

Kotel na spalování černouhelného multiprachu

IVITAS, a.s., Ruská 83/24, Ostrava – Vítkovice

Anotace

Současný vývoj energetiky ukazuje na zvyšující se zájem o menší, flexibilní a ekologické zdroje. Jednou z možností jak uspokojit poptávku trhu, je zvládnutí technologie efektivního využití černouhelného multiprachu ve zdrojích o výkonech v řádu jednotek MWt. IVITAS, a.s. reaguje na tuto výzvu zhodnocením svého dlouholetého know-how v oblasti velké energetiky a připravuje pilotní projekt nového kotle, který bude pro zákazníky dostupný v parním a horkovodním provedení.

Cílem je vyvinout technologické zařízení, které bude vhodné pro použití na vytápění objektů a areálů, případně na zásobování technologií. Palivem bude černouhelný multiprach, který se vyznačuje vynikající schopností fluidizace, což umožňuje komfortní použití srovnatelné s kapalnými nebo plynnými palivy. Samozřejmostí je maximalizace využití energie, tzn. vysoká tepelná účinnost zařízení a dodržení emisních limitů platných od 1. 1. 2018. Výsledná cena tepla, bude na úrovni 80% ceny tepla vyrobeného ze zemního plynu.

Tento článek je zaměřen na klíčové oblasti vývoje kotle. Kombinace nástrojů matematického a fyzikálního modelování, tedy provádění spalovacích zkoušek na vlastním Zkušebním spalovacím zařízení, spolu s využitím metod CFD a vlastního software pro provádění tepelných výpočtů kotlů, je zárukou funkčního a spolehlivého technického řešení. Data získaná během spalovacích zkoušek umožňují precizní optimalizaci celého procesu vyhořívání částic uhlí. Výsledky testů jsou pak s pomocí matematického modelování využity pro návrh reálného zařízení. V současné době je připravován projekt realizace prvního prototypu kotle s tepelným příkonem 5 MWt, jehož uvedení do provozu je naplánováno na konec letošního roku.

Klíčová slova: Parní kotel, Horkovodní kotel, hořák, multiprach, černé uhlí, CFD, Zkušební spalovací zařízení

Úvod

Naše společnost připravuje pro uvedení na trh celou výkonovou řadu kotlů s tím, že finální řešení bude vždy přizpůsobeno konkrétním potřebám a specifickým požadavkům zákazníka. Tlakový celek kotle, včetně ohříváku vzduchu a hořáku, je vlastní řešení firmy IVITAS, a.s. Pro návrh je využíván vlastní, specializovaný a ověřený software pro tepelné výpočty kotlů.

Řešení profituje z precizního návrhu celého systému kotle na černouhelný prášek garantovaných parametrů - multiprach, což umožňuje dosáhnout maximální možné účinnosti. Černouhelný prášek se svým chováním blíží tekutinám, proto lze využít bezpečného a především bezprašného systému jeho dopravy i skladování. Další nespornou výhodou při využití tohoto paliva je absence mlecího zařízení.

