

ENERGETIKA



Príručka pre okresné úrady v oblasti ochrany ovzdušia

Názov: Energetika

Príručka pre okresné úrady v oblasti ochrany ovzdušia

Autori: doc. Ing. Michal Holubčík, PhD., Ing. Nikola Čajová Kantová, PhD.

Jazykové korektúry: Denisa Dovičovičová

Grafická úprava: Mgr. Richard Watzka

Vydavateľ: © Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, Slovenská agentúra životného prostredia
Tajovského 28, 975 90 Banská Bystrica

Rok vydania: 2023

Počet strán: 67

Elektronická verzia

ISBN: 978-80-8213-114-0

OBSAH

POUŽÍVANÉ SKRATKY	4
1. SPALOVACIE ZARIADENIA	5
1.1. Spaľovacie kotly	5
1.2. Plynové turbíny	39
1.3. Spaľovacie motory	46
1.4. Iné druhy spaľovacích jednotiek	51
2. VÝPOČTY PRI SPALOVACÍCH PROCESOCH	52
2.1. Parametre spaľovacieho vzduchu	52
2.2. Teplota spalín	53
2.3. Spaľovacia teplota	53
2.4. Prebytok spaľovacieho vzduchu	53
2.5. Účinnosť zdroja tepla	55
2.6. Rosný bod spalín	55
2.7. Kontrola spaľovania a účinnosť	56
2.8. Proces spaľovania tuhého paliva	56
2.9. Stechiometrické množstvo spaľovacieho vzduchu	56
2.10. Výpočet tepelných strát, účinnosti a celkového tepelného výkonu zdroja tepla	58
2.11. Množstvo spotrebovaného vzduchu	59
2.12. Hmotnosť paliva	60
2.13. Výhrevnosť palív	60
2.14. Prepočty jednotiek energie	60
2.16. Spôsoby výpočtu množstva emisií	61
3. ZOZNAM LITERATÚRY	63

POUŽÍVANÉ SKRATKY

Skratka	Anglický význam	Slovenský význam
EÚ	European Union	Európska únia
OZE	Renewable energies	obnoviteľné zdroje a energie
ZEVO	Waste-to-energy facilities	zariadenia na energetické využívanie odpadu
SR	Slovak republic	Slovenská republika
VVE	Large-sized water powerplants	veľké vodné elektrárne
MVE	Middle-sized water powerplants	stredné vodné elektrárne
TZL	Particulate matter	tuhé znečisťujúce látky
CHP	Combined Heat and Power	kombinovaná výroba tepla a energie
OGC	Organic gaseous compounds	plynné organické zlúčeniny
CZT	Centralised heat supply	centralizované zásobovanie teplom
MHD	Magnetic-hydrodynamic generators	magnetohydrodynamické generátory
DEZ	Secondary heat sources	druhotné energetické zdroje
FGD	Flue gas desulfurization	odsírenie spalín
ACI	Active Carbon Injection	vstrekovania aktívneho uhlia
PAC	Powder active carbon	práškové aktívne uhlie
FF	Textile filters	filtračná technológia
SPCCI	Spark Controlled Compression Ignition	vznetové zapalovanie riadené iskrou
FBC	Fluidized Bed Combustion	spalovanie vo fluidnej vrstve
SCR	Selective Catalytic Reduction	selektívna katalytická redukcia
COP	Coefficient of Performance	chladiaci faktor
AFC	Alkaline fuel cell	články s alkalickým elektrolytom
PEMFC	Proton-exchange membrane fuel cell	palivové články s polymérovou membránou
PAFC	Phosphoric acid fuel cell	palivové články s kyselinou fosforečnou
MCFC	Molten carbonate fuel cell	palivové články s tavenými uhličitanmi
SOFC	Solid oxide fuel cell	palivové články s tuhými oxidmi
TOC	Total organic carbon	celkový organický uhlík
DOC	Diesel oxidation catalyst	katalyzátor oxidácie pri dieselových motoroch
DPF	Diesel particulate filter	filter na tuhé znečisťujúce látky pre dieselové motory
ASC	Ammonia Slip Catalyst	katalyzátor redukujúci množstvo amoniaku
SNCR	Selective non-catalytic reduction	selektívna nekatalytická redukcia

1. SPAĽOVACIE ZARIADENIA

Pod pojmom spaľovacie zariadenie sa myslí technické zariadenie, ktoré slúži na oxidáciu palív na účely využitia takto získaného tepla. Spaľovanie palív, najmä tuhých palív, predstavuje zložitý termochemický proces pozostávajúci z viacerých fyzikálnych a chemických dejov tepelného rozkladu a oxidácie horľavých zložiek paliva, prebiehajúci vo vymedzenom čase a priestore, pričom sa chemicky viazaná energia v palive mení na tepelnú energiu s vysokým teplotným potenciálom. K spaľovaniu môže dochádzať buď samovoľne (samovznietením), alebo zámerne, pôsobením vonkajšieho impulzu (3).

