validačním matematickým výpočtovým modelem spalovacího procesu. Implementovaný nadřazený řídicí systém zajišťuje provázané a součinně spolupracující optimální nastavení všech akčních parametrů spalovacího procesu kotle, případně výroby. Praktické zkušenosti po implementaci nadřazených řídicích systémů vykazují např. možné snížení produkce NO_x v rozsahu 5 až 20 % bez strojního zásahu do kotle.

Další související činností, která má, resp. může potenciálně mít, vliv na vnější ovzduší je skladování přídatných činidel (např. látek na bázi močoviny pro snižování emisí NO_x nebo vápenných směsí pro snižování emisí SO₂) a skladování produktů spalování, především popílku. Skladování těchto hmot probíhá převážně v uzavřených silech a vliv těchto činností na vnější ovzduší je za běžných podmínek zanedbatelný.

3.1.2 Techniky snižování emisí do ovzduší³⁾

Následující kapitoly se zaměřují především na snížení emisí SO₂, NO_x a TZL. Koncentrace CO závisí na kvalitě resp. dokonalosti provedení spalovacího procesu a její snižování je zajišťováno především zásahy přímo ve spalovacím procesu.

3.1.2.1 Primární techniky ke snižování emisí

Primární (preventivní) techniky pro obecné použití, aplikovatelné pro všechny relevantní stacionární zdroje:

- školení, vzdělávání a motivace pracovníků na všech úrovních;
- optimalizace řízení procesů;
- zajištění dostatečné preventivní údržby;
- systém environmentálního managementu (ISO 14001, EMAS) s jasně definovanými odpovědnostmi, pracovními pokyny a detailně popsány postupy, které mohou ovlivnit kvalitu ovzduší;
- dodržování technologické kázně a předepsaných pracovních postupů a systém kontroly jejich dodržování;
- sledování emisí (v rámci možností daných procesů, tj. vyhodnocení údajů z měření případně např. z emisních bilancí pomocí emisních faktorů u fugitivních emisí) a navrhování opatření k jejich omezení.

Mezi primární specifické techniky ke snižování emisí TZL patří:

- použití plynného nebo kapalného paliva na místo pevného paliva;
- omezení operací se sypkými látkami ve venkovním prostředí na minimum;
- uzavření zařízení prašných procesů, jako je drcení, mletí, prosévání a mísení;
- užití cirkulačních procesů v systémech vzduchové potrubní dopravy;
- manipulace s materiálem v uzavřených systémech v podtlaku a odprašování nasávaného vzduchu;
- odsávání vzdušiny s obsahem prachu z procesů, manipulací a skladů, tak, aby nedocházelo k fugitivním emisím.

Konkrétními způsoby, jak naplnit výše uvedené primární techniky, mohou být např. užití multiprachy jako paliva (palivo je přepravováno a skladováno v uzavřených systémech a odpadají emise z manipulace a

³⁾ mezi hlavní zdroje informací patří: Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách pro velká spalovací zařízení, Příručka ochrany kvality ovzduší a informace od výrobců odlučovacích zařízení, viz kapitola 5 Použité zdroje



skladování paliva) nebo např. haldování paliva pomocí teleskopických hubic. Pomocí tohoto haldování lze snížit koncentrace prachu oproti stávajícímu násypu z dopravníku v bezprostřední blízkosti místa dopadu uhlí (do 25 m po směru větru) 4x až 7,7x.

Mezi primární specifické techniky ke snižování emisí oxidů síry patří

- použití paliv s nízkým obsahem síry (obsah síry a jejích sloučenin do 0,1 % hm);
- suchá metoda odsíření ve fluidním loži - využívá teplotních provozních oken kotle s optimální teplotou reakce aditiva. Současně je odsíření intenzifikováno vlivem fluidizace. Jako aditivum pro fluidní odsíření kotle se používá drcený vápencem většinou jemnosti mletí 4 až 7. V kotli proběhne kalcinace vápence a následná reakce CaO s SO₂ na CaSO₄. Účinnost metody odsíření ve fluidním loži se pohybuje v rozsahu 70 – 95 % v závislosti na typu fluidního kotle, kvalitě odsiřovacího procesu a spalovaném palivu.

Mezi primární specifické techniky ke snižování emisí oxidů dusíku patří:

- použití speciálních hořáků (např. lowNOx) a specifických podmínek spalování;
- postupný přívod vzduchu a paliva;
- snížení přebytku vzduchu;
- přerozdělení prášku - jemnější frakce do horních pater;
- snížení maximální spalovací teploty;
- zkrácení doby setrvání v nejvyšší teplotě (kratší plamen, změny hořáků);
- zpomalení mísení paliva se vzduchem;
- zlepšení rovnoměrnosti spalovacího procesu;
- řízení spalovacího procesu.

Tato primární opatření se obvykle uplatňují jako komplex řešení.

3.1.2.2 Sekundární techniky ke snižování emisí

Mezi sekundární techniky ke snižování emisí oxidů síry ze spalování paliva patří

- mokré odsíření - dochází k neutralizaci kyselých složek pomocí zásaditých složek sorbentu. Optimum teplot je cca 60°C. Spaliny s vysokým obsahem SO₂ procházejí přes reaktor, kde je směs vody a vápencové směsi. Po průchodu přes reaktor jsou spaliny dále ohřívány ve spalínovém výměníku, aby nedošlo ke kondenzaci par v komíně. Výsledný produkt odsíření je CaSO₄. Účinnost odsíření mokré metody se pohybuje v rozsahu 90 - 95 %. Kromě zachytu SO₂ dochází k zachytu HCl (cca 90 %), HF a NOx (10 %);
- polosuché odsíření - vodní suspenze sorbentu je rozprašována do proudu spalin. Nastává obdobná reakce s kyselými složkami jako u mokré vápencové vypírky. Sorbentem bývá pálené vápno nebo hydroxid vápenatý. Suspenze se odpaří a v odlučovači se odloučí tuhá část produktu odsíření ze spalin. Variantnost provedení polosuché metody spočívá především ve směru vstřiku, v provedení odlučovače a způsobu rozprašování. V průběhu odsíření probíhají následující pochody: tvorba vápenného mléka, absorpce, oxidace, výsledný tuhý produkt. Účinnost metody se pohybuje v rozsahu 80 - 90 %, u elektroodlučovačů je maximální účinnost nižší cca o 10 %. Kromě zachytu SO₂ dochází k zachytu HCl a HF;
- suché odsíření - odsiřování jemně mletým vápencem nebo hydrátem v kotlích resp. ve spalínových tazích. Pro funkčnost metody je důležitá velmi vysoká jemnost mletí cca pod 60 μm, tak aby byl vytvořen vysoký reakční povrch. Přesto metoda vykazuje nízkou účinnost cca do 60 %.



Mezi sekundární techniky ke snižování emisí oxidů dusíku ze spalování paliva patří

- SNCR - selektivní nekatalytická metoda, která využívá vstřik redukčního činidla (obvykle amoniak nebo močovina) do spalin;
- SCR - selektivní katalytická metoda, která využívá vstřik redukčního činidla, zpravidla NH_3 do spalin a následnou intenzivní redukci na katalyzátoru.

Mezi sekundární techniky ke snižování emisí tuhých znečišťujících látek ze spalování paliva patří

- odstředivé odlučovače - v odstředivém odlučovači jsou částice prachu odstraňovány z proudu odpadních plynů tak, že jsou unášeny odstředivou silou proti vnější stěně odlučovače a potom jsou odváděny otvorem ve spodní části odlučovače. Odstředivá síla může vzniknout řízeným spirálovitým pohybem plynu směřujícím dolů válcovou nádobou (cyklónové odlučovače) nebo otáčivým pohybem rotoru umístěným v zařízení (mechanické odstředivé odlučovače). Účinnost cyklonů a multicyklonů se udává v širokém rozmezí 60 – 95 %. Dobře provozovaný moderní odlučovač by měl být schopen dosáhnout emisní koncentrace do 50 mg/m^3 , v náročných podmínkách do 75 mg/m^3 , případně do 150 mg/m^3 TZL;
- tkaninové filtry - v tkaninových filtrech procházejí vypouštěné plyny filtračním vakem tak, že částice prachu jsou zachycovány na vnější ploše filtru ve formě filtračního koláče. Účinnost odloučení částic s odpadního vzduchu u této techniky je větší než 99 % - podle velikosti částic. Regenerace je vykonávána např. pulzním tlakem z vnitřní strany hadice nebo zpětným proplachem atmosférickým vzduchem. U moderních odlučovacích jednotek může docházet k profiltrování odpadního vzduchu a k vracení vyčištěného vzduchu zpátky do vnitřních prostor. Dobře provozovaný tkaninový filtr by měl být schopen dosáhnout emisní koncentrace do 10 mg/m^3 , v náročných podmínkách do 30 mg/m^3 TZL;
- elektrostatické odlučovače - u elektrostatických odlučovačů procházejí odpadní plyny komorou se dvěma elektrodami. Na první elektrodu je připojeno vysoké napětí (až 100 kV). Tato elektroda ionizuje sloučeniny v odpadních plynech. Vytvořené ionty se zachycují na částech prachu v odpadních plynech, a následkem toho získají tyto částice elektrický náboj. Elektrostatické síly odpuzují nabitě částice prachu z první elektrody a přitahují je k druhé, na které jsou zachyceny. Tak dochází k odstranění částic prachu z proudu znečištěného plynu. Účinnost odloučení částic s odpadního vzduchu u této techniky je větší než 99,5 %, a to včetně jemných částic. Dobře provozovaný elektrostatický odlučovač by měl být schopen dosáhnout emisní koncentrace do 20 mg/m^3 , v náročných podmínkách do 30 mg/m^3 TZL.

