



Odborná informace

Dipl.-Ing. Matthias Raisch, Bosch Industriekessel GmbH



BOSCH

Stvořeno pro život

Využití spalného tepla

Provozovatelé parních a horkovodních kotelních zařízení mohou při použití dostupné a osvědčené kondenzační techniky snížit své provozní náklady a docílit navíc významného přínosu k omezení emisí CO₂ a k ochraně životního prostředí. Při soustavném využívání kondenzační techniky se vícenáklady amortizují za méně než dva roky.

Výhřevnost, spalné teplo a kondenzační teplo

Výhřevnost („dolní výhřevnost“; Hu nebo Hi) je energie, která se uvolní při úplném spálení paliva, když se spaliny ochladí při konstantním tlaku až na vztažnou teplotu. Vodní pára, která vzniká při spalování, zůstává při tom v plynném stavu. Výhřevnost uvolňuje při tom jen citelné teplo obsažené ve spalinách, ne však teplo vázané ve vodní páře.

Výpočet účinnosti se provádí ve vztahu na výhřevnost paliva, protože v dřívějších dobách bylo zcela nezbytné vypouštět vodní páru v plynném stavu v důsledku vysokých teplot spalin. Tím se předcházelo kondenzaci spalin a možné korozi kotle, resp. systému odvádění spalin nebo zanášení komína sazemí.

Spalné teplo („horní výhřevnost“; Ho nebo Hs) je energie, která se uvolňuje při úplném spálení paliva, když se spaliny ochladí při konstantním tlaku až na vztažnou teplotu. Spalné teplo obsahuje navíc energii uvolněnou při kondenzaci vodní páry, obsažené ve spalinách, tzv. kondenzační teplo.

Základy využívání spalného tepla

Energii obsaženou ve vodní páře spalin lze dnes využívat pomocí kondenzační techniky. Konstrukční materiály výměníků tepla, které jsou odolné vůči korozi, systémy odvádění spalin a komíny odolné vůči vlhkosti umožňují dlouhodobý provoz, aniž by došlo ke škodám na zařízení. Pro využití spalného tepla je zapotřebí odejmout spalinám nejen citelné teplo, nýbrž částečně také ve vodní páře vázané kondenzační teplo.

Změny trendů v používání paliv zvýhodnily kondenzační techniku

Spalování těžkého topného oleje v Evropě se v posledních letech stále více omezovalo (např. používání těžkého topného oleje jako paliva je v Německu od roku 1986 zakázáno ustanovením směrnice TA-Luft pro spalovací zařízení < 5 MW).

Ze všech válcových kotlů, instalovaných v Německu v posledních 2 letech, s výkonem do 20 MW, bylo 25 % vybaveno spalováním plynu, 40 % spalováním zemního plynu v kombinaci s lehkým topným olejem, přičemž je přednostně spalován plyn a 35 % spalováním lehkého topného oleje.

Aktivní ochrana životního prostředí a technická řešení pro zlepšení kondenzační techniky jsou v současné době hlavní důvody pro masivnější použití zemního plynu jako paliva.

Jestliže se provede srovnání charakteristických hodnot obvyklých paliv, které jsou relevantní pro využití kondenzační techniky, nabízí zemní plyn nejvyšší využitelný potenciál (viz tabulka 1).

Zemní plyn nabízí

- ▶ nejvyšší obsah vody ve spalinách
- ▶ nejvyšší rosný bod spalin
- ▶ nejvyšší hodnotu pH spalinového kondenzátu

Při srovnání s topným olejem LTO je k dispozici více kondenzačního tepla při vyšší kondenzační teplotě, tzn. že kondenzace spalin začíná již při vyšších teplotách spalin. Spaliny vznikající při spalování neobsahují téměř žádné saze a sloučeniny síry. V důsledku toho jsou u těchto spalovacích zařízení velmi nízké požadavky na odstraňování znečištění teplosměnných ploch pro udržení hospodárného provozu a pro předcházení poruchám. Protože také hodnota pH kondenzátu ze spalin je ve srovnání s topným olejem LTO vyšší, jsou náklady na likvidaci kondenzátu nižší.

Prokázání vhodnosti použití nízkosírného topného oleje v kondenzační technice

Silnější proniknutí nízkosírného topného oleje na trh vede k zesílené poptávce po kondenzačních systémech také u tohoto paliva.

Nízký obsah síry v palivu (maximálně 50 ppm = 0,005 váhových procent ve srovnání s 0,2 váhových procent síry u topného oleje LTO) zvýhodňuje spalování bez sazí a bez tuhých zbytků, takže kondenzace spalin může být využívána také u nízkosírného topného oleje.

Výzkumy na zkušebně prokázaly, že při dodržení předepsaných intervalů čištění výměníku tepla lze také u nízkosírného topného oleje docílit podobně vysokou provozní využitelnost zařízení jako při využití spalinového tepla u plyných paliv.