Ak sa počas exotermických reakcií spaľovacieho procesu produkuje nielen teplo, ale aj svetlo, proces oxidácie horľavých látok sa nazýva horenie. Pri spaľovaní paliva vznikajú okrem žiadaného tepla aj vedľajšie produkty, ktorými sú reakčné splodiny (spaliny) a tuhé zvyšky spaľovania (popol) (3) (17).

Aby mohlo dôjsť k spaľovaciemu procesu, musia byť zabezpečené štyri nižšie uvedené podmienky, ktorých dodržanie je nevyhnutné pre dokonalé spaľovanie.

1. V spaľovacom priestore musí byť prítomné palivo, ktoré obsahuje aktívne horľavé látky (C, H, S).
2. Keďže spaľovanie je oxidačná reakcia, je potrebné k horľavým prvkom priviesť dostatočné množstvo kyslíka v spaľovacom vzduchu.
3. Pre inicializáciu horenia je potrebné dosiahnuť zápalnú teplotu, keď začne horieť horľavina, a počas spaľovania udržať požadovanú teplotu.
4. Horľavina a oksyličovadlo musia mať priestor a dostatok času (reakčná doba), aby prebehli reakcie spaľovania.

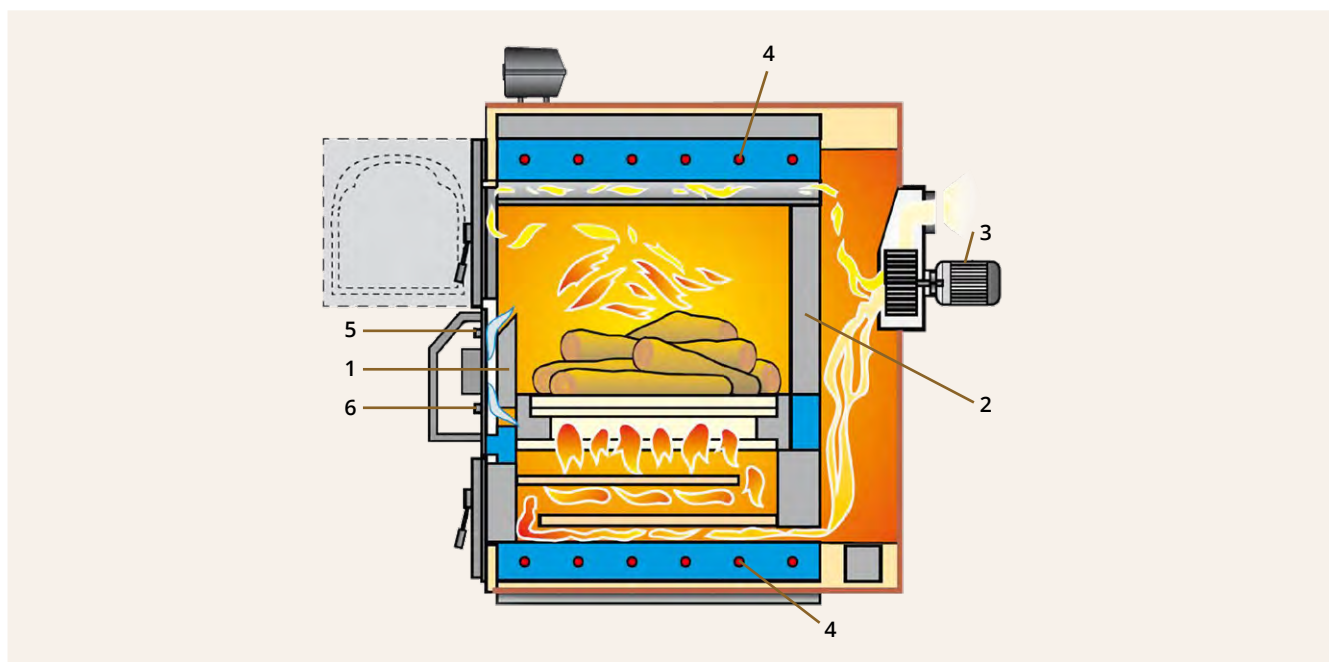
Spaľovacie jednotky sa využívajú na premenu chemickej energie na tepelnú energiu. Tieto jednotky sú základnou časťou moderných systémov, elektrární a tepelných zariadení, ktoré poskytujú teplo alebo vyrábajú elektrinu pre všetkých občanov. S blížiacimi sa prísnejšími emisnými normami je však veľmi dôležité neustále zavádzať nové technológie a metódy na znižovanie produkcie emisií.

Táto kapitola je venovaná existujúcim technológiám so schopnosťou aktívne regulovať a znižovať množstvo emisných látok emitovaných v rôznych zariadeniach využívajúcich teplo.