Mezi sekundární techniky ke snižování emisí tuhých znečišťujících látek ze souvisejících činností patří:

- tkaninové filtry instalované na výduchy sil ke skladování vstupních aditiv nebo výstupních surovin (popílek, apod.). Dobře provozovaný tkaninový filtr by měl být schopen dosáhnout emisní koncentrace do 10 mg/m^3 ;
- vodní zkrápění a mlžení na skládce paliva – tam, kde nelze technologické procesy a uzly uzavřít a odsávat, nebo tam, kde dochází k fugitivním emisím v otevřených venkovních prostorech, lze efektivně využívat vodní skrápěcí zařízení (stěny, trysky, apod.), rozprašování či mlžné stěny. Zkrápěním a vytvořením mlžných stěn lze snížit emise tuhých znečišťujících látek o 50 až 90 % v závislosti na velikosti částic;
- průmyslové vysavače - vhodným doplňkovým opatřením ke snížení emisí tuhých znečišťujících látek je instalace průmyslových vysavačů ve vnitřních prostorech (např. podzemní zásobníky uhlí), které slouží k odstranění usazených pevných částic a zabránění opětovného vznosu tuhých znečišťujících látek do ovzduší. Touto technikou lze snížit emise tuhých znečišťujících látek o 4 až 15 % v závislosti na četnosti vysávání.



3.1.3 Dosahované emisní úrovně

Dosahované emisní úrovně byly analyzovány s využitím dat Registru emisí a stacionárních zdrojů, který je součástí Informačního systému kvality ovzduší vedeného podle § 7 odst. 1 zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů (pro rok 2014).

V databázi REZZO z roku 2014 je jmenovitě evidováno 7 809 kotlů o jmenovitém tepelném příkonu od 0,3 do 5 MWt (dalších 4 879 je evidováno v rámci zjednodušeného ohlašování bez uvedených dalších údajů o stacionárních zdrojích).

U 468 kotlů ze skupiny 7 809 kotlů je evidováno měření hmotnostní koncentrace SO₂. Emisní koncentrace do 10 mg/m³ jsou logicky obvykle naměřeny při spalování plyných paliv, topných olejů a biomasy. První pevná fosilní paliva se objevují až v intervalu koncentrací 100 až 200 mg/m³. Naopak v intervalech nad 500 mg/m³ se vyskytují téměř výlučně pevná fosilní paliva. Nejpočetnější skupinu tvoří skupina kotlů na pevná paliva, kde jsou naměřeny emisní koncentrace SO₂ v intervalu 1000 - 4000 mg/m³, přičemž platí, že všechny naměřené koncentrace se pohybují do hodnoty 2 700 mg/m³ s výjimkou dvou kotlů Carborobot PV300 a PV180, kde emisní koncentrace dosahují hodnoty 3 539 mg/m³.

U 774 kotlů ze skupiny 7 809 kotlů je evidováno měření hmotnostní koncentrace TZL. Emisní koncentrace do 10 mg/m³ jsou logicky obvykle naměřeny při spalování plyných paliv a topných olejů, ale i v této skupině kotlů se objevují kotle na pevná paliva (biomasu i uhlí). Dvě podobně početné skupiny tvoří skupiny kotlů, kde jsou naměřeny emisní koncentrace TZL v intervalech 50 - 100 mg/m³ a 100 - 200 mg/m³. Až na 5 výjimek se naměřené koncentrace vždy pohybují pod hranicí 250 mg/m³, což je hodnota emisního limitu pro TZL pro tuto skupinu zdrojů (spalujících pevná paliva).

U 4 421 kotlů z této skupiny je evidováno měření hmotnostní koncentrace NO_x. Emisní koncentrace do 100 mg/m³ jsou logicky nejčastěji naměřeny při spalování plyných paliv a topných olejů, ale i v této skupině kotlů se objevují kotle na pevná paliva (biomasu i černé a hnědé uhlí). Dvě podobně početné skupiny tvoří skupiny kotlů, kde jsou naměřeny emisní koncentrace NO_x v intervalech 50 - 100 mg/m³ a 100 - 200 mg/m³. U dvou kotlů se naměřené koncentrace pohybují okolo 2 000 mg/m³, všechny ostatní koncentrace v intervalu nad 1000 mg/m³ jsou nižší, než 1 650 mg/m³.

U 3 642 kotlů z této skupiny je evidováno měření hmotnostní koncentrace CO. Emisní koncentrace do 20 mg/m³ jsou naměřeny prakticky výlučně při spalování plyných paliv a topných olejů. Jiná paliva se zde objevují velmi sporadicky. Až ve skupině kotlů s naměřenými koncentracemi v intervalu 100 - 200 mg/m³ se častěji objevují kotle na spalování pevných fosilních paliv a biomasy. U dvou kotlů se naměřené koncentrace CO pohybují nad hodnotou 4 000 mg/m³, okolo 5 000 mg/m³.

Pro těkavé organické látky nemají kotle nastaveny emisní limity a jednorázová měření jsou proto dostupná pouze na několika zdrojích, které nevytvářejí dostatečně reprezentativní vzorek.

Dosahované emisní koncentrace jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. - Emisní koncentrace kotlů o jmenovitém tepelném příkonu od 0,3 do 5 MWt

	Intervaly naměřených hmotnostních koncentrací						
	do 10 mg/m ³	10 - 50 mg/m ³	50 - 100 mg/m ³	100 - 200 mg/m ³	200 - 500 mg/m ³	500 - 1000 mg/m ³	1000 - 4000 mg/m ³
TZL	81	172	216	235	70	-	-
SO₂	86	89	17	20	16	34	206
NO_x	47	517	1 469	1 872	428	77	11
CO	1 520	1 127	352	100	314	204	23

Zdroj: REZZO 2014



V databázi REZZO 2014 je jmenovitě evidováno 2 180 kotlů o jmenovitém tepelném příkonu mezi 5 a 50 MWt.

U 353 kotlů ze skupiny 2 180 kotlů je evidováno měření hmotnostní koncentrace SO₂. Emisní koncentrace do 200 mg/m³ jsou logicky obvykle naměřeny při spalování plyných paliv, topných olejů a biomasy. První pevná fosilní paliva se objevují až v intervalu koncentrací 200 až 500 mg/m³. Naopak v intervalech nad 500 mg/m³ se vyskytují téměř výlučně pevná fosilní paliva (s výjimkou občasných těžkých topných olejů). 110 kotlů dosahuje emisních koncentrací vyšších, než 1 500 mg/m³. Veškeré emisní koncentrace současně dosahují hodnot nižších než 2 500 mg/m³.

U 331 kotlů ze skupiny 2 180 kotlů je evidováno měření hmotnostní koncentrace TZL. Na rozdíl od kotlů ve skupině s menším jmenovitým tepelným příkonem je u těchto kotlů v intervalu emisních koncentrací do 10 mg/m³ hojně zastoupena skupina kotlů na spalování pevných paliv. Nízkých koncentrací je zde dosahováno především díky instalaci tkaninových filtrů. Některý ze způsobů snižování emisí TZL je koneckonců využíván prakticky na všech kotlích v této skupině, které spalují pevná paliva. Ve skupině kotlů, kde emisní koncentrace TZL překračují 50 mg/m³ jsou zastoupeny především suché mechanické odlučovače (např. cyklony). Nejvyšší emisní koncentrace (nad 150 mg/m³) jsou dosahovány při spalování biomasy a využití méně účinných odlučovačů (např. výše uvedených cyklonů). Všechny naměřené emisní koncentrace jsou nižší, než 250 mg/m³.