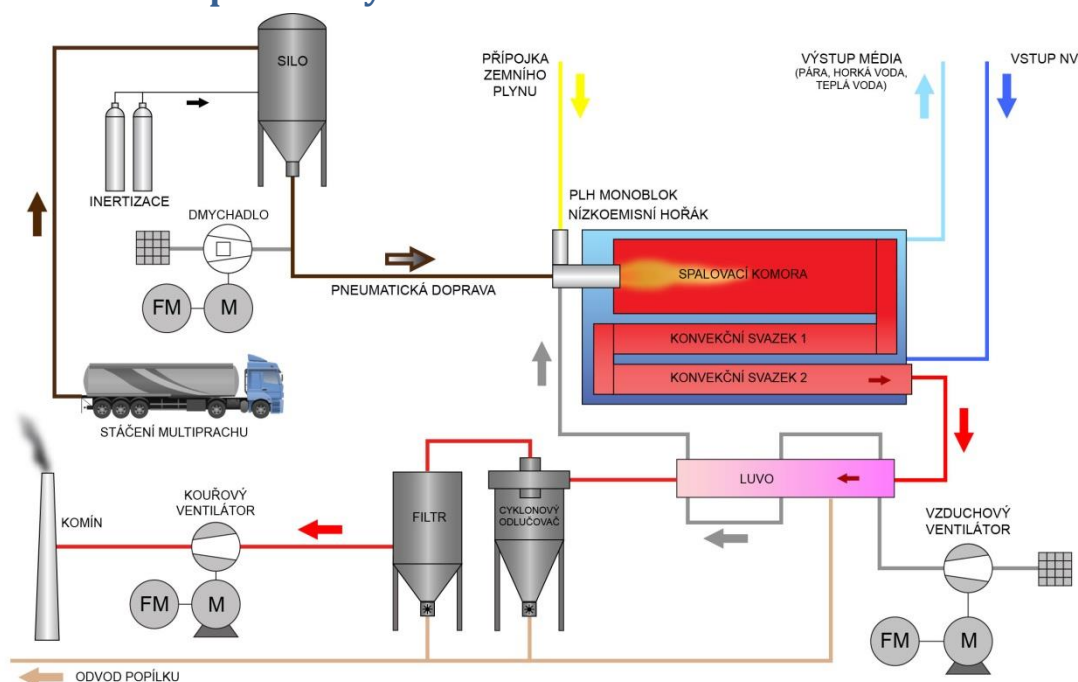
Varianta (příkon)	2,4 MWt	3,5 MWt	5 MWt	7,5 MWt	
Teplota NV	105 °C				
Tlak/teplota páry	1,3 MPa / 191 °C (sytá pára)				
Tepelný výkon	2,2	3,2	4,5	6,8	MWt
Množství vyrobené páry	3,38	4,64	6,62	9,92	t/h
Teplota odchozích spalin	150 °C				
Spotřeba paliva	270	390	555	830	kg/h
Výpočtová účinnost kotle	> 90%				

Tabulka 1: Základní výkonové parametry kotlů

Připravované kotelny budou vybaveny silem pro skladování multiprachu, dimenzovaným dle přání zákazníka na několik dnů provozu kotle. V případě potřeby je možno instalovat také silo pro skladování odloučeného popílku a tento poté vyvážet obdobným způsobem, jako je kotel zásobován palivem. Tedy přečerpáním do cisteren automobilové, nebo železniční dopravy.

Zásadním bodem pro celý projekt je úspěšný vývoj nového, vysoce účinného spalovacího systému, který splní náročné emisní požadavky. Tento článek je proto zaměřen také na přiblížení průběhu vývoje prvních prototypů hořáků, včetně provedení prvních testů a spalovacích zkoušek.

Základní koncept kotelny



Obr. 1: Blokové schéma zapojení kotle na multiprachu

Na blokovém schématu uvedeném na obrázku výše, je naznačeno řešení kotelny i s periferiemi. Tento obrázek znázorňuje zapojení jednoho kotle, počítá se však i s možností zapojení více kotlů v sérii napájených z jednoho sila. Doprava paliva se realizuje pomocí automobilové, případně železniční dopravy v cisternových vozech. Z těchto je palivo přečerpáváno do zásobníků, které jsou dimenzovány na několik dnů provozu kotle při jmenovitém výkonu. Tato sila jsou vybavena veškerými bezpečnostními prvky protipožární a protivybuchové ochrany, nutnými pro provoz obdobných zařízení. Palivo ze zásobníků je pneumaticky dopravováno do hořáku. Po vyhoření uhelného prášku ve spalovací

komoře, kde je odebrána první část tepelné energie, pokračují spaliny včetně popílku konvekčními svazky až do trubkového ohříváku vzduchu (LUVO) a následuje systém čištění spalin, složený nejčastěji z cyklónového odlučovače popílku a hadicového filtru. Za filtrem spalin je vřazen kouřový ventilátor a následně jsou vyčištěné spaliny vypouštěny komínem do okolí. Kotel je zásobován vzduchem, nasávaným pomocí vzduchového ventilátoru. Spalovací vzduch je ohříván spalinami a následně pokračuje do hořáku. Kotel je napájen kotlovou vodou a produkuje teplou nebo horkou vodu, nebo páru (sytá, přehřátá).