Odsíření jako přídavný krok výrobního procesu poněkud zdražuje nízkosírný topný olej – nicméně vyšší náklady na palivo jsou vlivem vyšší účinnosti a s tím spojené úspory paliva více než vyrovnány (k tomu je třeba připočítat, že od roku 2009 je daňová sazba stanovena dle obsahu síry v palivu, což vede k daňovému zvýhodnění nízkosírného topného oleje ve srovnání s topným olejem LTO).

Jestliže jsou kotle vybaveny duálním systémem spalování volitelně pro spalování zemního plynu nebo topného oleje LTO (např. ve spojení se smlouvami na odpojování plynu, dle kterých musí provozovatel při silném mrazu dočasně umožnit provoz kotle s náhradním palivem – lehkým topným olejem LTO), je kondenzační výměník tepla vybaven spalinovým ohozem.

Tabulka 1: Charakteristické hodnoty různých paliv

Palivo	Výhřevnost (H_u) [kWh/m ³ /kg]	Spalné teplo (H_o) [kWh/m ³ /kg]	Poměr H_o/H_u [%]	Rosný bod spalin [°C]	Kondenzát teoret. [kg/kWh]	Hodnota pH [-]
Zemní plyn „H“	10,35	11,46	110,7	55,6	0,16	2,8 – 4,9
Zemní plyn „L“	8,83	9,78	110,8	55,1	0,16	2,8 – 4,9
Propan	25,89	28,12	108,6	51,4	0,13	2,8 – 4,9
Butan	34,39	37,24	108,3	50,7	0,12	2,8 – 4,9
Topný olej ELTO*	11,90	12,72	106,9	47,0	0,10	1,8 – 3,7**

* Kvalita topného oleje ELTO „extra lehký“: maximální obsah síry v palivu 0,2 váhových procent
Kvalita nízkosírného topného oleje: maximální obsah síry v palivu 50 ppm=0,005 váhových procent

** Hodnota pH kondenzátu z nízkosírného topného oleje: 2,3 – 4,5

Kondenzační technika umožňuje dosáhnout účinnosti přes 100 %, vztaheno na výhřevnost H_u

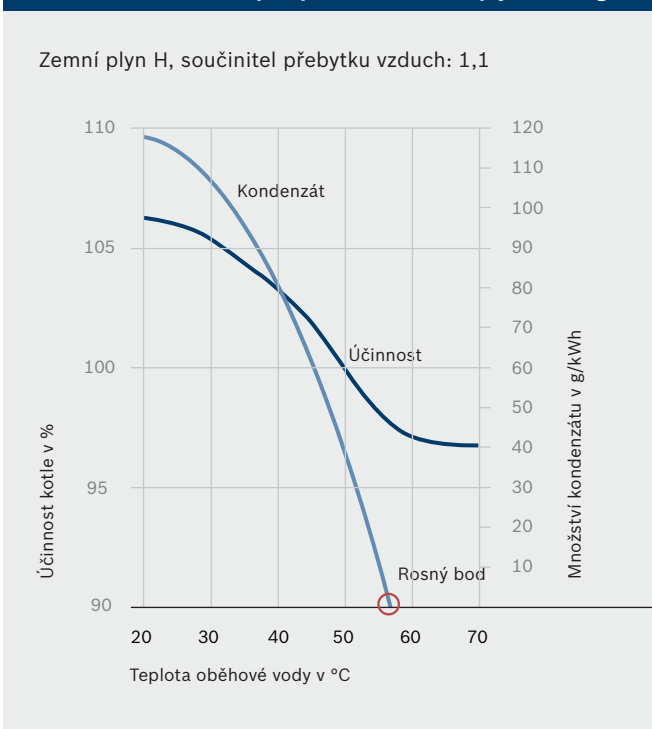
Pro využití spalného tepla musí být spaliny ze spalovacího zařízení přivedeny ke kondenzaci ochlazením pod teplotu rosného bodu. Pro využití tohoto potenciálu musí být teplosměnné plochy v kontaktu s mokkými spalinami provedeny z nerezové oceli.

Spaliny musí být ochlazený pod teplotu svého rosného bodu vhodnými výměníky tepla a co možná nejchladnější vodou v systému.