U 1 505 kotlů z této skupiny je evidováno měření hmotnostní koncentrace NO_x. Emisní koncentrace do 200 mg/m³ jsou nejčastěji naměřeny při spalování plyných paliv a topných olejů (téměř výlučně). Nad 200 mg/m³ se naopak vyskytují převážně pevná paliva. Všechny naměřené emisní koncentrace se pohybují pod 650 mg/m³ s výjimkou jediného kotle, u kterého se naměřené koncentrace pohybují ve výši 1 178 mg/m³ (vzhledem k tomu, že se jedná o plynový kotel, patrně se jedná o chybu v evidenci).

U 1 309 kotlů z této skupiny je evidováno měření hmotnostní koncentrace CO. Emisní koncentrace do 10 mg/m³ jsou naměřeny prakticky výlučně při spalování plyných paliv a topných olejů. Jiná paliva se objevují až ve skupině kotlů s naměřenými koncentracemi v intervalu 10 - 50 mg/m³. Všechny naměřené emisní koncentrace CO se pohybují pod 650 mg/m³. Nad emisními koncentracemi ve výši 400 mg/m³ se vyskytují převážně kotle pro spalování biomasy. Nad hodnotou 500 mg/m³ se vyskytuje 13 kotlů.

Pro těkavé organické látky nemají kotle nastaveny emisní limity a jednorázová měření jsou proto dostupná pouze na několika zdrojích, které nevytvářejí dostatečně reprezentativní vzorek.

Dosahované emisní koncentrace jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. - Emisní koncentrace kotlů o jmenovitém tepelném příkonu v intervalu 5 až 50 MWt

	Intervaly naměřených hmotnostních koncentrací						
	do 10 mg/m ³	10 - 50 mg/m ³	50 - 100 mg/m ³	100 - 200 mg/m ³	200 - 500 mg/m ³	500 - 1000 mg/m ³	1000 - 4000 mg/m ³
TZL	117	87	72	51	4	-	-
SO₂	78	63	14	5	14	21	158
NO_x	10	5	356	881	208	44	1
CO	797	260	73	76	90	13	-

Zdroj: REZZO 2014

Všechny výše uvedené hmotnostní koncentrace byly zjištěny prostřednictvím jednorázového měření emisí. Aplikované vztažné podmínky jsou: koncentrace příslušné znečišťující látky v suchém plynu za normálních stavových podmínek, někdy s udáním referenčního obsahu některé látky v odpadním plynu, obvykle kyslíku.



3.2 Spalování paliv v motorech

3.2.1 Používané techniky a postupy

Spalovací motor je motor s vnitřním spalováním. Pracovní látka je přímo produkt spalování. Na spalovacích motorech probíhá neustálý vývoj a motor je využíván již od roku cca 1860. Základní rozdělení spalovacích motorů je:

- **Motor pístový**, většinou provedený s vratným nebo rotačním pohybem pístu. Při spalování se využívá potenciální energie spalin.
- **Motor lopatkový**, tzv. spalovací turbína, při spalování se využívá kinetické energie spalin.

Pístové motory doznávají dalšího četného dělení např. podle použitého paliva, dopravy směsi do válce, způsobu zapálení směsi, konstrukce, počtu taktů, polohy tzn. stacionární nebo mobilní, tvorby směsi se vzduchem tzn. lehce odpařitelná paliva a těžko odpařitelná paliva. Velmi časté je rozdělení na zážehové a vznětové motory, kdy u zážehových motorů se využívá pro spalování vnějšího iniciačního zdroje, tzn. jiskry. Vznětový motor zajistí vznícení pro spalovací proces vysokým stupněm komprese a vstřikem paliva.

Spalovací motory vykazují obecně poměrně vysoké procento účinnosti přeměny energie obsažené v palivu na mechanickou energii. Účinnost spalovacího motoru je zejména závislá na kompresním poměru, tlakovém poměru a poměru plnění. Kompresní poměry se u zážehových motorů pohybují max. 11,5, s výstupním tlakem v rozsahu 0,8 až 1,5 MPa a výstupní teplotou v rozsahu 400 až 600°C. Vznětový motor vykazuje kompresní poměry 12 až 17, některé konstrukce až 22, tlak na konci komprese je 3 až 5,5 MPa s koncovými teplotami komprese 700 až 900°C.

Ve spalovacích motorech se využívají plynná a kapalná paliva. V současné době vlivem rozvoje automobilismu a příznivým užitelským vlastnostem jsou nejpoužívanější kapalná uhlovodíková paliva např. automobilový benzín, motorová nafta. Získávají se frakční destilací ropy a platí, že s rostoucí velikostí molekul jednotlivých uhlovodíků roste i bod jejich varu. Využití spalovacích pístových motorů je u plyných uhlovodíkových paliv např. propan butanu, bioplynu nebo zemního plynu. Spalovací motory na plynná paliva jsou obvykle stacionární motory připojené k potrubní síti s hlavním dodávaným palivem. Paliva musí vykazovat standardizované jakostní znaky, které se hodnotí např. dle norem ČSN. U benzínu se např. kontroluje obsah síry, obsah frakčních složek, obsah pryskyřice, startovací a pracovní bod, antidetonální vlastnosti – oktanové číslo apod. U nafty je např. stanoven stupeň vznětlivosti, průtah vznícení – cetanové číslo, obsah sirnatých složek apod. Kontrola směsných paliv je zaměřena na viskozitu, filtrovatelnost, destilační zkoušky, kyselost, vzplanutí mastných kyselin apod.

Stacionární pístové spalovací motory mohou sloužit obdobně jako spalovací turbíny pouze pro výrobu elektrické energie. Známé jsou řešení pro poskytování podpůrných služeb v oblasti energetiky pístovými spalovacími motory nebo řešení pro zálohovatelnost stability elektrické sítě (pro tzv. rozjezdy ze tmy). Největší potenciál z hlediska energetiky je ale možné zaznamenat v kogenerační výrobě tepla a elektřiny a to především v pozicích zdrojů do 2 MWe, případně 10 MWe, známy jsou i řešení do cca 50 MWe. Značně efektivní mohou být náhrady lokální vytopy, kotelny atd. s využitím pístových spalovacích motorů. Obvykle používané palivo je zejména zemní plyn, lehký topný olej, bioplyn. Známy jsou instalace na důlních plynech, LPG a těžkých ropných frakcích. S výhodou se využívá dvou paliv např. ropa a plyn. Výhoda spalovacích motorů v kogeneraci spočívá především ve využití tepla odchozích spalin, tepla z chlazení agregátu a současné poměrně účinné výrobě elektrické energie. V podstatě je využito 80 %



až 87 % vstupní energie z toho cca 35 až 45 % na výrobu elektrické energie a cca 45 % až 50 % na výrobu tepla.

3.2.2 Techniky snižování emisí do ovzduší⁴⁾

3.2.2.1 Primární techniky ke snižování emisí

Primární (preventivní) techniky pro obecné použití, aplikovatelné pro všechny relevantní stacionární zdroje:

- školení, vzdělávání a motivace pracovníků na všech úrovních;
- optimalizace řízení procesů;
- zajištění dostatečné preventivní údržby;
- systém environmentálního managementu (ISO 14001, EMAS) s jasně definovanými odpovědnostmi, pracovními pokyny a detailně popsány postupy, které mohou ovlivnit kvalitu ovzduší;
- dodržování technologické kázně a předepsaných pracovních postupů a systém kontroly jejich dodržování;
- sledování emisí (v rámci možností daných procesů, tj. vyhodnocení údajů z měření případně např. z emisních bilancí pomocí emisních faktorů u fugitivních emisí) a navrhování opatření k jejich omezení.

Mezi primární techniky ke snižování emisí oxidů síry patří

- použití nízkosíratého paliva (obsah síry a jejích sloučenin do 0,1 % hm).

Mezi primární techniky ke snižování emisí oxidů dusíku patří

- časování vstřikování;
- recirkulace spalin;
- opožděná injektáž;
- injektáž vlhkého vzduchu a vody;
- spalování chudé směsi + případně i v kombinaci s oxidačním katalyzátorem (lze dosáhnout snížení emisí CO a C_xH_y) nebo recirkulací spalin;
- spalování stechiometrické směsi s řízeným třícestným katalyzátorem a λ sondou;
- spalování vrstvených směsí (komůrkové motory zážehové i dvoupalivové s iniciací spalování vstřikem/vznětem malé dávky kapalného paliva).

