

## Spalování plynu

### Slide 1 – Spalování plynu

Palivová hospodářství kotelen na plynná paliva bývají relativně velmi jednoduchá, neboť jsou obvykle tvořena potrubní sítí s uzavíracími, kontrolními a čisticími armaturami a dále pak měřícími a regulačními přístroji a zařízeními.

Obvyklé dělení plynového palivového hospodářství ve větších kotelnách je na dvě hlavní části:

- regulační a měřící stanice
- hořáková plynová řada

### Slide 2 - Regulační a měřící stanice

Představuje předávací místo plynu mezi rozvodnou plynárenskou společností a konkrétním odběratelem plynu. Slouží k tlakové úpravě plynu (s eventuální teplotovou úpravou plynu při velkých tlakových spádech na regulátoru tlaku) z dodávkového tlaku od rozvodné společnosti na spotřební odběrový tlak spotřebitele. Současně obsahuje měřící a záznamové zařízení pro měření odběru a režimu odběru plynu. Režim odběru plynu znamená dodržování sjednaných podmínek odběru plynu, tzn. výkonu a množství dodávky.

### Slide 5 – Schéma atmosférického plynového hořáku

Plyn vstupuje vysokou rychlostí z trysky do injektoru (ejektoru), kde se jeho proudění urychluje. Tím vzniká podtlak a dochází k přisávání okolního (primárního) vzduchu. Vytvořená směs pokračuje do difusoru, kde se její tlak zvýší. Směs proudí do hořákové tyče s mnoha otvory, na jejich výstupu hoří, vzniká homogenní mnohačetný plamen, sekundární spalovací vzduch se odebírá z okolí.

Výhody: velmi jednoduchá konstrukce hořáku, který nemá žádné pohyblivé prvky – hořák funguje jen díky přetlaku plynu.

Nevýhody: dávkování spalovacího vzduchu nelze regulovat – hořák pracuje s dosti vysokým přebytkem spalovacího vzduchu 1,5 až 2

Použití: kotle malých výkonů, dnes na ústupu

### Slide 7 – Přetlakový (blokový) plynový hořák

Spalovací vzduch je nasáván z okolí ventilátorem umístěným přímo ve skříni hořáku, vzduch je veden do hořáku, kde se míchá s plynem, na výstupu z hořákové trouby směs hoří. Z hlediska způsobu směšování zemního plynu se vzduchem patří blokové hořáky mezi hořáky bez předmísení plynu se vzduchem. Směšování probíhá až v ústí hořáku při současném spalování vytvořené směsi.

U přetlakových hořáků dodává ventilátor energii i pro překonání odporů ve spalovacím prostoru spotřebiče. Hořáky jsou určeny především pro otop plynových kotlů malých a středních výkonů, v menší míře se používají i pro jiné spotřebiče (sušárny, pekařské pece, ohříváče vzduchu aj.).

Výhody: řízená příprava spalovací směsi, lze udržet nízký přebytek spalovacího vzduchu 1,1 až 1,2 v širokém výkonovém spektru

Nevýhody: složitější a dražší řešení, nutný přívod elektřiny pro pohon ventilátoru a regulačních prvků

Použití: široké spektrum výkonů až po desítky MW

**Slide 7 – Přetlakový plynový hořák**

Naznačena funkce hořáku – příprava primární směsi, která vstupuje do jádra plamene, sekundární vzduch jej obaluje. Tím dochází k postupnému směřování a spalování, čímž je redukována tvorba NOx

**Slide 8 – Plynový hořák premix**

Kombinace obou předchozích typů – vzduch je dávkován ventilátorem s proměnnými otáčkami, k promíchání obou médií dochází až ve spalovacím tubusu, směs rovnoměrně odhořívá v na povrchu hořákové tyče s mnohačetnými malými otvory.

Výhoda: nízký přebytek spalovacího vzduchu v širokém výkonovém spektru

Použití: pro nízké výkony, uplatnění v kondenzačních kotlích

**Slide 9 – Hořáková plynová řada a přetlakový plynový hořák**

Představuje soubor zákonných nezbytných armatur, kterými musí být, podle výkonu a druhu hořáku, každý hořák vybaven. Hořáková řada obsahuje zejména kontrolní zařízení, která blokuje funkci hořáku při překročení maximálního povoleného přetlaku a při podkročení minimálního dovoleného přetlaku pro správnou a bezpečnou funkci hořáku z hlediska spalování.