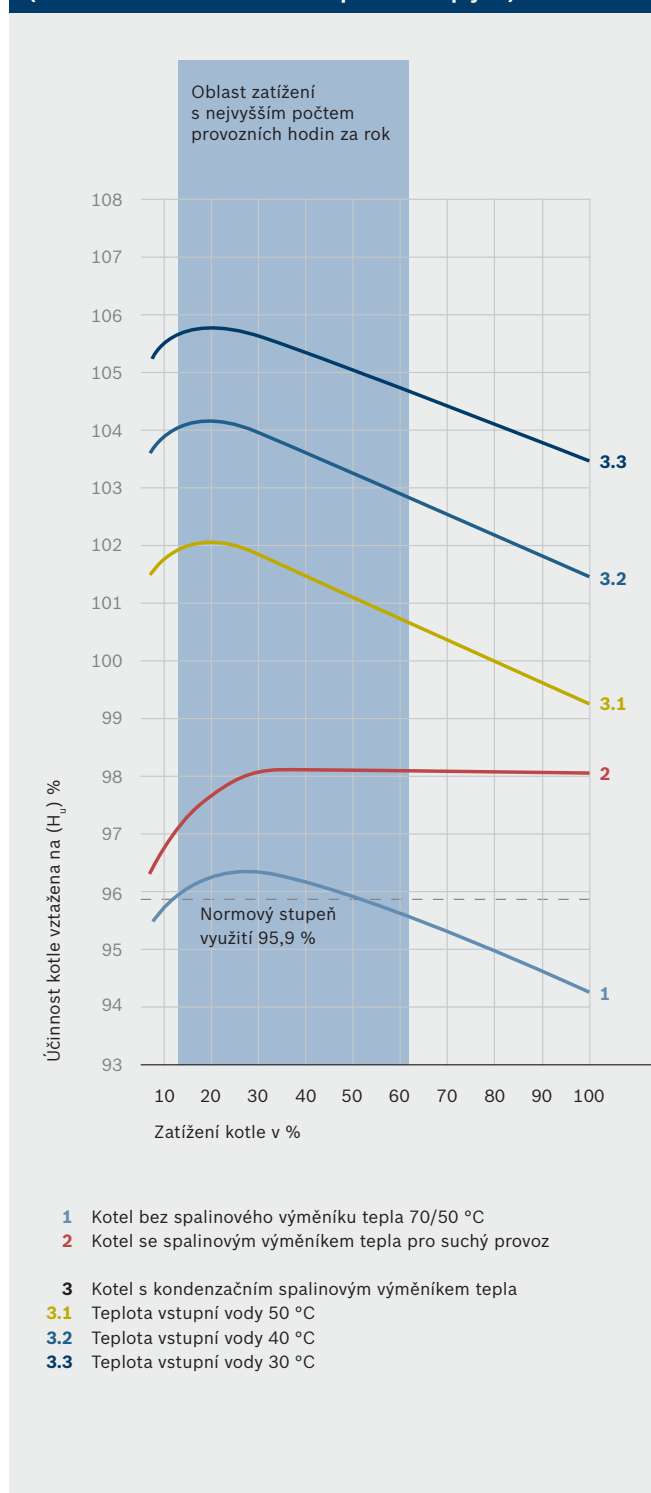
Graf 1 ukazuje, jaký vliv má rosný bod spalin a teplota vratné vody na množství kondenzující vodní páry a na dosažitelnou účinnost kotle.

V grafu 2 jsou jako příklad uvedeny křivky účinnosti, které ukazují potenciál kondenzační techniky. Aplikací systému využití spalného tepla se docílí významného zvýšení provozního a hospodářského zisku v oblasti výroby horké vody a páry. Ve srovnání s konvenčními systémy s obvyklými spalínovými výměníky tepla je možné dosáhnout využitím spalného tepla redukce množství paliva (a tím nákladů na palivo) o více než 10 %. Kondenzační technika tak představuje přínos k ochraně životního prostředí a nabízí možnost redukce emisí CO_2 .

Graf 1: Vliv teploty oběhové vody na účinnost kotle a množství kondenzátu při spalování zemního plynu (Ruhrgas)



Graf 2: Křivky účinnosti pro zařízení s kondenzací spalin (Příklad: horkovodní kotel se spalováním plynu)



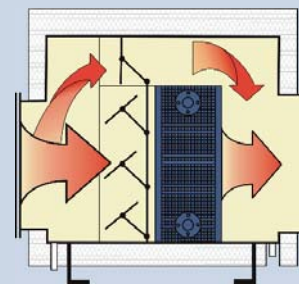
Kondenzační systémy

Kondenzační kotle a plynové ohřivače vody pro menší výkony jsou většinou celé vyráběny z nerezové oceli. Horkovodní kotle s vysokým výkonem pro vytápění větších budov nebo komplexu budov nejsou z technických důvodů a s ohledem na vysoké náklady vyráběny z nerezové oceli. Takové kotle jsou pro využití spalného tepla vybaveny speciálním nerezovým spalninovým výměníkem tepla, který může být přímo integrován do vybavení kotle nebo může být instalován jako separátní modul (obr. 1 a 2).

U parních kotlů nemohou být z důvodu použití dvoustupňového konceptu zpětného využívání tepla spalin (viz odstavec: Oblasti použití kondenzace spalin u parních kotlů) uplatněny žádné integrované systémy. Zde se uplatňují nerezové spalninové výměníky tepla, instalované jako separátní modul, který je instalován do výstupu spalin za kotlem (obr. 2).

Spalninový výměník tepla instalovaný jako separátní modul se hodí zvláště dobře pro rekonstrukce kotelních zařízení. Zobrazený horkovodní kotel (obr. 1) je konstruován jako plamencový žárotrubný kotel v třítahovém provedení s vodou chlazenou zadní obratovou komorou spalin. V důsledku funkčně zaoblené konstrukce mohou být za velké sálavé výhřevné plochy plamence zapojeny bohatě dimenzované konvekční výhřevné plochy ve 2. a 3. tahu spalin. Tím lze docílit i bez aplikace vířivých vložek v žárových trubkách a bez dodatečně zapojených výhřevných ploch normového stupně využití přes 95 %.