3.2.2.2 Sekundární techniky ke snižování emisí

Mezi sekundární techniky ke snižování emisí oxidů dusíku patří

- SCR - selektivní katalytická redukce.

Mezi sekundární techniky ke snižování emisí tuhých znečišťujících látek patří

- filtry pevných částic.

3.2.3 Dosahované emisní úrovně

Dosahované emisní úrovně byly analyzovány s využitím dat Registru emisí a stacionárních zdrojů, který je součástí Informačního systému kvality ovzduší vedeného podle § 7 odst. 1 zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů (pro rok 2014).

⁴ mezi hlavní zdroje informací patří: Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách pro velká spalovací zařízení, Příručka ochrany kvality ovzduší a informace od výrobců odlučovacích zařízení, viz kapitola 5 Použité zdroje



V databázi REZZO je jmenovitě evidováno 2 500 pístových spalovacích motorů o jmenovitém tepelném příkonu od 0,3 do 5 MWt.

U 136 spalovacích motorů z této skupiny je evidováno měření hmotnostní koncentrace SO₂. Jedná se téměř výlučně o spalovací motory na „jiná plynná paliva, než zemní plyn“. Obvykle se jedná o kogenerační jednotky zařazené za výrobou bioplynu. Dosahované emisní koncentrace jsou uvedeny v následující tabulce. Nad hodnotou 500 mg/m³ se pohybuje pouze jeden stacionární spalovací zdroj (kogenerační jednotka u bioplynové stanice, kde je dosahovaná koncentrace SO₂ ve výši 1533 mg/m³ a může se tedy jednat o chybu v evidenci).

U 368 spalovacích motorů z této skupiny je evidováno měření hmotnostní koncentrace TZL. Jedná se téměř výlučně o spalovací motory na „jiná plynná paliva, než zemní plyn“, výjimečně na naftu. Obvykle se jedná o kogenerační jednotky zařazené za výrobou bioplynu.

U 801 spalovacích motorů z této skupiny je evidováno měření hmotnostní koncentrace NO_x. Jedná se ve 494 případech o spalovací motory na „jiná plynná paliva, než zemní plyn“ (obvykle bioplyn), ve 256 případech o spalování zemního plynu a ve 46 případech o spalování nafty. V intervalu emisních koncentrací 500 - 1000 mg/m³ se vyskytují především jiná plynná paliva. V intervalu koncentrací nad 1 000 mg/m³ slouží jako palivo téměř výlučně nafta.

U 797 spalovacích motorů z této skupiny je evidováno měření hmotnostní koncentrace CO. Jedná se ve 494 případech o spalovací motory na „jiná plynná paliva, než zemní plyn“ (obvykle bioplyn), ve 253 případech o spalování zemního plynu a ve 45 případech o spalování nafty. Emisní koncentrace opět do značné míry kopírují typ spalovaného paliva a hodnoty emisních limitů nastavené v prováděcím právním předpisu. Výjimku tvoří jeden případ kogenerační jednotky na zemní plyn, kde je uváděna koncentrace 6 443 mg/m³ a s největší pravděpodobností tak jde o chybu v evidenci.

Pro těkavé organické látky nemají pístové spalovací motory nastaveny emisní limity a jednorázová měření jsou proto dostupná pouze na několika zdrojích, které nevytvářejí dostatečně reprezentativní vzorek. Dosahované emisní koncentrace znečišťujících látek jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. - Emisní koncentrace pístových spalovacích motorů o jmenovitém tepelném příkonu od 0,3 do 5 MWt

	Intervaly naměřených hmotnostních koncentrací						
	do 10 mg/m ³	10 - 50 mg/m ³	50 - 100 mg/m ³	100 - 200 mg/m ³	200 - 500 mg/m ³	500 - 1000 mg/m ³	1000 - 4000 mg/m ³
TZL	348	19	1	-	-	-	-
SO₂	20	14	33	42	26	-	-
NO_x	8	7	8	49	632	51	45
CO	29	44	11	37	147	482	46

Zdroj: REZZO 2014

V databázi REZZO 2014 je jmenovitě evidováno 152 pístových spalovacích motorů o jmenovitém tepelném příkonu mezi 5 a 50 MWt. Často se jedná o záložní zdroje a celkové emise z této skupiny zdrojů jsou proto velmi malé.

Měření hmotnostní koncentrace SO₂ je v této skupině evidováno pouze u dvou provozovatelů. U čtyřech plynových motorů provozovaných jednou společností, kde je spalován zemní plyn a hmotnostní koncentrace SO₂ jsou u všech motorů v intervalu 20 až 26 mg/m³. Druhým případem jsou naftové motorgenerátory, kde se dosahuje emisní koncentrace SO₂ 134 mg/m³.

Pouze u 10 spalovacích motorů z této skupiny je evidováno měření hmotnostní koncentrace TZL. Všechny jednotky dosáhly nižší emisní koncentrace, než 20 mg/m³.



U 66 spalovacích motorů z této skupiny je evidováno měření hmotnostní koncentrace NO_x. V intervalu emisních koncentrací pod 100 mg/m³ se vyskytují pouze 4 plynové motory. Ostatní měření se pohybují převážně v intervalu koncentrací 300 až 500 mg/m³. Dvě měření ukazují na hmotnostní koncentrace 607 a 657 mg/m³.

U 66 spalovacích motorů z této skupiny je evidováno měření hmotnostní koncentrace CO. Velmi nízké emisní koncentrace okolo 20 mg/m³ se opět vyskytují u 4 plynových motorů, které dosahovaly velmi nízkých koncentrací i u jiných znečišťujících látek. Ostatní měření se pohybují převážně v intervalu koncentrací 200 až 600 mg/m³.

Pro těžké organické látky nemají pístové spalovací motory nastaveny emisní limity a jednorázová měření nejsou u této skupiny zdrojů vůbec dostupná.

Velmi nízké emisní koncentrace u čtyř výše opakovaně zmiňovaných plynových motorů jsou důsledkem skutečnosti, že se jedná o zcela nové plynové motory špičkové technické úrovně.

Všechny výše uvedené hmotnostní koncentrace byly zjištěny prostřednictvím jednorázového měření emisí. Aplikované vztahné podmínky jsou: koncentrace příslušné znečišťující látky v suchém plynu za normálních stavových podmínek, někdy s udáním referenčního obsahu některé látky v odpadním plynu, obvykle kyslíku.

3.3 Spalování plyných paliv v turbínách

3.3.1 Používané techniky a postupy

Spalovací turbína je motor s vnitřním spalováním. Princip funkce spalovací turbíny spočívá ve stlačení pracovního média, většinou vzduchu, kompresorem na vysoký tlak. Pracovní médium postupuje do spalovací komory, kam se vpravuje palivo, které se spaluje izobaricky. Spálení představuje vývoj tepla. V turbínách se využívá kinetické energie spalin - horké a stlačené spaliny expandují na turbíně, kde se část práce spotřebuje na kompresi a zbylá část se využívá. Po průchodu turbínou se dále odvádí teplo spalin na tzv. spalinovém výměníku. V případě dalšího nevyužití odchozích plynů je významně snížena termická účinnost celého cyklu.

U turbín se využívá především jejich vysoká pohotovost a akceschopnost, proto nacházejí uplatnění jako špičkové a rychlostartovací zdroje výroby elektřiny, v kogenerační výrobě elektřiny a tepla a v paroplynových cyklech. Za výhodné vlastnosti spalovacích turbín lze považovat kompaktnost provedení, nízké spotřeby materiálů, nízké spotřeby vody, provozní spolehlivost, výkonová a časová pružnost. Nevýhody lze spatřovat v náročném a přesném výrobě, vysokém nároku kompresní práce.

V České republice jsou plynové turbíny využívány nejčastěji v kompresních stanicích a výjimečně i jako záložní zdroje energie. Nejčastějším palivem je zemní plyn.

Základní dělení spalovacích turbín:

- s uzavřeným okruhem (plyn neopouští oběh a koluje v uzavřeném okruhu) - prakticky se nevyužívá;
- s otevřeným okruhem (plyn se po vykonání práce vypouští do okolí) - prakticky veškerá provedení.

Výkony spalovacích turbín se pohybují řádově od 100 kW do cca 310 MWt. Známé jsou i provedení tzv. mikroturbín od cca 30 kWt. Účinnosti spalovacích turbín se pohybují v rozsahu 25 % až 40 %, v kogenerační výrobě je bezproblémové dosažení účinnosti od 85 %. Obvyklé teploty spalování jsou od 950°C, při chlazení a žárovečném nástřiku spalovacích turbín cca 1 430°C. Výstupní teploty spalin se pohybují v rozsahu cca 430°C až 630°C. Spalování je realizováno s vysokými přebytky vzduchu. Spalovací turbíny vykazují krátké najížděcí časy na nominální výkon v řádu 10 až 60 minut.