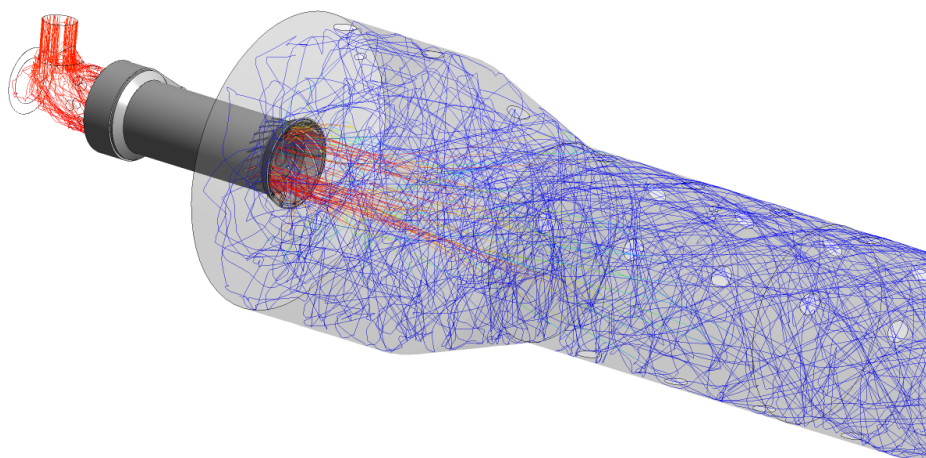
Kotel a periferie

- **Kotel** - připravovaná je koncepce jak v žárotrubném tak ve vodotrubném provedení. Konkrétní konstrukční řešení bude přizpůsobeno dle požadovaného výkonu a výstupních parametrů média. Jedním ze základních parametrů sledovaných při návrhu konstrukce kotle je kompaktnost provedení pro snadnou instalaci do stávajících prostor kotelen. Současně je uvažováno s požadavky na minimalizaci a jednoduchost údržby a také přístupnost pro případné opravy. Aktuálně připravovaný horkovodní prototyp v žárotrubném provedení je na straně spalin konstrukčně řešen přední a zadní obratovou komorou s vraty pro přístup jednak do spalovací komory, tak i k trubkovým svazkům pro jejich mechanické čištění. Dna obratových komor jsou opatřena přírubami pro jejich čištění od nánosů, bez nutnosti otevírat celá vrata. V horní části zadní obratové komory je vyústění spalin z kotle. Do spalovací komory je zaústěn práškový a pomocný zapalovací a stabilizační hořák. Kotel je osazen nátrubky pro přívod a odvod médií a měření. Na stropu kotle je situován vlez, který slouží pro montážní a kontrolní účely. Polohu kotle na pozici zajišťují dvě nohy s límci přichycenými k plášti.
- **Skladování paliva** - zásobník paliva je vybaven nosnou ocelovou konstrukcí. Nepředpokládá se tepelná izolace. Zásobník je vybaven pojistnými protivýbuchovými membránami, bodovým havarijním stavoznakem a průběžným stavoznakem. Silo bude plněno ze silničních/železničních přepravníků plnicím potrubím, vybaveným odlučovačem cizích částic a materiálovým uzávěrem. Součástí tohoto systému je odprášení zásobního sila tkaninovým filtrem s odsávacím ventilátorem a podle potřeby s ochranným filtrem. Silo je dále vybaveno plošným provzdušňovacím zařízením pro usnadnění výtoku materiálu ze sila. To sestává z provzdušňovacích skříní instalovaných ve výsypce sila a napájených tlakovým vzduchem z dopravního dmychadla pseudopravy.
- **Pneumatická doprava paliva, dávkování paliva do hořáku** - doprava multiprachy ze sila do hořáku navazuje na výstupní přírubu sila ručním revizním uzávěrem a dálkově ovládaným materiálovým provozním uzávěrem. Na něj pak navazuje dávkovací nádoba s uvolňovacími pulzními tryskami. Na výpad nádoby navazuje podavač pro jemné dávkování, vybavený frekvenčním měničem. V případě instalace dvou kotlů zásobovaných z jednoho sila, je pod dávkovací nádobou umístěno rozdvojení pro dva nezávislé podavače s frekvenčními měniči. Pod podavačem je nainstalován směšovač pseudopravy, na jehož výstupní potrubí navazuje dopravní potrubí pseudopravy. To je na svém konci napojeno na přírubu hořáku. Vzduch pro dopravu i pro provzdušňování sila je dodáván z dmychadlové stanice. Vzduch je ke spotřebičům přiveden ocelovým potrubím s potřebnými armaturami a čidly.
- **Ohřívák vzduchu** - trubkový ohřívák vzduchu (LUVO) je na straně spalin konstruován jako dvoutahový protiproudý výměník. Spaliny z kotle vstupují do horní části prvního tahu LUVO a proudí svazkem trubek. Ve spodní části - výsypce - se spaliny obracejí a proudí trubkami druhého tahu vzhůru směrem k výstupnímu hrdlu spalin z LUVO. Studený vzduch vstupuje hrdlem přes plášť v