1.1. Spaľovacie kotly

Kotol je zariadenie, ktoré je navrhované na prenos chemickej energie (vo väzbách palív) na tepelnú energiu. Konštrukcia bežného kotla štandardne pozostáva z plášťa kotla, horáka, spaľovacej komory, resp. ohniska, v ktorom sa spaľuje palivo, teplovýmenných plôch na prenos tepla z produktov spaľovania do teplotnosného média, napr. vody, ciest na prívod a rozvod spaľovacieho vzduchu, spalínového traktu na odvod spalín a riadiaceho systému na reguláciu spaľovacieho procesu (18).

Kotly sa používajú takmer vo všetkých energetických aplikáciách, či už v malých priestoroch, napr. v domácnostiach, v priemysle, alebo vo veľkých teplárňach, či výrobných halách.



Obrázok 21: Základné časti kotla: 1 predná stena spaľovacej komory; 2 zadná stena spaľovacej komory; 3 ventilátor; 4 výmenník (verzia SA); 5 primárny prívod vzduchu; 6 sekundárny prívod vzduchu (19)

1.1.1. Spaľovací proces

Proces spaľovania palív možno z hľadiska postupnosti rozdeliť do štyroch fáz, ktoré sú v niektorých spaľovacích zariadeniach dobre rozlíšiteľné, v iných spaľovacích zariadeniach sa tieto procesy časovo a lokálne sčasti prekrývajú (17):

- ohrev a sušenie paliva,
- termický rozklad zložiek paliva,
- horenie prchavých zložiek,
- horenie pevných zložiek.

Ohrev paliva sa realizuje vplyvom žiarenia plameňa a od rozpálených stien. Následné sušenie paliva a vyparovanie vody z paliva sa deje pri teplotách od cca 100 °C, pričom vyparená voda je odvádzaná spoločne so spalinami do komína. Pri teplotách od cca 150 °C dochádza k pyrolytickému rozkladu suchého paliva. Vplyvom privedenia primárneho spaľovacieho vzduchu dochádza pri teplotách cca 250 °C k splyňovaniu vysušeného paliva na horľavé plyny, ako sú oxid uhoľnatý (CO) a uhľovodíky (C_xH_y), pričom vznikajú tuhé zvyšky paliva, tzv. pevný uhlík (C). Napríklad biomasa obsahuje viac vodíka ako väčšina iných palív, preto vzniká pri jeho spaľovaní podstatne viac uhľovodíkov. Poslednou fázou procesu spaľovania paliva je horenie pevného uhlíka (C) za prítomnosti kyslíka, ktoré prebieha pri teplotách cca od 600 °C, pričom ako odpad vzniká popol. Okysličovanie horľavých plynov s kyslíkom na CO_2 a vodu sa uskutočňuje pri teplotách od cca 700 °C. (20)

Všetky vyššie uvedené deje môžu prebiehať v každom mieste spaľovacieho procesu za iných pomerov (lokálne rozdiely teplôt, rýchlosti prúdenia, obsah kyslíka a pod.). Preto spaľovací priestor s horiacim palivom možno považovať za zložitý chemický reaktor, v ktorom sa prejavujú rôzne vplyvy chemickej, termodynamicky reakčnej kinetiky a prípadne i katalýzy (popolovín, výmurovky).

Kvalita horenia v uzavretom priestore závisí najmä od teploty, spôsobu oddelenia jednotlivých fáz horenia, dôkladnosti premiešania horľavých plynov s kyslíkom pri potrebnej reakčnej teplote, prebytku vzduchu a spôsobu jeho prerozdelenia na primárny a sekundárny, resp. terciárny. Proces spaľovania paliva, účinnosť spaľovacieho zariadenia, produkciu emisií a popola ovplyvňuje viacero

aspektov (obr. 22), najmä parametre použitého paliva, konštrukcia spaľovacieho zariadenia a spôsob prevádzkovania spaľovacieho zariadenia. Niektoré tieto aspekty spolu súvisia a môžu byť vzájomne ovplyvňované, napr. množstvo potrebného spaľovacieho vzduchu závisí od parametrov paliva a konštrukcie spaľovacieho zariadenia. Spaľovací proces je možné analyzovať z hľadiska statického a dynamického procesu spaľovania. Statika spaľovania sa zaoberá materiálovými a energetickými bilanciami procesu spaľovania paliva a taktiež analyzuje vlastnosti látok vstupujúcich procesu spaľovania a vystupujúcich z procesu spaľovania. Do tejto oblasti sa okrem iného zahŕňa stanovenie spotreby paliva a spaľovacieho vzduchu, teploty plameňa, množstva uvoľneného tepla a množstva vzniknutých spalín. Dynamika spaľovania sa zaoberá fyzikálnymi a chemickými dejmi spaľovacieho procesu v závislosti od času.