3.3.2 Techniky snižování emisí do ovzduší⁵⁾

Omezení emisí znečišťujících látek u spalovacích turbín vychází z obdobných způsobů jako při spalování plyných a kapalných paliv v hořácích a technologií aplikovaných v pístových spalovacích motorech. Emise SO₂ a TZL jsou v podstatě závislé na typu paliva, v případě spalování plynu z distribučních sítí, nebo lehkého topného oleje, je jejich úroveň minimální.

3.3.2.1 Primární techniky ke snižování emisí

Primární (preventivní) techniky pro obecné použití, aplikovatelné pro všechny relevantní stacionární zdroje:

- Školení, vzdělávání a motivace pracovníků na všech úrovních;
- Optimalizace řízení procesů;
- Zajištění dostatečné preventivní údržby;
- Systém environmentálního managementu (ISO 14001, EMAS) s jasně definovanými odpovědnostmi, pracovními pokyny a detailně popsány postupy, které mohou ovlivnit kvalitu ovzduší;
- Dodržování technologické kázně a předepsaných pracovních postupů a systém kontroly jejich dodržování;
- sledování emisí (v rámci možností daných procesů, tj. vyhodnocení údajů z měření případně např. z emisních bilancí pomocí emisních faktorů u fugitivních emisí) a navrhování opatření k jejich omezení.

Mezi primární techniky ke snižování emisí NO_x patří:

- Použití nízkoemisních hořáků;
- Injektáž vodní páry;
- Dvou etapové hořáky.

3.3.2.2 Sekundární techniky ke snižování emisí

Mezi sekundární techniky ke snižování emisí NO_x patří:

- Nízkoteplotní a vysokoteplotní SCR;
- SNCR;
- SCONO_x, což je katalytická redukce včetně oxidace a absorpce pro plynové turbíny. Redukuje se jak CO a NO_x.

3.3.3 Dosahované emisní úrovně

Dosahované emisní úrovně byly analyzovány s využitím dat Registru emisí a stacionárních zdrojů, který je součástí Informačního systému kvality ovzduší vedeného podle § 7 odst. 1 zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů (pro rok 2014).

V databázi REZZO 2014 je jmenovitě evidováno 28 plynových turbín o jmenovitém tepelném příkonu od 0,3 do 5 MWt. Pro SO₂, VOC a tuhé znečišťující látky nemají plynové turbíny nastaveny emisní limity a jednorázová měření proto nejsou dostupná.

Emisní koncentrace NO_x je v databázi REZZO evidována pouze u několika zdrojů, přičemž u některých je pravděpodobné, že mezi plynové motory jsou zařazeny chybně a jde o kotle nebo pístové spalovací motory. Evidované koncentrace jsou nízké, obvykle pod 200 mg/m³, ale vzorek nemá žádnou vypovídací hodnotu.

⁵⁾ mezi hlavní zdroje informací patří: Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách pro velká spalovací zařízení, Příručka ochrany kvality ovzduší a informace od výrobců odlučovacích zařízení, viz kapitola 5 Použité zdroje



Obdobná situace jako u koncentrací NO_x, panuje u naměřených koncentrací CO. Vzorek není vypovídající a naměřené koncentrace jsou velmi nízké, často pod 10 mg/m³.

V databázi REZZO 2014 je jmenovitě evidováno 75 plynových turbín o jmenovitém tepelném příkonu mezi 5 a 50 MWt. Pro SO₂, VOC a tuhé znečišťující látky nemají plynové turbíny nastaveny emisní limity a jednorázová měření proto nejsou dostupná.

Emisní koncentrace NO_x je v databázi REZZO 2014 evidována u 28 zdrojů. Evidované koncentrace jsou nízké a nejčastěji se pohybují mezi 50 a 200 mg/m³ (18 případů). Ostatní koncentrace jsou nižší s výjimkou jednoho stacionárního zdroje, kde se koncentrace pohybuje ve výši 203 mg/m³.

Obdobná situace jako u koncentrací NO_x, panuje u naměřených koncentrací CO. Emisní koncentrace CO je v databázi REZZO 2014 evidována u 29 zdrojů. Evidované koncentrace jsou nízké a nejčastěji se pohybují do 50 mg/m³ (23 případů). Ostatní naměřené koncentrace se pohybují v intervalu 68 až 841 mg/m³.

Všechny výše uvedené hmotnostní koncentrace byly zjištěny prostřednictvím jednorázového měření emisí. Aplikované vztahné podmínky jsou: koncentrace příslušné znečišťující látky v suchém plynu za normálních stavových podmínek, někdy s udáním referenčního obsahu některé látky v odpadním plynu, obvykle kyslíku.



4 NEJLEPŠÍ DOSTUPNÉ TECHNIKY

Kapitola nejlepší dostupné techniky tvoří klíčovou kapitolu celého dokumentu. Nejlepší dostupné techniky definuje zákon č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci jako určitý soubor technologií a know-how o jejich provozování. Tyto nejlepší dostupné techniky se uplatňují pro definovanou skupinu zařízení, u kterých je to možné a vhodné s ohledem na jejich velikost (technickou, kapacitní, ekonomickou i „vlivovou“ na životní prostředí) za účelem snížení vlivu těchto zařízení na životní prostředí.

Zpracování tohoto dokumentu ukázalo, že na rozdíl od zařízení ve smyslu zákona č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci představují stacionární zdroje, které jsou předmětem tohoto dokumentu, natolik neuchopitelnou a velmi různorodou skupinu zdrojů, že pro není možné uplatnit obdobnou skupinu nejlepších dostupných technik ve smyslu integrované prevence. Takový přístup by byl v některých případech technicky neřešitelný, ekonomicky neúnosný a v mnoha případech nákladově velmi neefektivní. Navíc nelze uplatnit jednoduchý princip, že čím menší stacionární zdroj, tím menší šance na uplatnění nejlepší dostupné techniky. Důkazem může být např. náhrada pevných paliv u spalovacích zdrojů o jmenovitém tepelném příkonu např. 2 MWt za plynná paliva, která může být nákladově efektivnější a ekonomicky přijatelnější, než uplatnění jiné nejlepší dostupné techniky na spalovacím zdroji o jmenovitém tepelném příkonu např. 20 MWt.

Zadání zpracování tohoto dokumentu nicméně směřovalo na vazbu nejlepších dostupných technik a podporu ze strukturálních fondů EU. Ve vazbě na dotační podporu se otvírá mnohem širší pole uplatnění nejlepších dostupných technik, neboť se stírá jedna ze základních výše uvedených bariér - ekonomická přijatelnost pro provozovatele (pouze investiční - provozní ekonomická náročnost zůstává). Současně je zapotřebí upozornit, že ani při předpokladu jednorázové investiční dotace není uplatnění nejlepších dostupných technik trvale udržitelné. Odstranění bariery ekonomické neúnosnosti má opodstatnění pouze ve vztahu ke stávajícímu programovému období. Po ukončení životnosti investice lze předpokládat, že následnou prostou reprodukci může být problematické realizovat (již bez dotace).

Zpracování tohoto dokumentu ukázalo, že je možné, při presumpci podpory z fondů EU, vydefinovat skupinu nejlepších dostupných technik, které je vhodné uplatnit i na stacionárních zdrojích, které nejsou předmětem právní úpravy v oblasti integrované prevence. I tak lze ale nalézt při použití nejlepších dostupných technik mantinely definované výše uvedenými bariérami (technická neřešitelnost, ekonomická neúnosnost a nákladová neefektivita).

U nejlepších dostupných technik uplatnitelných na definované výduchy dokument uvádí emisní koncentrace dosažitelné uplatněním příslušné techniky, pokud jsou informace o těchto emisních koncentracích dostupné. U technik uplatnitelných na fugitivních emisích tato informace logicky uvedena není. Praxe ale ukazuje, že přínos těchto technik je nezanedbatelný a u některých typů zdrojů rozhodující. Jejich význam se navíc zvyšuje narůstající regulací definovaných emisí z výduchů.

S ohledem na obrovskou různorodost a širokou škálu jmenovitých parametrů (kapacita, výkony, příkony) není ve většině případů možné uvést jednotkové náklady na nejlepší dostupné techniky. Tam, kde zpracovatel dokumentu usoudil, že je to relevantní, jsou uvedeny konkrétní příklady nákladů a přínosů uplatnění nejlepších dostupných technik.