Obrázek 2: Spalninový výměník tepla k samostatné instalaci a k dovybavení zařízení



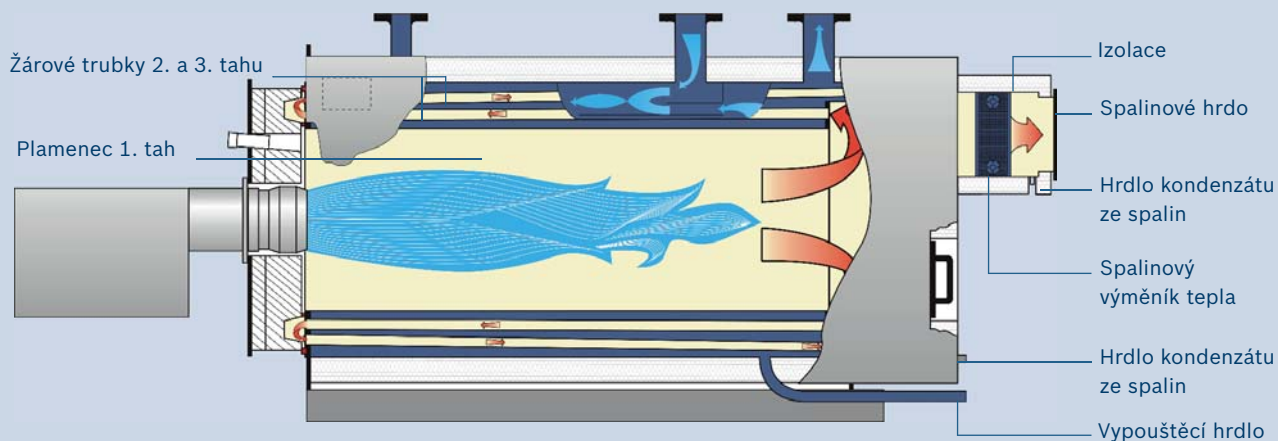
Oblasti použití kondenzační techniky u horkovodních systémů

Až do nedávné doby bylo těžiště použití kondenzační techniky v oblasti malých kondenzačních kotlů a plynových ohřivačů vody pro ústřední topení a výrobu užitkové vody v malých obytných jednotkách a obytných domech. Postupně se využití kondenzace prosadilo i u větších systémů.

U menších systémů se v současné době rozšiřuje využití kondenzace spalin při spalování topných olejů (v důsledku dostupnosti nízkosírných topných olejů). Je jen otázkou času, než se prosadí využívání kondenzace při spalování topných olejů také v oblasti vyšších výkonů.

Rozhodující pro úroveň docílitelného využití kondenzace je topný systém a skutečné provozní teploty. Základním předpokladem jsou topné systémy, u kterých topná voda cirkuluje přímo přes kotel a topná tělesa.

Obrázek 1: Řez teplovodním kotlem UNIMAT s integrovaným spalninovým výměníkem tepla



Další opatření je modulované řízení teploty vody v kotli v závislosti na venkovní teplotě. Nově projektované podlahové topné systémy a velkoplošná nízkoteplotní topná tělesa jsou zvláště vhodná pro kondenzační kotle a celoroční kondenzační provoz. Početná stará zařízení byla vybavována předdimenzovanými topnými tělesy, která poskytují také při nízkých provozních teplotách v převážné části topného období postačující topný výkon, takže jsou rovněž vhodná pro vybavení kondenzačními kotli. Také pro topné systémy s rozdílnými teplotními zónami se pro nízkoteplotní oblast vyplatí instalovat kondenzační systémy. U mnoha budov byla dodatečně provedena tepelně-izolační opatření, takže i při nízkých teplotách systému jsou budovy dostatečně vytápěny. Po největší část roku mohou být teploty ve vratné větvi řízeny v souladu s potřebami kondenzačních kotlů.