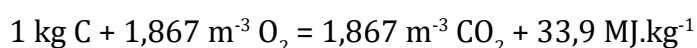
Obrázok 22: Vplyv rôznych aspektov na spaľovanie palív (18)

Spaľovacie reakcie, pri ktorých sa zlučujú horľavé prvky s kyslíkom, sa označujú za reakcie exotermické. Medzi horľavé prvky paliva patrí uhlík (C), vodík (H) a síra (S). Pri presných výpočtoch objemových množstiev produktov spaľovania (dymových plynov) a potrebného objemu spaľovacieho vzduchu sa pri spaľovaní palív vychádza z molekulovej hmotnosti jednotlivých prvkov horľaviny. Jednotkou molekulovej hmotnosti je jeden kilomol (kmol), ktorý predstavuje hmotnosť množstva látky v kilogramoch a je daná jej molekulovou hmotnosťou. Za normálnych podmienok, t. j. pri teplote 0 °C a tlaku 101,325 kPa, zaberá jeden kilomol pri všetkých plynch objem 22,4 m³. Molekulové hmotnosti horľavých prvkov paliva a prvkoch zúčastňujúcich sa na reakciách pri spaľovaní sú nasledovné: vodík (H) 2 kg, uhlík (C) 12 kg, kyslík (O) 32 kg, síra (S) 32 kg a dusík (N) 28 kg. Použitím molekulových hmotností jednotlivých prvkov je možné vyjadriť vzťahy pre chemické reakcie pri spaľovaní spaľovacími rovnicami.

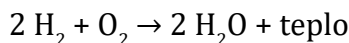
Spaľovanie uhlíka na oxid uhličitý:



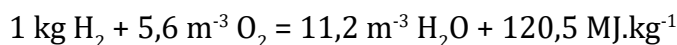
Pri uvažovaní molekulových hmotností prvkov zúčastňujúcich sa na reakcii a uvažovaní výhrevnosti čistého uhlíka 33,90 MJ.kg⁻¹:



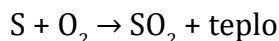
Spalovanie vodíka na vodnú paru:



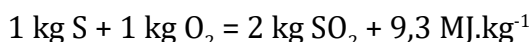
Pri uvažovaní molekulových hmotností prvkov zúčastňujúcich sa na reakcii a uvažovaní výhrevnosti čistého vodíka $120,5 \text{ MJ.kg}^{-1}$:



Spalovanie síry na oxid siričitý:



Pri uvažovaní molekulových hmotností prvkov zúčastňujúcich sa na reakcii a uvažovaní výhrevnosti čistého vodíka $9,3 \text{ MJ.kg}^{-1}$



Tieto vzťahy nevyjadrujú presne spalovacie pomery, ktoré existujú v skutočnom ohnisku. V ohnisku sa spalovanie neuskutočňuje s čistým kyslíkom, ale za prítomnosti vzduchu, ktorý obsahuje okrem kyslíka aj dusík. Dusík, ktorý sa na reakciách nezúčastňuje, prechádza ako balastná zložka do odpadových dymových plynov alebo sa zlučuje s kyslíkom na škodlivé zložky NO a NO_2 . Dymové plyny tak predstavujú zmes vzdušného dusíka a produktov spalovania horľaviny, t. j. CO_2 , H_2O , SO_2 , SO_3 , NO , NO_2 a vodnej pary vzniknutej z vlhkosti paliva a vlhkosti vzduchu, popr. ďalších zložiek, väčšinou vo veľmi malom alebo stopovom množstve. Jednotlivé spalovacie rovnice je možné použiť pre výpočet stechiometrického (teoretického, resp. minimálneho) množstva kyslíka, poprípade vzduchu potrebného pre dokonalé spálenie 1 kg paliva.

1.1.2. Rozdelenie spalovacích kotlov

Spalovacie kotly je možné rozdeliť na základe ich umiestnenia na:

- miestne – lokálne vykurovanie, ktoré sa spravidla využíva len občasne;
- ústredné – centrálné vykurovanie, obyčajne umiestnené v budove alebo v skupine budov;
- centralizované – tepelná energia sa dopravuje na diaľku prostredníctvom tepelných sietí.

Podľa veľkosti je možné spalovacie kotly rozdeliť na:

- malé kotly, ktoré zásobujú teplom jednu bytovú jednotku, rodinný dom, bytový dom, kanceláriu, nájomný priestor, celé podlažie a pod., pričom ich tepelný výkon je štandardne do 500 kW;
- stredné kotly, so stredným tepelným výkonom – ide o domové alebo okrskové kotolne, ktoré zásobujú teplom celý objekt alebo skupinu objektov, pričom ich tepelný výkon je bežne medzi 500 – 3500 kW;
- veľké kotly, ktoré vyrábajú tepelnú energiu v dostatočnej vzdialenosti od spotrebiteľskej sústavy a zásobujú teplom veľké územné celky. Nazývajú sa výhrevne alebo teplárne, pričom ich tepelný výkon bežne presahuje 3500 kW.