4.1 Nejlepší dostupné techniky

4.1.1 Spalování paliv v kotlích

4.1.1.1 Spalování pevných paliv v kotlích

Nejlepší dostupné techniky pro spalování pevných paliv v kotlích od 0,5 do 50 MWt jsou (v členění na primární a sekundární techniky):

- obecné primární techniky ke snížení emisí znečišťujících látek
 - školení, vzdělávání a motivace pracovníků na všech úrovních;
 - optimalizace řízení procesů;
 - zajištění dostatečné preventivní údržby;
 - systém environmentálního managementu (ISO 14001, EMAS) s jasně definovanými odpovědnostmi, pracovními pokyny a detailně popsány postupy, které mohou ovlivnit kvalitu ovzduší;
 - dodržování technologické kázně a předepsaných pracovních postupů a systém kontroly jejich dodržování;
 - pravidelné provádění emisních bilancí a navrhování opatření k jejich omezení;
 - sledování emisí (v rámci možností daných procesů, tj. vyhodnocení údajů z měření případně např. z emisních bilancí pomocí emisních faktorů u fugitivních emisí) a navrhování opatření k jejich omezení.

- specifické primární techniky ke snižování emisí TZL patří:
 - použití plyného nebo kapalného paliva na místo pevného paliva;
 - omezení operací se sypkými látkami ve venkovním prostředí na minimum;
 - uzavření zařízení prašných procesů, jako je drcení, mletí, prosévání a mísení;
 - užití cirkulačních procesů v systémech vzduchové potrubní dopravy;
 - manipulace s materiálem v uzavřených systémech v podtlaku a odprašování nasávaného vzduchu;
 - odsávání vzdušiny s obsahem prachu z procesů, manipulací a skladů, tak, aby nedocházelo k fugitivním emisím.

- specifické primární techniky ke snižování emisí SO₂ patří:
 - využití nízkosíratých paliv (obsah síry a jejích sloučenin do 0,1 % hm);
 - suchá metoda odsíření ve fluidním loži.

- specifické primární techniky ke snižování emisí NO_x patří:
 - použití speciálních hořáků (např. lowNO_x) a specifických podmínek spalování vč. řízení spalovacího procesu s orientací na nízkou produkci NO_x.

- specifické sekundární techniky ke snížení emisí znečišťujících látek
 - tkaninové filtry a elektrostatické odlučovače;
 - selektivní nekatalytická redukce NO_x;
 - selektivní katalytická redukce NO_x;
 - mokré odsíření;
 - polosuché odsíření;
 - suché odsíření;
 - vodní zkrápění a mlžení na skládce paliva;
 - průmyslové vysavače.



Obecné primární techniky ke snížení emisí znečišťujících látek vedou ke snížení emisních koncentrací a celkových emisí všech sledovaných znečišťujících látek, především tuhých znečišťujících látek, SO₂, NO_x a CO. Další primární a sekundární opatření jsou zaměřena specificky na konkrétní znečišťující látku, přičemž mezi některými existují synergie (např. u mokrého odsíření).

Výše uvedené techniky je obecně možné použít při spalování paliv v kotlích. Všechny primární techniky představují razantní zásah do samotné konstrukce kotle (případně náhradu celého kotle) a ohniště a jejich uplatnění je konstrukčně velmi náročné a vyžaduje odstavení z provozu. Sekundární techniky vyžadují menší zásah s ohledem na jejich uplatnění až ve spalinových cestách (případně mimo spalovací proces u technik pro související činnosti). Rovněž nutné omezení z provozu je výrazně kratší (případně žádné).

Jak již bylo uvedeno v obecné předmluvě k této kapitole, ekonomická dostupnost těchto technik bez dotační podpory představuje kritickou bariéru pro jejich použití. Příčinou je jak investiční, tak provozní náročnost. U menších jmenovitých tepelných příkonů (do 5 MWt) je pak z hlediska celkových nákladů (investičních a provozních) a především nákladové efektivity neefektivní vyžadovat instalaci sekundárních technik k omezení emisí NO_x a SO₂ a instalaci elektrostatických odlučovačů.

Například mezi nákladově přijatelnější techniky ke snižování emisí SO₂ patří kondicionovaná metoda odsíření, která dosahuje účinnosti od 75 do 85 %. Realizace této techniky je však vhodná pro stacionární zdroje se jmenovitým tepelným příkonem nad 5 MWt. Odborné studie počítají s indikativními investičními náklady ve výši 30 mil. Kč pro 7 MWt kotel a 40 mil. Kč pro 15 MWt.

Jako další příklad lze uvést investiční náklady na realizaci tkaninového filtru u kotle o jmenovitém tepelném příkonu od 1 do 3 MWt, které se pohybují ve výši cca 2,5 mil Kč/MWt instalovaného výkonu (tkaninový filtr s pulzní regenerací filtrační tkaniny). U kotle o jmenovitém tepelném příkonu od 3 do 5 MWt dosahuje investice 2 mil. Kč/MWt. Tyto investiční náklady vychází z předpokladů, že bude nutné měnit spalinový ventilátor kvůli zvýšení tlakové ztráty spalinové cesty kotle a že bude nutné respektovat maximální teplotu spalin na úrovni 180°C (vyšší teplotu zvládají pouze velmi drahé tkaniny). Je také nutné najíždění spalin do ohřátého filtru (elektricky) nebo prohřátí filtru jiným způsobem - cizím teplem. Provozní náklady na výměnu hadic jsou cca 0,2 mil. Kč/MWt/každý druhý rok. Náklady na víceméně spotřebu elektřiny jsou odhadovány na 0,3 mil. Kč/rok při využití zdroje cca 4 tis hodin.

Pro kotle o jmenovitém tepelném příkonu od 0,5 do 5 MWt lze za nejlepší dostupnou techniku považovat využití výše uvedených primárních technik (jednotlivě či v kombinaci) a využití sekundárních technik pro snížení emisí TZL (využití sekundárních technik pro snížení emisí SO₂ a NO_x se s ohledem na ekonomická a technická omezení a nákladovou efektivitu nenavrhují), které povedou k následujícím emisním úrovním:

- emisní koncentrace TZL nižší než 20 mg/m³;
- emisní koncentrace NO_x nižší než 500 mg/m³.

Pro kotle o jmenovitém tepelném příkonu vyšším než 5 MWt a nižším než 20 MWt lze za nejlepší dostupnou techniku považovat využití výše uvedených primárních a sekundárních technik (jednotlivě či v kombinaci), které povedou k následujícím emisním úrovním:

- emisní koncentrace TZL nižší než 20 mg/m³;
- emisní koncentrace NO_x nižší než 500 mg/m³;
- emisní koncentrace SO₂ nižší než 1 100 mg/m³.



Pro kotle o jmenovitém tepelném příkonu vyšším než 20 MWt lze za nejlepší dostupnou techniku považovat využití výše uvedených primárních a sekundárních technik (jednotlivě či v kombinaci), které povedou k následujícím emisním úrovním:

- emisní koncentrace TZL nižší než 20 mg/m³;
- emisní koncentrace NO_x nižší než 500 mg/m³;
- emisní koncentrace SO₂ nižší než 400 mg/m³.

Vztažné podmínky pro ověření emisních úrovní jsou: koncentrace příslušné znečišťující látky v suchém plynu za normálních stavových podmínek, někdy s udáním referenčního obsahu některé látky v odpadním plynu, obvykle kyslíku. Podmínky ověření dodržení emisních úrovní jsou shodné s vyhodnocením plnění emisního limitu podle vyhlášky č. 415/2012 Sb., o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů.

Uvedené emisní koncentrace zohledňují požadavky národní právní úpravy, připravované právní úpravy EU a emisní koncentrace dosažitelné v běžném provozu, tj. koncentrace zjištěné pro jednotlivá paliva analýzou dat obsažených v REZZO.