Znázorněn je starší typ přetlakového plynového hořáku, kde je výkonová regulace řešena mechanickým převodem. Signál z regulátoru plyn je převáděn táhly jednak pro nastavení polohy škrtící klapky plynu, jedna přes stavitelnou kulisu pro nastavení polohy škrtící klapky na výtlaku vzduchové ventilátoru. Úpravou tvaru kulisy při seřizování hořáku se nastaví optimální poměr spalovacího vzduchu v celém výkonovém pásmu hořáku. U současných moderních hořáků je optimální dávkování vzduchu řešeno programovatelnou elektronickou regulací otáček vzduchového ventilátoru.

**Slide 16 – Schéma závěsného pl. kotle**

Provedení a) TURBO, b) do komína. Kotel je opatřen atmosférickým hořákem. V provedení C1 TURBO je použit spalínový ventilátor, který odsává spaliny a současně vytváří podtlak, který zajišťuje nasávání spalovacího vzduchu z vnějšku. V provedení B je spalovací vzduch odebírán z prostředí kotelny; je nutný přerušovač tahu, aby příliš velký tahový účinek komína nestrhl plamen.

Použití: v domácnostech a rodinných domcích – stále široce používaný typ kotle. Dnes se již neprodává, nahrazen kondenzačními závěsnými kotli.

**Slide 22 – Ocelový horkovodní kotel plamencový žárotrubný**

Plynový přetlakový hořák pracuje do válcové spalovací komory – plamence. Spaliny vstupují do žárových trubek uspořádaných do více tahů, po dochlazení jsou odvedeny do komína. Plamenec a žárové trubky jsou chlazeny ohříváním vodou, která vyplňuje zbytek vnitřního objemu pláště – kotle jsou někdy označovány jako velkoprostorové.

Použití: centrální zdroje – vytopny o výkonu stovky až tisíce kW

**Slide 23 – Plynový kotel na sytou páru**

Analogická koncepce kotle na výrobu syté páry. V celém objemu dochází k varu vody. V horní části bubny jsou žárové trubky vynechány. Nad jejich úrovní je v konstantní výšce udržována hladina, z níž se z vroucí vody uvolňuje sytá vodní pára. Ta je odváděna do parní sítě. Konstantní výška hladiny je udržována regulací napájení.

Kotel musí být napájen upravenou vodou – změkčenou a termicky odplyněnou. Přesto při výrobě páry dochází k zahušťování solí v kotelní vodě – řeší se kontinuálním odluhem = částečným odpouštěním a náhradou upraveno napájecí vodou. Množství odluhu je 1 až 2 % parního výkonu.

Výhody: jednoduchá koncepce, velký vodní objem akumuluje značné množství tepla – kotel je málo citlivý na kolísání odběru páry, které se projevuje změnou jejího tlaku.

Nevýhody: velký vodní objem prodlužuje dobu najetí kotle ze studeného stavu. Problematické umístění přehříváku – kotle převážně jen na sytou páru. Přetlakem namáhaný plášť omezuje výkonové a tlakové parametry kotlů, max. velikost kotlů dána přepravními možnostmi.

Použití: co do četnosti zřejmě nejpoužívanější typ parního kotle – sytá pára se používá pro otop a v mnoha technologických procesech. Výkony od stovek kW do desítek MW, tlak páry v jednotkách bar.

#### Slide 24, 25 – Plynový kotel na sytou páru

V řezu je vidět zapojení žárových trubek do 3 tahů.

#### Slide 26 – Připojení ekonomizéru ke kotli

Velkoprostorový kotel je plný syté vody, jejíž teplota odpovídá tlaku – např. pro 6 bar 159 °C. Kotel dokáže spaliny ochladit na teplotu o 40 až 50 °C vyšší, tedy na cca 200 °C, jeho účinnost by byla špatná. Pro lepší vychlazení spalin je třeba za kotel zapojit ohřívák napájecí vody (ekonomizér), v němž se napájecí voda po termickém odplynění ohřívá z teploty 105 °C na teplotu např. 140 °C a spaliny tak lze ochladit na 120 až 130 °C. Ekonomizér je vyroben jako vodotrubný svazkový výměník z vnějšku obtékaný spalinami.