Uvedené rozdelenie spalovacích kotlov je opísané v zmysle tepelnej energetiky.

Podľa platných právnych predpisov v oblasti ochrany ovzdušia sa spalovacie zariadenia na základe agregáčnych pravidiel členia na: veľké spalovacie zariadenia (s menovitým tepelným príkonom (MTP) nad 50 MW), väčšie stredné spalovacie zariadenia (s MTP 1 MW až 50 MW), menšie stredné spalovacie zariadenia (s MTP 0,3 MW až 1 MW) a malé spalovacie zariadenia (s MTP menej ako 0,3 MW).

Kvalita kotla je daná predovšetkým materiálovým vyhotovením jeho komponentov (horák, kotlové teleso, výmenník tepla). Horák kotla býva štandardne ocelový alebo keramický. Výmenníky tepla môžu byť ocelové, liatinové, medené, nerezové alebo zo zliatiny hliníka a kremíka. Kotlové teleso

štandardne býva ocelové alebo liatinové. Materiály používané na zdroje tepla musia odolávať vysokým teplotám a v prípade výmenníkov tepla v kotloch aj vysokým tlakom. V prípade použitia ocele je nutné použiť kotlovú nízkouhlíkovú oceľ, v ktorej je prípustné len veľmi malé množstvo fosforu a síry. Nikel používaný na legovanie ocele zlepšuje jej pevnosť v ťahu, pružnosť, húževnatosť a ťažnosť.

Vo väčšine prevádzok so zdrojom tepla sa väčšinou využíva nepriamy transport tepla. Výhodou tohto spôsobu prenosu tepla je rovnomerný, veľkoplošný prenos tepla, možnosť centrálného usporiadania zdroja tepla a súčasná obsluha viacerých spotrebiteľov. Teplonosná látka slúži na transport tepelnej energie z kotla do miesta spotreby. Pri bežných zdrojoch tepla môže byť teplonosnou látkou:

- Teplá voda – používa sa len na zásobovanie skupín domov, blokov, prípadne mestských štvrtí. Teplota býva obyčajne 60 – 90 °C v prírodnom a 40 – 70 °C vo vratnom potrubí.
- Horúca voda – používa sa v primárnej sieti pri diaľkovej doprave veľmi často. Teplota vody býva v rozmedzí 110 až 180 °C, maximálne 200 °C.
- Para – ako teplonosná látka sa používa predovšetkým v priemysle. Parná sieť býva spravidla v porovnaní s vodnou lacnejšia, pretože vratné potrubie môže mať menší priemer a odpadá prečerpávanie. Drahšia je však úprava prídavnej vody a je väčšia možnosť korózie potrubia.
- Oleje a iné látky (napr. nemrznúce zmesi) – využívajú sa najmä pri použití solárnych kolektorov, prípadne pri požiadavke (napr. v technológii) na určité (vysoké alebo nízke) teploty. Oleje sú vhodné najmä pri požiadavke prenosu tepla s vyšším potenciálom bez nutnosti významnejšieho zvýšenia tlaku. Cirkulácia oleja môže byť zabezpečená buď núteným obehom s olejovým čerpadlom, alebo prirodzene na základe rozdielu v hustote teplonosného média pri rôznych teplotách.

V spaľovacej komore bežného zdroja tepla je podľa konštrukcie možné spaľovať tuhé, kvapalné alebo plynné palivá, ktoré môžu byť fosílného pôvodu alebo z OZE. Kotly sa teda podľa použitého paliva delia na:

- kotly na tuhé palivá,
- kotly na kvapalné palivá
- kotly na plynné palivá.