Tab. - Emisní úrovně dosažitelné při aplikaci BAT, dle jmenovitého tepelného příkonu – pevná paliva

	od 0,5 do 5 MWt	vyšší než 5 MWt a nižší než 20 MWt	vyšší než 20 MWt
TZL	20 mg/m ³	20 mg/m ³	20 mg/m ³
SO₂	-	1 100 mg/m ³	500 mg/m ³
NO_x	500 mg/m ³	500 mg/m ³	400 mg/m ³

4.1.1.2 Spalování plyných paliv v kotlích

Nejlepší dostupné techniky pro spalování plyných paliv v kotlích od 0,5 do 50 MWt jsou (v členění na primární a sekundární techniky):

- obecné primární techniky ke snížení emisí znečišťujících látek
 - školení, vzdělávání a motivace pracovníků na všech úrovních;
 - optimalizace řízení procesů;
 - zajištění dostatečné preventivní údržby;
 - systém environmentálního managementu (ISO 14001, EMAS) s jasně definovanými odpovědnostmi, pracovními pokyny a detailně popsány postupy, které mohou ovlivnit kvalitu ovzduší;
 - dodržování technologické kázně a předepsaných pracovních postupů a systém kontroly jejich dodržování.
- specifické primární techniky ke snižování emisí SO₂ patří:
 - využití nízkosíratých paliv (obsah síry a jejích sloučenin do 0,1 % hm).
- specifické primární techniky ke snižování emisí NO_x patří:
 - použití speciálních hořáků (např. lowNO_x) a specifických podmínek spalování vč. řízení spalovacího procesu s orientací na nízkou produkci NO_x.
- specifické sekundární techniky ke snížení emisí NO_x
 - selektivní nekatalytická redukce NO_x;
 - selektivní katalytická redukce NO_x.



Obecné primární techniky ke snížení emisí znečišťujících látek vedou ke snížení emisních koncentrací a celkových emisí všech sledovaných znečišťujících látek, především NO_x, SO₂ a CO. Další primární a sekundární opatření jsou zaměřena specificky na konkrétní znečišťující látku.

Výše uvedené techniky je obecně možné použít při spalování plyných paliv v kotlích. Primární techniky mohou představovat razantní zásah do samotné konstrukce kotle a ohniště (např. nové lowNO_x hořáky) a jejich uplatnění je konstrukčně velmi náročné a vyžaduje odstavení z provozu. Sekundární techniky vyžadují menší zásah s ohledem na jejich uplatnění až ve spalinových cestách (případně mimo spalovací proces u technik pro související činnosti). Rovněž nutné omezení z provozu je výrazně kratší.

Jak již bylo uvedeno v obecné předmluvě k této kapitole, ekonomická dostupnost těchto technik bez dotační podpory představuje kritickou bariéru pro jejich použití. Příčinou je jak investiční, tak provozní náročnost. U menších jmenovitých tepelných příkonů (do 5 MWt) je pak z hlediska celkových nákladů (investičních a provozních) a především nákladové efektivity neefektivní podporovat instalaci sekundárních technik k omezení emisí NO_x.

Pro kotle o jmenovitém tepelném příkonu od 0,5 do 5 MWt lze za nejlepší dostupnou techniku považovat využití výše uvedených primárních technik (jednotlivě či v kombinaci), které povedou k následujícím emisním úrovním:

- emisní koncentrace NO_x nižší než 100 mg/m³.

Pro kotle o jmenovitém tepelném příkonu vyšším než 5 MWt lze za nejlepší dostupnou techniku považovat využití výše uvedených primárních a sekundárních technik (jednotlivě či v kombinaci), které povedou k následujícím emisním úrovním:

- emisní koncentrace NO_x nižší než 100 mg/m³.

Vztažné podmínky pro ověření emisních úrovní jsou: koncentrace příslušné znečišťující látky v suchém plynu za normálních stavových podmínek, někdy s udáním referenčního obsahu některé látky v odpadním plynu, obvykle kyslíku. Podmínky ověření dodržení emisních úrovní jsou shodné s vyhodnocením plnění emisního limitu podle vyhlášky č. 415/2012 Sb., o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů.

Uvedené emisní koncentrace zohledňují požadavky národní právní úpravy, připravované právní úpravy EU a emisní koncentrace dosažitelné v běžném provozu, tj. koncentrace zjištěné pro jednotlivá paliva analýzou dat obsažených v REZZO.

Tab. - Emisní úrovně dosažitelné při aplikaci BAT, dle jmenovitého tepelného příkonu – plyná paliva

	od 0,5 MWt
NO_x	100 mg/m ³



4.1.1.3 Spalování kapalných paliv v kotlích

Nejlepší dostupné techniky pro spalování paliv v kotlích od 0,5 do 50 MWt jsou (v členění na primární a sekundární techniky):

- obecné primární techniky ke snížení emisí znečišťujících látek
 - školení, vzdělávání a motivace pracovníků na všech úrovních;
 - optimalizace řízení procesů;
 - zajištění dostatečné preventivní údržby;
 - systém environmentálního managementu (ISO 14001, EMAS) s jasně definovanými odpovědnostmi, pracovními pokyny a detailně popsány postupy, které mohou ovlivnit kvalitu ovzduší;
 - dodržování technologické kázně a předepsaných pracovních postupů a systém kontroly jejich dodržování;
 - sledování emisí (v rámci možností daných procesů, tj. vyhodnocení údajů z měření případně např. z emisních bilancí pomocí emisních faktorů u fugitivních emisí) a navrhování opatření k jejich omezení.

- specifické primární techniky ke snižování emisí SO₂ patří:
 - využití nízkosíratých paliv (obsah síry a jejich sloučenin do 0,1 % hm).

- specifické primární techniky ke snižování emisí NO_x patří:
 - použití speciálních hořáků (např. lowNO_x) a specifických podmínek spalování vč. řízení spalovacího procesu s orientací na nízkou produkci NO_x.

- specifické sekundární techniky ke snížení emisí NO_x
 - selektivní nekatalytická redukce NO_x;
 - selektivní katalytická redukce NO_x.

Obecné primární techniky ke snížení emisí znečišťujících látek vedou ke snížení emisních koncentrací a celkových emisí všech sledovaných znečišťujících látek, především NO_x, SO₂ a CO. Další primární a sekundární opatření jsou zaměřena specificky na konkrétní znečišťující látku.

Výše uvedené techniky je obecně možné použít při spalování kapalných paliv v kotlích. Primární techniky mohou představovat razantní zásah do samotné konstrukce kotle a ohniště (např. nové lowNO_x hořáky) a jejich uplatnění je konstrukčně velmi náročné a vyžaduje odstavení z provozu. Sekundární techniky vyžadují menší zásah s ohledem na jejich uplatnění až ve spalinových cestách (případně mimo spalovací proces u technik pro související činnosti). Rovněž nutné omezení z provozu je výrazně kratší.

Jak již bylo uvedeno v obecné předmluvě k této kapitole, ekonomická dostupnost těchto technik bez dotační podpory představuje kritickou bariéru pro jejich použití. Příčinou je jak investiční, tak provozní náročnost. U menších jmenovitých tepelných příkonů (do 5 MWt) je pak z hlediska celkových nákladů (investičních a provozních) a především nákladové efektivity neefektivní podporovat instalaci sekundárních technik k omezení emisí NO_x a SO₂.

Pro kotle o jmenovitém tepelném příkonu od 0,5 MWt lze za nejlepší dostupnou techniku považovat využití výše uvedených primárních technik (jednotlivě či v kombinaci), které povedou k následujícím emisním úrovním:

- emisní koncentrace TZL nižší než 20 mg/m³;
- emisní koncentrace NO_x nižší než 130 mg/m³.



Sekundární techniky ke snížení emisí NO_x je nákladově neefektivní vyžadovat u kotlů o jmenovitém tepelném příkonu menším než 20 MWt.

Vztažné podmínky pro ověření emisních úrovní jsou: koncentrace příslušné znečišťující látky v suchém plynu za normálních stavových podmínek, někdy s udáním referenčního obsahu některé látky v odpadním plynu, obvykle kyslíku. Podmínky ověření dodržení emisních úrovní jsou shodné s vyhodnocením plnění emisního limitu podle vyhlášky č. 415/2012 Sb., o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů.

Uvedené emisní koncentrace zohledňují požadavky národní právní úpravy, připravované právní úpravy EU a emisní koncentrace dosažitelné v běžném provozu, tj. koncentrace zjištěné pro jednotlivá paliva analýzou dat obsažených v REZZO.