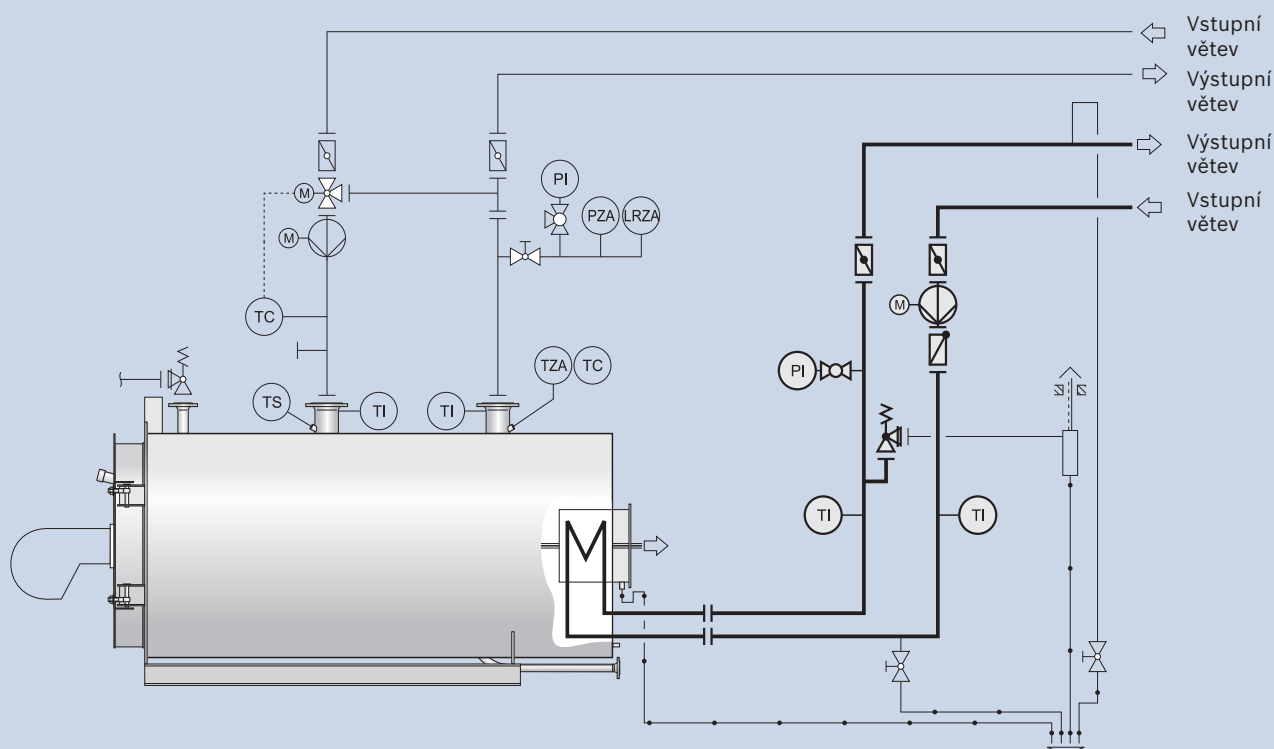
Horkovodní kotle pro potřeby technologických procesů nebo pro dálkové topení s primárním topným okruhem pro ohřev domovních stanic a na něj napojené sekundární topné okruhy pro vytápění budov jsou většinou provozovány s teplotou vratné vody přes 100 °C, tj. vysoko nad teplotou rosného bodu spalin, takže kondenzační technika zde není použitelná. Nicméně se instalují spalinové výměníky tepla pro „suchý“ provoz, se kterými lze docílit účinnost kotle až 98 %. Provoz s využitím kondenzace je v těchto případech možný jen tehdy, pokud je v zařízení dostupný nízkoteplotní sekundární oběh.

Hydraulické zapojení kondenzačních tepelných výměníků v teplovodních kotelnách

Nejvyšší využití spalného tepla se docílí s co možná nejnižší teplotou vratné vody. Vratná voda ze sítě s co možná nejnižší teplotou (pod rosným bodem spalin z paliva) proudí kondenzačním výměníkem tepla, přičemž dochází na teplosměnných plochách ke kondenzaci. Spaliny se ochlazují, voda v nízkoteplotním topném okruhu se ohřívá a vrací se zpět do sítě.

Vratná voda se před vstupem do kotle míchá v modulu udržování teploty vratné vody na potřebnou nejnižší vstupní teplotu do kotle 50 °C s vodou výstupní větve (obr. 3). V kotli dochází s pomocí speciálního injektoru v horní části kotle k účinnému promíchání. Regulační rozsah přiřazeného modulačního hořáku může být také plně využit. Také v oblasti malého a nízkého zatížení hořáku se vyskytují dlouhé časové úseky provozu hořáku s nízkými teplotami spalin a optimálním využitím kondenzace spalin. Pomocí udržování teploty vratné vody se vyhneme teplotám kotelové vody pod rosným bodem spalin, které by vedly ke korozím v kotli.

Obrázek 3: Hydraulické zapojení pro optimální využití kondenzace spalin



Oblasti použití kondenzace spalin u parních kotlů

Parní kotle se střední provozní teplotou, nejčastěji mezi 150 až 200 °C, jsou napájeny odplyněnou napájecí vodou o teplotě mezi 85 až 105 °C. Teploty spalin u těchto parních kotlů se v důsledku fyzikálních závislostí pohybují mezi 230 až 280 °C. Pro redukci ztrát ve spalinách se instalují spalinové výměníky tepla, ve kterých probíhá ohřev napájecí vody. Spaliny se při tom ochlazují přibližně na 130 °C, což leží zřetelně v „suché“ oblasti nad teplotou rosného bodu.

Využití kondenzace je u této energetické koncepce nemožné. Při instalaci výměníku tepla druhého stupně s nízkoteplotními spotřebiči může být také u těchto kotlů dosaženo využití kondenzace spalin (graf 3). Tento kondenzační výměník tepla je vyroben z nerezové oceli, stejně jako všechny připojené spalinové cesty a odvodňovací potrubí.