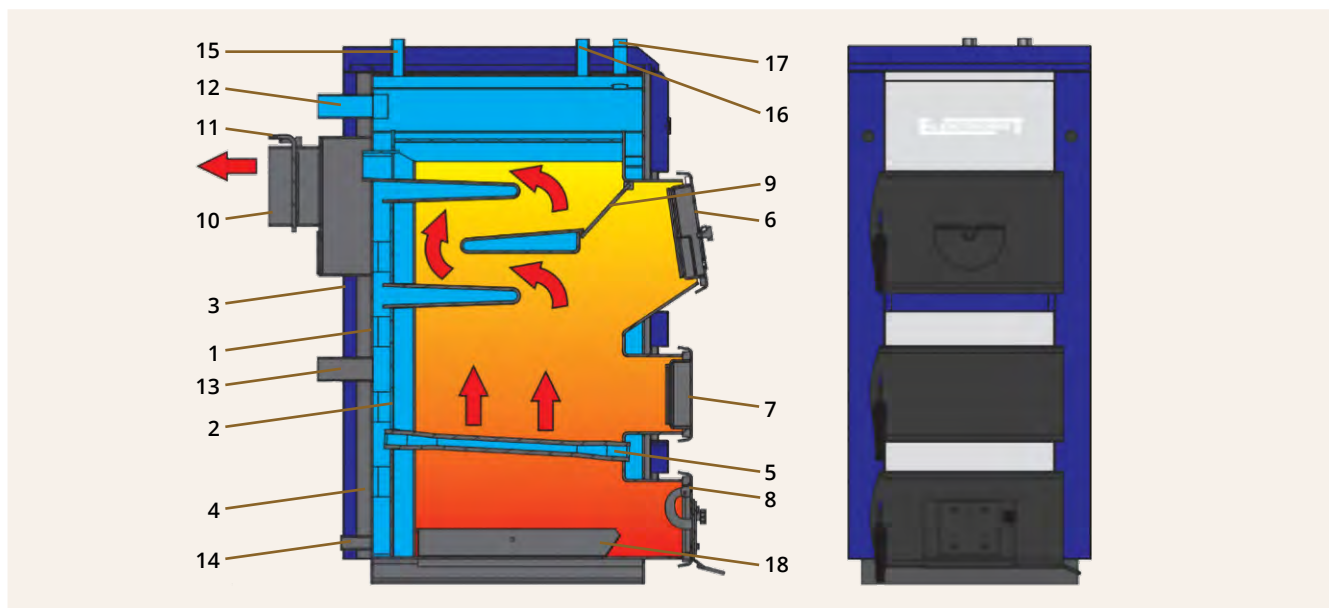
1.1.3. Kotly na tuhé palivá

Kotly na tuhé palivá využívajú ako palivo všetky druhy uhlia, biomasu a iné tuhé látky s dostatočným obsahom horľaviny. V kotloch s vyšším tepelným výkonom sa využívajú najmä rôzne druhy uhlia, v stredne veľkých kotloch drevná štiepka a slamené balíky a v malých kotloch najmä kusové drevo a z neho vyrobené palivá, ako drevné pelety, brikety a pod.

Medzi základné konštrukčné časti kotlov na tuhé palivo patria (17):

- spaľovací priestor – časť vnútorného priestoru kotla, kde prebieha spaľovanie paliva;
- rošt – súčasť kotla na pevné palivo, určená na spaľovanie paliva vo vrstve, poprípade na odstraňovanie pevných zvyškov spaľovania z ohniska;
- kúrenisko (ohnisko) – časť kotla na pevné palivo, ktoré pozostáva z roštu a zo spaľovacieho priestoru;
- zásobník paliva – priestor, v ktorom je umiestnené palivo;
- rozvody primárneho a sekundárneho vzduchu – priestory vo vnútri kotla, ktorými prúdi vzduch na spaľovanie do primárnej a sekundárnej zóny spaľovania;
- kotlové teleso – súčasť kotla, v ktorom sa ohrieva teplonosná látka;
- popolník – priestor v kotle na pevné palivo, kde sa zhromažďujú pevné zvyšky spaľovania, ktoré prepadávajú cez rošt alebo sú roštom vynesené;
- popolníková zásuvka – vyberateľná nádoba, určená na odstránenie pevných zvyškov spaľovania z popolníka;

- spalinové cesty – priestory vo vnútri kotla, ktorými prúdia spaliny;
- výmenník tepla – časť kotla, v ktorej odovzdávajú spaliny teplo teplotnej látke, zvyčajne rúrkovými, jedno- až trojtahovými výmenníkmi tepla;
- čistiace otvory – otvory na čistenie spalinových ciest a výmenníkov tepla.



Obrázok 23: Schéma kotla na tuhé palivo: 1 kotlové teleso; 2 výmenník tepla; 3 opláštenie; 4 vodný rošt; 5, 6, 9 dvierka; 7 popolníkové dvierka, 8 smerovač ťahu; 10 sopúch; 11 komínová klapka; 12 revízny otvor; 13, 14 pripojenie vykurovacieho média; 15 výpusť; 16 odvzdušnenie; 17 termostat; 18 popolník; 19 lapače; 20 ovládací panel; 21 ventilátor; 22 háky na lapače; 23 náduchové dýzy (21)

Priestor, v ktorom sa spaľuje palivo, sa nazýva kúrenisko. Jeho tvar, konštrukcia a spôsob prevádzky sú závislé od druhu a vlastností spaľovaného paliva. V neupravených kúreniskách pre fosílna palivá je síce spaľovanie dreva zvyčajne technicky možné, ale je spojené s ich neprijateľne nízkou účinnosťou a s produkciou veľkého množstva emisií ako dôsledok nedokonalého spaľovania.