#### Slide 28 - 36 - Plynové kondenzační kotle

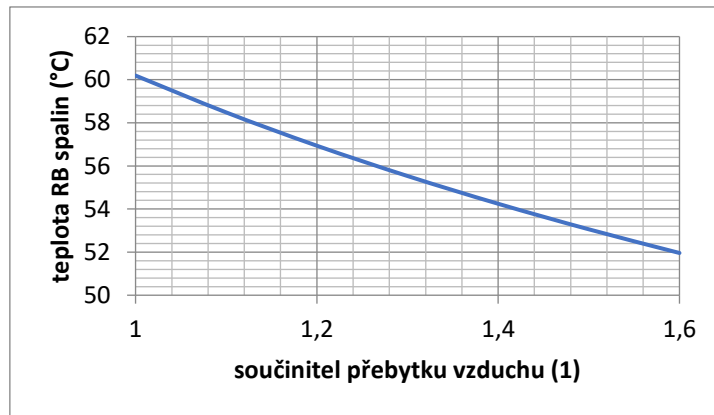
Kondenzací vodní páry se spalin lze získat zajímavý energetický bonus. Aby ke kondenzaci vodní páry ze spalin došlo, musí dojít k jejich ochlazení pod tzv. teplotu rosného bodu. Analogicky s vlhkým vzduchem lze teplotu rosného bodu spalin definovat jako teplotu, při níž spaliny během izobarického ochlazení dosáhnou stavu nasycení vodní parou, tj. vodní pára obsažená ve spalinách je ve stavu syté páry. Této definice lze užít pro výpočet teploty rosného bodu spalin ze známého objemového podílu vodní páry v nich zastoupené. Budeme-li na spaliny pohlížet jako na směs ideálních plynů, pak lze uplatnit Daltonův zákon, který říká, že celkový tlak směsi je roven součtu parciálních tlaků jednotlivých složek směsi. Parciální tlak  $p_i$  [Pa] je takový tlak, který by měla složka směsi  $i$ , kdyby byla sama v objemu, jaký zaujímá směs, při stejné teplotě, jakou má směs. Je-li znám objem vodní páry ve spalinách  $V_{H_2O}$  [m<sup>3</sup>], celkový objem spalin  $V_S$  [m<sup>3</sup>] a jejich celkový tlak  $p_c$  [Pa], je možné parciální tlak vodní páry ve spalinách určit ze vztahu

$$p_{H_2O} = \frac{O_{H_2O}}{O_S} \cdot p_c \quad [\text{Pa}] \quad (1)$$

Protože při teplotě rosného bodu je vodní pára ve spalinách v sytém stavu, lze z tabulek vody a vodní páry pro takto vypočtený parciální tlak odečíst teplotu sytosti páry, která odpovídá teplotě rosného bodu vodní páry ve spalinách. Při dalším ochlazení spalin pod tuto teplotu by již nastala kondenzace vodní páry na chladnějším povrchu výhřevných ploch kotle, do nichž se teplo ze spalin odvádí, a zde by se též uvolnilo a využilo zmiňované kondenzační teplo vodní páry.

Spalování plynu může být vedeno s různým přebytkem vzduchu. Při stechiometrickém spalování s minimálním množstvím vzduchu vzniká nejmenší objem spalin s nejvyšší objemovou koncentrací vodní páry, a tedy i teplotou rosného bodu, která činí přibližně 60 °C. Reálné spalování je však vedeno s větším než minimálně potřebným množstvím spalovacího vzduchu. Užití vyššího přebytku vzduchu

podporuje průběh spalování a vyhoření paliva, současně však zvyšuje objem spalin a snižuje objemový podíl vodní páry, jejíž absolutní objem ve spalinách se v podstatě nemění. Důsledkem je pokles teploty rosného bodu, a tedy i potenciálu pro využití kondenzačního tepla vodní páry ze spalin, jak ukazuje následující graf.



Důležitým rozdílem proti kondenzaci čisté páry, která za stálého tlaku probíhá při konstantní teplotě, je postupné snižování kondenzační teploty páry ze spalin úměrně množství vzniklého kondenzátu. Zatímco objem nekondenzujících plynů se ve spalinách se během kondenzace nemění, objem a tedy i parciální tlak vodní páry klesá, tím se teplota rosného bodu neustále snižuje, přičemž spaliny jsou trvale ve stavu nasycení vodní parou. Z toho plyne závěr, že množství vykondenzované vodní páry a tedy i získaného kondenzačního tepla je úměrné ochlazení spalin, které by mělo být pokud možno co největší. Z toho plyne požadavek na co nejnižší teplotu vratné vody do kondenzačního kotle, na níž je stupeň kondenzace a i jeho účinnost silně závislá. Z tohoto důvodu je třeba aplikovat ekvitermní regulaci, při níž se teplota topné vody nastavuje dle venkovní teploty a požadované teploty v místnosti.