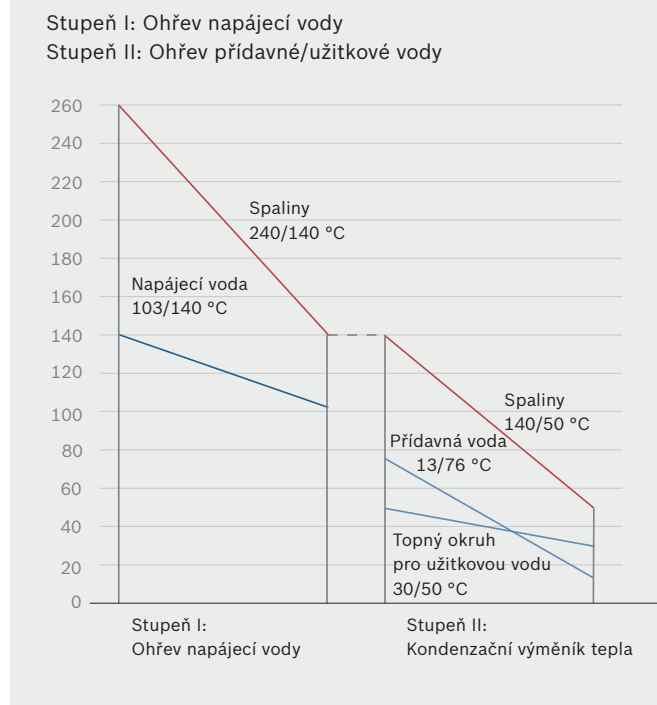
V protikladu k systémům vytápění budov s jasně definovatelnými teplotami v systému a ve vratné větvi nalézáme v průmyslu nejrozdílnější systémy využití páry pro výrobní účely a vytápění. Proto si zde navzájem konkurují nejrůznější systémy energetických úspor se systémy zpětného využití tepla. Aby bylo možné stanovit nejehospodárnější řešení, je třeba provést důkladný přehled těchto systémů se zásadní analýzou všech zdrojů odpadního tepla a všech odběratelů tepelné energie. Je přitom nezbytná úzká spolupráce mezi provozovatelem, projektantem a výrobcem kotle, aby bylo možné vybrat z mnoha možností to nejehospodárnější opatření.

Zapojení kondenzačních výměníků spalin v řazení s parními kotli

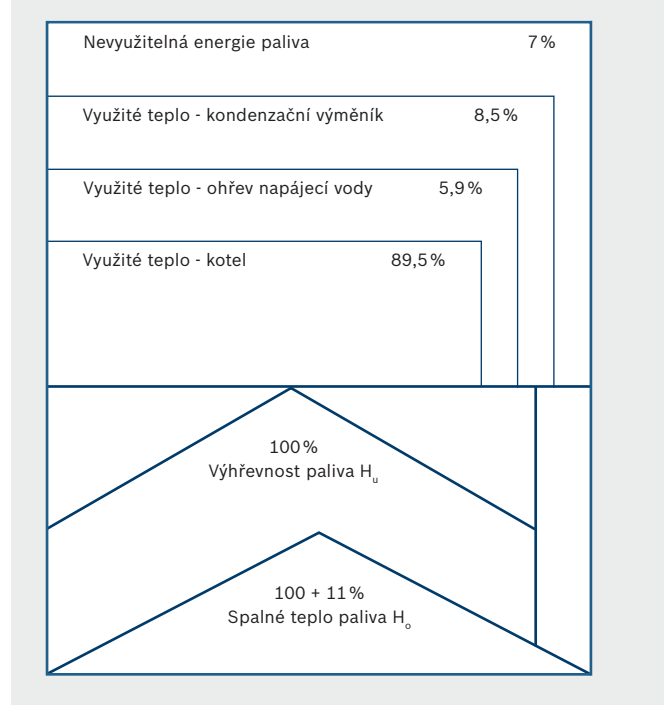
U zařízení na dodávku páry se získává zpět co možná nejvíce kondenzátu, který se pak vrací do systému zásobování kotlů napájecí vodou. Nicméně existují systémy, u nichž v důsledku přímého ohřevu párou není k dispozici žádný vratný kondenzát (např. ve výrobě polystyrénu, při zvlhčování vzduchu, v pekárnách) nebo se vrací kondenzát s obsahem cizích látek, který není znovu použitelný. Navíc se vyskytují ztráty odluhem a odkalem, odparem a netěsnostmi. Tato ztrátová množství jsou velice rozdílná. Ztráty mohou představovat více než polovinu vyrobeného množství páry a musí být nahrazovány přídavnou vodou. Přídavná voda je k dispozici za úpravou vody většinou o teplotě maximálně 15 °C a velice dobře se hodí pro předeřev v kondenzačním výměníku tepla. Nízká teplota vody na vstupu podporuje intenzivní kondenzaci spalin a nejvyšší možné využití kondenzace spalin. U této aplikace se vyskytuje nejvyšší faktor současnosti odpadního tepla, které je k dispozici a existující potřebou tepelné energie (viz obr. 4 – varianta A).