Spaľovanie tuhých palív sa môže vo všeobecnosti realizovať nasledujúcimi spôsobmi:

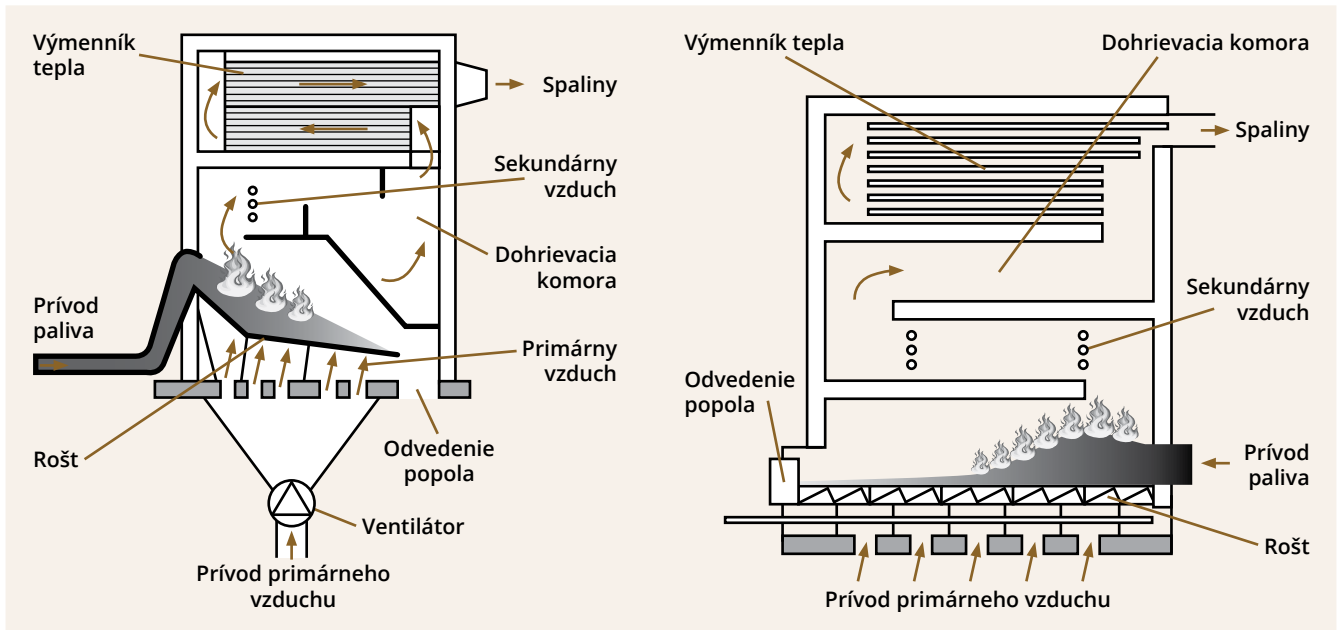
- spaľovaním na rošte, pri ktorom sa pevné palivo spaľuje vo vrstve,
- spaľovaním so spodným prívodom paliva,
- fluidným spaľovaním, keď sa spaľuje pevné palivo rozomleté na prach.

Roštové spaľovanie patrí k najstarším spôsobom spaľovania, ktoré sa využívalo hlavne pri spaľovaní fosílnych palív. Výhodou roštových kúrenísk je tzv. objemové horenie, ktoré nevyžaduje jemné mletie a homogenizáciu paliva. Spaľovanie paliva na rošte prebieha jednak vo vrstve paliva, ako aj nad jej povrchom, keď horí prchavá zložka horľaviny (vzniká tzv. dlhý plameň).

Roštové kúreniská sa podľa technického riešenia pohybu paliva v kúrenisku rozdeľujú do troch skupín:

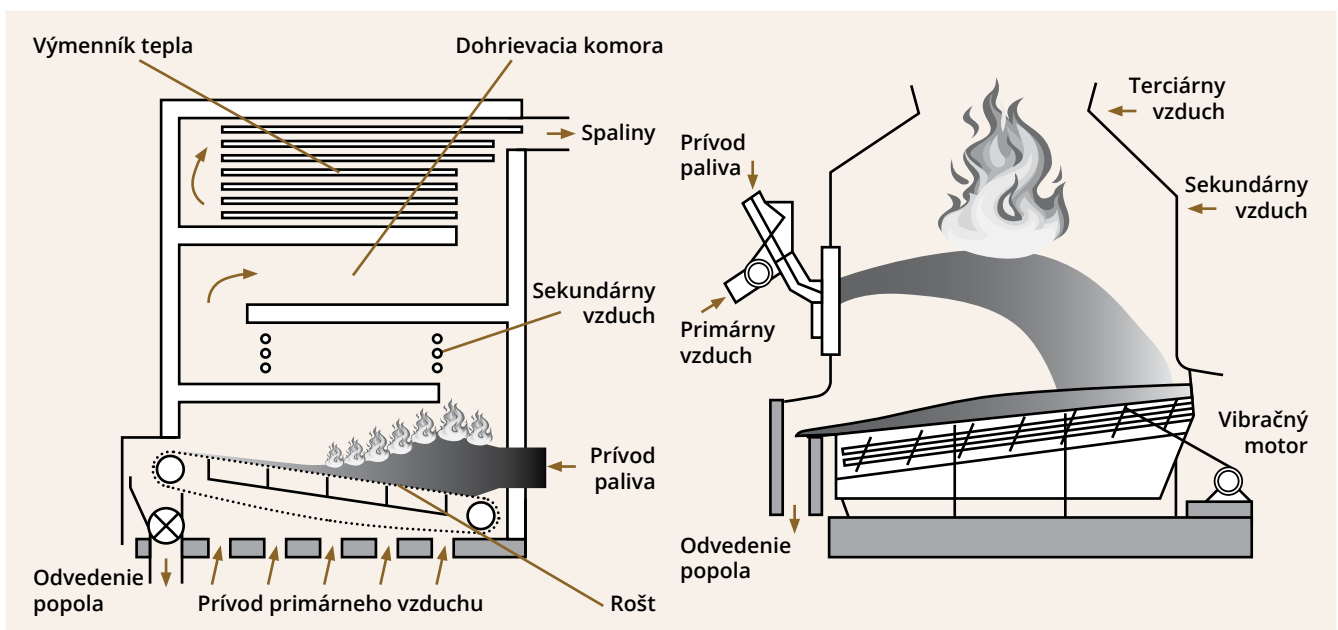
- pevné rošty,
- rošty s občasným premiestňovaním paliva (šikmé a vratisuvné),
- pohyblivé rošty s neustálym premiestňovaním paliva (pásové, reťazové, vibračné).