### Slide 38 – Schéma horkovodní výtopny

V centrální výtopně je obvykle na společnou sběrnou paralelně zapojeno několik horkovodních kotlů. Z ní se přívodní (primární) větvi teplo vede ke spotřebičům, které jsou opět paralelně připojeny na společný rozdělovač, či z něho vycházející větve sekundárních sítí. Ochlazená voda se vrací zpět do výtopny vranou větvi a je použita pro napájení kotlů. Průtok systémem je zajišťován cirkulačním čerpadlem.

Schéma parní výtopny by bylo identické, s tím rozdílem, že za každým spotřebičem by musel být tzv. odvaděč kondenzátu, který by bránil průniku páry do vratné větve. Vratný kondenzát by musel před zavedením do kotlů projít termickým odplyněním.

### Slide 41 – Malé zdroje

Teplovodní kotel na kusové dřevo se spodním odhořívání na roštu pro lokální otopné soustavy. Spaliny se dochlazují v žárových trubkách. Odtah spalin i řízené přísávání spalovacího vzduchu je zajištěno kouřovým ventilátorem.

### Slide 42 – Zplyňovací kotle

Kotel má třístupňové spalování. Do zásobníku paliva se přivádí menší množství vzduchu. Dochází zde ke nedokonalému hoření – zplyňování paliva. Vzniklý plyn vstupuje do keramické trysky – hořáku, kam je přiváděn další spalovací vzduch. Plyn dohořívá v prostoru pod tryskou. Princip je vhodný pro spalování paliv s vysokým obsahem prchavé hořlaviny a malým podílem popela – biomasa.

**Slide 44, 45 –Kotel na peletky**

Peletky se ke kotli a na rošt dopravují šnekovými dopravníky s cyklickým provozem – tím se reguluje výkon kotle. Spaliny se vychlazují v žárových trubkách. Pro zlepšení přestupu tepla jsou do trubek vsunuty vířiče (turbulátory) – mohou být pohyblivé (rotačně, suvně) a tím provádět čištění trubek i za provozu kotle. Odvod spalin je zajištěn ventilátorem.

**Slide 48 – Briketovací a peletovací linka**

Pro peletování je zapotřebí vstupní materiál jemně nadrtit a usušit na obsah vody do 15 %. Samotné peletování je energeticky náročný proces, při němž dochází k intenzivnímu opotřebením nástrojů, které je třeba v řádu stovek hodin provozu měnit. To vše se promítá do vysoké ceny peletek.

**Slide 53 – Horkovodní skříňový kotel s pásovým roštem**

Starší typ skříňového kotle na uhlí s pásovým roštem

**Slide 54, 55 – Horkovodní skříňový kotel přesuvným roštem**

Rošt má tvar pozvolných schodů, každá druhá řada roštnic je horizontálně pohyblivá, tím se palivo po roštu posouvá.

**Slide 57 – Fluidní rošt s bublinkující fluidní vrstvou**

Pro vyšší výtopenské výkony se volí spalování uhlí i biomasy v bublinkující (stacionární) fluidní vrstvě. Spodním příívodem vzduchu se palivo dostane do vznosu a při tom odhořívá. Podmínkou je rovnoměrný příívod vzduchu do celé plochy fluidního roštu – lze řešit např. žlabovým distributorem s velkým počtem vzduchových trysek dle obrázku.

**Slide 58 – Kotel s fluidním roštem pro výkony > 1 MW**

Kotel je již řešen jako vodotrubný = voda proudí v trubkách a spaliny jsou vně. Z trubek jsou vytvořeny chlazené stěny kotle, do spalinových tahů za spalovací komorou jsou umístěny výhřevné plochy ve formě trubkových svazků. Poslední výhřevnou plochou po proudu spalin je ohřívák vzduchu. Za kotlem je lapač jisker, který chrání látkový filtr před vznícením.