V mnoha průmyslových provozech, zvláště v potravinářském odvětví, existuje velká potřeba užitkové vody. V těchto případech může být měkká užitková voda ohřívána v kondenzačním výměníku. Dosažitelné teploty vody jsou cca 50-70 °C. Další ohřev užitkové vody na vyšší požadované teploty se může provádět v připojeném výměníku tepla ohřívání párou (viz obr. 4 – varianta B).

Graf 3: Dvoustupňové zpětné získávání tepla spalin
Teplota spalin a vody při 100% zatížení



Graf 4: Tepelná bilance parního kotle vybaveného technikou využití spalného tepla



Graf 4 ukazuje příklad tepelné bilance středotlakého parního kotle s integrovaným spalínovým výměníkem tepla pro ohřev napájecí vody a připojeným kondenzačním výměníkem tepla pro ohřev užitkové nebo přídavné vody při vysokém faktoru současnosti. Jako ztráty tepla obsažené v palivu zůstávají ztráty vedením a sáláním kotle, dále ztráty výměníku tepla, potrubí a v důsledku fyzikálních závislostí nevyužitelný podíl kondenzace spalín (omezená velikost teplosměnných ploch).

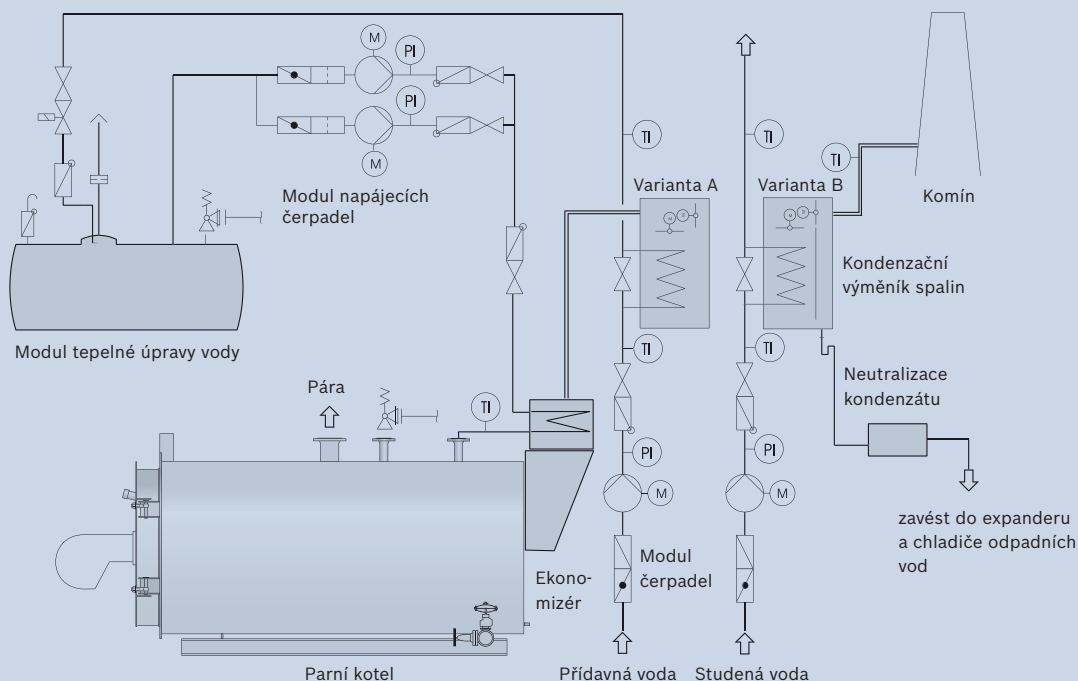
Spalínový systém při kondenzaci

Všechny spalínové cesty, které přicházejí do styku s kondenzujícími spalínami, musí být vyrobeny z korozivzdorného materiálu jako vodo- a plynotěsné zařízení. Korozí ohrožené díly skříňe spalínového výměníku jsou stejně jako potrubí spalín a komín většinou zhotoveny z nerezové oceli. V důsledku využití kondenzace vznikají velmi nízké teploty spalín, klesající až na úroveň 50 °C. Přirozený tah komína nestačí na to, aby hospodárně odvedl spaliny s podtlakem ve spalínových cestách, jak to bylo dříve obvyklé. Zařízení spalínového traktu včetně komína musí být proto plynotěsné, konstruované pro přetlakový provoz na straně spalín, aby bylo možné používat menší průtočné průřezy. Hořák, resp. ventilátor spalovacího vzduchu hořáku, musí být dimenzován pro překonání všech odporů na straně spalín až do komína. To vyžaduje celkovou součinnost při projektování, přezkoušení a odsouhlasení.