horní části druhého tahu LUVO a proudí v prostoru mezi trubkami kolem přepážek do spodní části. Propojovacím kanálem mezi pláštěm druhého a prvního tahu se dostává do prostoru mezi trubky prvního tahu a kolem přepážek výstupnímu hrdlu v horní části pláště. Spalinová a vzduchová část mohou vzájemně dilatovat přes kovové kompenzátory. Popílek ze spalin padá do výsypky, odkud je kontinuálně odváděn do popílkového sila. Horní víka spalinového prostoru jsou demontovatelná a trubky tak lze při periodických odstávkách kontrolovat, případně čistit.

Vývoj hořáku

Od prvotní idey k funkčnímu výrobku je velmi dlouhá a náročná cesta. A to i přes to, že naše společnost má historicky velmi bohaté zkušenosti s návrhem kotlů i hořáků. Zásadní překážkou pro využití ověřeného konceptu hořáku, využívaného pro velkoprostorové spalovací komory, tvořené membránovými stěnami je fakt, že se jedná o kotel nízkého výkonu, s malou spalovací komorou a navíc s dokonale chlazenými stěnami. Bylo proto nutno vyvinout zcela novou konstrukci práškového hořáku, vhodného pro použití v dané aplikaci. Dosažení požadované účinnosti a výkonových parametrů je umožněno díky intenzivnímu využívání moderních nástrojů matematického modelování, v kombinaci s nenahraditelnými zkušenostmi a znalostmi odborníků, podpořenými možnostmi provádění spalovacích zkoušek na reálném zařízení. Od začátku projektu vývoje nového hořáku, byly paralelně rozvíjeny dva odlišné koncepty konstrukčního řešení. Postupem doby byl jeden z konceptů opuštěn a veškeré síly byly zaměřeny na rozvoj řešení, které je naznačeno níže.



Obr. 2: Průběh odplynění částic uhlí ve spalovací komoře osazené jedním z testovaných typů hořáku.

Základní myšlenka designu hořáku je umělé vytvoření velmi silného turbulentního proudu. Toto intenzivní zavíření vede k dokonalému provzdušnění paliva spalovacím vzduchem, ještě před vlastním zapálením směsi, a také k vytvoření nucené recirkulace části spalovacího vzduchu podél osy hořáku, přímo proti proudu paliva, vstupujícího do prostoru těla hořáku, což dále napomáhá k dokonalému rozprášení uhelných částic v objemu vzdušiny. Zajištění dostatečného přístupu kyslíku, obsaženého ve spalovacím vzduchu, k částicím uhelného prášku, je nezbytnou podmínkou pro vysoký stupeň vyhoření fixního uhlíku, který tyto částice obsahují. Černé uhlí se vyznačuje právě vysokým obsahem fixního uhlíku a nízkým obsahem prchavé hořlaviny, proto je možno zajistit dokonalé vyhoření pouze splněním podmínky dostatečně dlouhého pobytu částice v oblasti s vysokými teplotami, za přístupu okysličovadla. K řešení tohoto problému přispívá také souběžný návrh hořáku i spalovací komory, s precizním dávkováním dospalovacích vzduchů.

Během vývoje se ukázalo, že relativně malé rozměry spalovací komory působí negativně na proud plamene vystupujícího z hořáku, který se díky tomu snadno stával nestabilním. Vyvinutí stabilního plamene, při fungující zmíněné nucené recirkulaci uvnitř hořáku, se nakonec podařilo díky citlivé volbě ústových rychlostí hořáku. Přesněji pomocí správného nastavení poměru dynamických tlaků na ústí hořáku a ve spalovací komoře.