Tab. - Emisní úrovně dosažitelné při aplikaci BAT, dle jmenovitého tepelného příkonu – kapalná paliva

	od 0,5 MWt
TZL	20 mg/m ³
NO_x	130 mg/m ³

4.1.2 Spalování paliv v motorech

Nejlepší dostupné techniky pro spalování paliv v motorech jsou (v členění na primární a sekundární techniky):

- primární techniky ke snížení emisí znečišťujících látek
 - školení, vzdělávání a motivace pracovníků na všech úrovních;
 - optimalizace řízení procesů;
 - zajištění dostatečné preventivní údržby;
 - systém environmentálního managementu (ISO 14001, EMAS) s jasně definovanými odpovědnostmi, pracovními pokyny a detailně popsány postupy, které mohou ovlivnit kvalitu ovzduší;
 - dodržování technologické kázně a předepsaných pracovních postupů a systém kontroly jejich dodržování;
 - sledování emisí (v rámci možností daných procesů, tj. vyhodnocení údajů z měření případně např. z emisních bilancí pomocí emisních faktorů u fugitivních emisí) a navrhování opatření k jejich omezení;
 - využití nízkosíratých plyných paliv (obsah síry a jejích sloučenin do 0,1 % hm);
 - použití speciálních hořáků (např. lowNO_x) a specifických podmínek spalování vč. řízení spalovacího procesu s orientací na nízkou produkci NO_x.
- sekundární techniky ke snížení emisí znečišťujících látek
 - selektivní nekatalytická redukce NO_x;
 - selektivní katalytická redukce NO_x.

Výše uvedené techniky je obecně možné použít při spalování paliv v motorech. Všechny primární techniky představují razantní zásah do samotné konstrukce motoru (resp. kompletní výměnu motoru) a jejich uplatnění je konstrukčně velmi náročné a vyžaduje odstavení z provozu. Sekundární techniky vyžadují



menší zásah s ohledem na jejich uplatnění až ve spalinových cestách. Rovněž nutné omezení z provozu je výrazně kratší.

Jak již bylo uvedeno v obecné předmluvě k této kapitole, ekonomická dostupnost těchto technik bez dotační podpory představuje kritickou bariéru pro jejich použití. Příčinou je jak investiční, tak provozní náročnost.

V případě snižování emisí NO_x lze za nejlepší dostupnou techniku považovat kombinaci primárních a sekundárních opatření. Emisní úrovně dosažitelné těmito technikami jsou emisní koncentrace NO_x nižší než 190 mg/m³, emisní koncentrace TZL nižší než 10 mg/m³ a emisní koncentrace CO nižší než 500 mg/m³.

Vztažné podmínky pro ověření emisních úrovní jsou: koncentrace příslušné znečišťující látky v suchém plynu za normálních stavových podmínek, někdy s udáním referenčního obsahu některé látky v odpadním plynu, obvykle kyslíku. Podmínky ověření dodržení emisních úrovní jsou shodné s vyhodnocením plnění emisního limitu podle vyhlášky č. 415/2012 Sb., o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů.

Tab. - Emisní úrovně dosažitelné při aplikaci BAT, dle jmenovitého tepelného příkonu

	od 0,5 MWt
TZL	10 mg/m ³
CO	500 mg/m ³
NO_x	190 mg/m ³

4.1.3 Spalování paliv v turbínách

Nejlepší dostupné techniky pro spalování paliv v turbínách jsou (v členění na primární a sekundární techniky):

- primární techniky ke snížení emisí znečišťujících látek
 - školení, vzdělávání a motivace pracovníků na všech úrovních;
 - optimalizace řízení procesů;
 - zajištění dostatečné preventivní údržby;
 - systém environmentálního managementu (ISO 14001, EMAS) s jasně definovanými odpovědnostmi, pracovními pokyny a detailně popsány postupy, které mohou ovlivnit kvalitu ovzduší;
 - dodržování technologické kázně a předepsaných pracovních postupů a systém kontroly jejich dodržování;
 - sledování emisí (v rámci možností daných procesů, tj. vyhodnocení údajů z měření případně např. z emisních bilancí pomocí emisních faktorů u fugitivních emisí) a navrhování opatření k jejich omezení;
 - využití nízkosíratých plyných paliv (obsah síry a jejich sloučenin do 0,1 % hm);
 - použití speciálních hořáků (např. lowNO_x) a specifických podmínek spalování vč. řízení spalovacího procesu s orientací na nízkou produkci NO_x.
- sekundární techniky ke snížení emisí znečišťujících látek
 - selektivní nekatalytická redukce NO_x;
 - selektivní katalytická redukce NO_x.



Výše uvedené techniky je obecně možné použít při spalování paliv v turbínách. Všechny primární techniky představují razantní zásah do samotné konstrukce turbíny (resp. kompletní výměnu) a jejich uplatnění je konstrukčně velmi náročné a vyžaduje odstavení z provozu. Sekundární techniky vyžadují menší zásah s ohledem na jejich uplatnění až ve spalinových cestách. Rovněž nutné omezení z provozu je výrazně kratší.

Jak již bylo uvedeno v obecné předmluvě k této kapitole, ekonomická dostupnost těchto technik bez dotační podpory představuje kritickou bariéru pro jejich použití. Příčinou je jak investiční, tak provozní náročnost.

V případě snižování emisí NO_x lze za nejlepší dostupnou techniku považovat kombinaci primárních a sekundárních opatření. Emisní úrovně dosažitelné těmito technikami jsou emisní koncentrace NO_x nižší 50 mg/m³ a CO do 100 mg/m³.

Vztažné podmínky pro ověření emisních úrovní jsou: koncentrace příslušné znečišťující látky v suchém plynu za normálních stavových podmínek, někdy s udáním referenčního obsahu některé látky v odpadním plynu, obvykle kyslíku. Podmínky ověření dodržení emisních úrovní jsou shodné s vyhodnocením plnění emisního limitu podle vyhlášky č. 415/2012 Sb., o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů.

Tab. - Emisní úrovně dosažitelné při aplikaci BAT, dle jmenovitého tepelného příkonu

	od 0,5 MWt
CO	100 mg/m ³
NO _x	50 mg/m ³

4.2 Nejlepší dostupné techniky pro podporu z OPŽP

Mezi nejlepší dostupné techniky vhodné pro podporu z OPŽP 2014 + je možné zařadit všechny techniky popsané v kapitole 4.1, jejichž zavedení vyžaduje investiční náklady na straně provozovatele.



5 POUŽITÉ ZDROJE

- zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů
- vyhláška č. 415/2012 Sb., o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů
- zákon č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a o omezování znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů (zákon o integrované prevenci), ve znění pozdějších předpisů
- European Commission: Integrovaná prevence a omezování znečištění (IPPC) – Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách pro velká spalovací zařízení
- Posouzení dopadů navrhované směrnice EP a Rady o omezení některých znečišťujících látek do ovzduší ze středních spalovacích zařízení, zpracoval IREAS, o.p.s. pro Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR
- Příručka ochrany kvality ovzduší, Kolektiv autorů, Sdružení společností IREAS centrum, s.r.o., Praha a Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r.o., Chrudim, ISBN: 978-80-86832-77-7
- CENIA, česká informační agentura životního prostředí: Interní archiv žádostí o vydání/změnu integrovaného povolení;
- Registr emisí a zdrojů znečišťování (REZZO) pro rok 2014;
- <http://www.apf.cz/home.html>
- <http://www.profiltr.cz/>
- <http://www.scheuch.com/>
- <http://www.nederman.cz/>



6 SEZNAM ZKRATEK

BREF	referenční dokument o nejlepších dostupných technikách
CO	oxid uhelnatý
CO ₂	oxid uhličitý
EU	Evropská unie
NO _x	oxidy dusíku vyjádřené jako oxid uhličitý
OPŽP	Operační program Životní prostředí
OPŽP 2014+	Operační program Životní prostředí pro období 2014 - 2020
REZZO	Registr emisí a stacionárních zdrojů
SO ₂	oxidy síry vyjádřené jako oxid siřičitý
TZL	tuhé znečišťující látky
VOC	těkavé organické látky



Tento dokument byl zpracován v rámci projektu „Zpracování referenčních dokumentů o nejlepších dostupných technikách u stacionárních zdrojů nespádajících pod BREF“.

srpen 2015

Zadavatel:

Ministerstvo životního prostředí ČR

Projektový tým:

Vedoucí projektového týmu: Ing. Petr Honskus

Složení projektového týmu (v abecedním pořadí): Ing. Stanislav Bartusek, Mgr. Petra Borůvková, Ing. Antonín Hlavatý, Ph.D., Ing. Adéla Katrušáková, Mgr. Jan Kolář, Ing. Jaroslav Kreuz, Ing. Jaroslava Malířová, Ing. Jiří Morávek, RNDr. Lubomír Paroha, RNDr. Jan Prášek, Ing. Monika Přebilová, Ing. Ivana Špelinová, Ing. Jan Štejska, Ing. Jiří Valta, Ing. Miroslav Vlasák, CSc.



Evropská unie

Spolufinancováno z Prioritní osy 8 - Technická pomoc
financovaná z Fondu soudržnosti

Ministerstvo životního prostředí

Státní fond životního prostředí České republiky

www.opzp.cz

Zelená linka 800 260 500

dotazy@sfzp.cz