Odvádění a neutralizace kondenzátu

Spalínový kondenzační výměník, spalínová potrubí a komín musí být vybaveny vhodným odvodňovacím zařízením pro odvádění kondenzátu. Teoretická množství kondenzátu jsou uvedena v tab. 1. Skutečně odváděná množství kondenzátu jsou závislá na kvalitě kondenzátu a dosahují nejčastěji cca 40 – 60 % teoretického množství dle tab. 1. Při měření hodnoty pH jako stupně kyselosti kapalin, má kondenzát při spalování zemního plynu hodnotu pH mezi 2,8 až 4,9, resp. kondenzát ze spalování nízkosírného topného oleje hodnotu pH mezi 1,8 až 3,7. Teploty kondenzátu leží mezi 25 – 55 °C. Při odvádění kondenzátu do veřejné sítě odpadních vod musí být respektovány komunální předpisy pro odpadní vody. Technické sdružení pro odpadní vody vydalo směrnici, která pro spalovací zařízení s využitím kondenzace od topného výkonu 200 kW doporučuje instalaci neutralizačního zařízení a udržování hodnoty pH > 6. Praxe při nakládání s odpadními vodami je v jednotlivých zemích a komunálních oblastech velmi rozdílná. Pro účely neutralizace mohou být pro malá zařízení použity filtry s obnovitelnou náplní dolomitického vápna (krabice s granulátem) a pro velká zařízení nádrže s dávkovacím zařízením pro louh sodný (tekuté neutralizační zařízení). Tato zařízení zvednou patřičně hodnotu pH odváděného kondenzátu.

Obr. 4: Blokové schéma zapojení vysokotlakého parního kotle se dvěma stupni spalínového výměníku tepla (ekonomizér/kondenzátor spalín)



Úvaha o hospodárnosti

Pro zjištění úspor paliva a doby amortizace je třeba každý jednotlivý případ propočítat dle uznávané metodiky. Paušální výrok je méně smysluplný. Jestliže se srovnávají investice na instalaci konvenčního horkovodního kotle s investicemi na kotel s integrovaným kondenzačním výměníkem tepla, musí být respektovány následující aspekty:

- ▶ Náklady na instalaci integrovaného z nerezové oceli vyrobeného spalínového výměníku tepla, u duálního hořáku včetně by-passu, a hydraulického připojení.
- ▶ Náklady na odvádění kondenzátu a neutralizaci od 200kW.
- ▶ Eventuálně náklady na potrubí spalin z nerezové oceli; komín je již většinou instalován z nerezové oceli.
- ▶ Spalovací zařízení zpravidla nevyžaduje žádné vícenáklady. Zvýšení odporu na straně spalin je kompenzováno sníženým množstvím spalin v důsledku úspory množství paliva.

Při respektování těchto aspektů vychází výpočet vícenáklady na horkovodní kotel o výkonu 2,5 MW s integrovaným kondenzátorem spalin oproti konvenčnímu horkovodnímu kotli, ale bez komína, na cca 20.000,- EUR. Při průměrném zatížení kotle na 60 % jsou tyto náklady po cca 4200 provozních hodinách vykompenzovány. Podkladem pro výpočet je o cca 7,5 % vyšší účinnost zařízení s kondenzací spalin a průměrná cena zemního plynu 40 centů/m³.

Potenciál využití kondenzace spalin

V oblasti centrálního zásobování teplem s přímým napojením všech spotřebičů tepla se vyskytuje vysoký, až dosud zdaleka nevyužitý potenciál kondenzace spalin. Větší počet analýz hospodárnosti a výzkumů použitelnosti kondenzace spalin v existujících systémech centrálního zásobování teplem vedlo často k poznání, že potřebné množství tepla v převážné části topného období může být také přivedeno na nižší teplotní úrovni. Využití kondenzace spalin by bylo v mnoha případech možné. Dodavatelé tepla by mohli zvýšit svou konkurenceschopnost a navíc by prokázali přínos pro aktivní ochranu životního prostředí.

Využívání kondenzace spalin je dle dosavadního stavu poznání možné také u středotlakých parních kotlů. Osvědčená technika je k dispozici. Široké uplatnění v průmyslu je možné, jestliže projektant provede důkladnou analýzu spotřebičů tepla a věnuje více pozornosti odstupňovanému ohřevu nízkoteplotních topných okruhů. Pozměněné koncepty ohřevu by mohly umožnit uplatnění využití kondenzace spalin v širokém rozsahu zásobování průmyslu párou.

Nejen v případě horkovodních kotlů, ale i u parních kotlů budou investiční vícenáklady financovány sníženým množstvím paliva. Životní prostředí bude méně zatíženo v důsledku snížených emisí škodlivých látek. Vlivem redukce CO₂ dojde k přínosu v ochraně klimatu.

Bosch Termotechnika s.r.o.
Průmyslová 372/1
108 00 Praha 10
Tel.: +420 272 191 111
Fax: +420 272 700 618

www.bosch-industrial.com

Výrobní závody:
Závod 1 Gunzenhausen
Bosch Industriekessel GmbH
Nürnberger Straße 73
91710 Gunzenhausen
Německo

Závod 2 Schlungenhof
Bosch Industriekessel GmbH
Ansbacher Straße 44
91710 Gunzenhausen
Německo

Závod 3 Bischofshofen
Bosch Industriekessel Austria
GmbH
Haldenweg 7
5500 Bischofshofen
Rakousko

© Bosch Industriekessel GmbH |
Ilustrace slouží pouze jako příklad |
Změny vyhrazeny | 07/2012 |