Fyzikální experimenty

Při ověřování funkčnosti prototypů hořáku provádíme dva typy spalovacích zkoušek. První z nich je tzv. testování do volného prostoru, kdy je používán přípravek, skládající se ze zásobníku paliva s rotačním podavačem, pneumatické dopravy paliva do hořáku, vzduchového ventilátoru a příslušenství pro regulaci průtoku primárního a sekundárního spalovacího vzduchu do hořáku. Dávkování paliva je řízeno pomocí frekvenčního měniče otáčkami podavače paliva. Tyto testy mají za cíl potvrzení provozuschopnosti prototypu, ověření tvaru, délky plamene a jeho stability.



Obr. 3: Fotografie plamene během testování jednoho z prototypů hořáku na černohuhelný multiprach.

Stěžejním prvkem při návrhu a odlaďování vhodného typu hořáku jsou spalovací zkoušky na Zkušebním spalovacím zařízení firmy IVITAS, a.s., jejichž primárním cílem je ověření chování hořáku při provozu ve spalovací komoře. Jsou vyšetřovány emisní charakteristiky, stupeň vyhoření paliva, vliv teploty a přerozdělení spalovacích vzduchů a mnoho dalších faktorů ovlivňujících spalovací proces. Datové soubory, které jsou během těchto spalovacích zkoušek vytvářeny, umožňují následně společně s metodami matematického modelování, predikovat chování hořáku ve spalovací komoře reálného kotle a uzpůsobit design spalovací komory tak, aby mohl být maximálně využit potenciál paliva.



Obr. 4-6: Zkušební spalovací zařízení IVITAS, a.s.: Budova, spalovací komora s pásmovými vzduchy a chlazením, horní část SK s instalovaným hořákem vč. příslušenství.

Budoucí vývoj

V současné době je připravována výrobní dokumentace dalšího prototypu hořáku, který je proti předchozímu upraven s ohledem na výsledky spalovacích zkoušek a provedených simulací. Po provedení série spalovacích zkoušek s tímto hořákem, se předpokládá úspěšné potvrzení schopnosti hořáku bezpečně plnit všechny požadované parametry, včetně vysoké stability hoření. Po splnění tohoto stanoveného milníku, budou zahájeny činnosti vedoucí k výrobě prvního prototypu kotle, který by měl být uveden do provozu na konci roku 2017. Především bude věnováno úsilí na optimalizaci hořáku a jeho umístění v konkrétní spalovací komoře tak, aby byly zaručeny vhodné podmínky pro spalování při všech provozních stavech.

Závěr

Požadavky moderní ekologické a decentralizované energetiky, vedou k rostoucí poptávce zdrojů, které jsou schopné s maximální účinností reagovat na rychlé změny zátěže. Jako velmi slibnou a ekonomicky výhodnou alternativou ke klasickým plynovým kotelnám, se jeví konstrukce kotle popsána v tomto článku. Jedná se o technologii využívající výhody nižší ceny vstupní suroviny (uhlí) oproti obdobným zařízením spalujícím plynná případně kapalná paliva. Současně se jedná o čistý provoz s vysokou výkonovou dynamikou, s vysokým stupněm automatizace a s nízkými nároky na obsluhu. Při porovnání s plynovou kotelnou je třeba objektivně zmínit vyšší investiční náklady na výstavbu multiprachového kotle, stejně tak jako větší nároky na prostor. Ovšem při porovnání například s kotly roštovými jsou

nároky na zastavěný prostor nižší. Při zvážení vhodnosti výstavby kotle na multiprach je třeba brát v úvahu dopravní obslužnost, tedy dostupnost pro cisternové automobily, případně vlaky.

Technologii multiprachového kotle lze rovněž s výhodou instalovat v lokalitách bez možnosti připojení na dostatečně dimenzované rozvody zemního plynu, případně tam, kde by připojení ZP bylo komplikované či nákladné.

Na základě již uskutečněných spalovacích zkoušek můžeme rovněž konstatovat, že tato technologie má rovněž potenciál obstát v prostředí stále se zpřísňujících emisních limitů.