Pri zdrojoch tepla s horizontálnym posuvom paliva (obr. 24) sa dosiahne horizontálne palivové lôžko. Tento spôsob pohybu paliva zabraňuje nekontrolovateľnému nahromadeniu paliva. Táto technológia taktiež umožňuje homogénnu distribúciu paliva na povrchu roštu. Konštrukčná výška zdroja tepla s horizontálnym posuvom paliva pri rovnakých výkonoch je nižšia, ako je konštrukčná výška pri zdrojoch tepla so šikmým roštom.



Obrázok 24: Kotol so šikmým roštom (vľavo) a kotol s horizontálnym posuvom paliva (vpravo) (3)

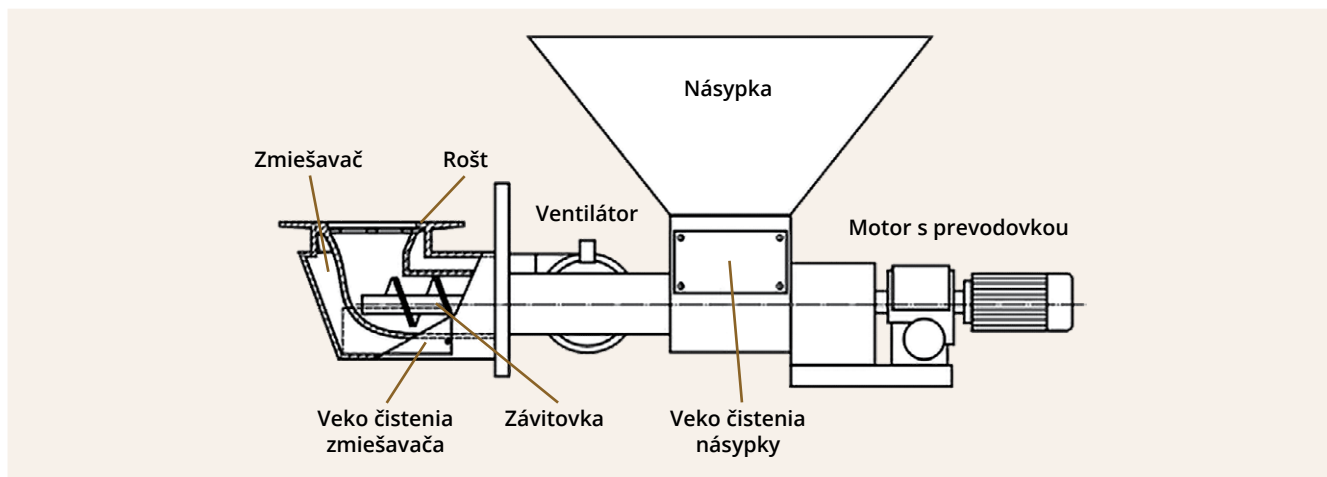
Snaha zvýšiť výkon roštových kúrenísk viedla k vývoju kúrenísk so spaľovaním paliva v pohyblivej vrstve (obr. 25). Pre tento spôsob spaľovania paliva bol vyvinutý reťazový rošt a neskôr pásový rošt. V oboch prípadoch ide o pohyblivý, nekonečný pás. Samotné palivové lôžko sa nepohybuje, ale je transportované pomocou roštu. Nevýhodou reťazového typu roštu bolo a je to, že pri výmene prehorenej (poškodenej) roštnice je potrebné celý rošt rozobrať. Pri zdrojoch tepla s vibračným roštom dve alebo viac vibračných zariadení dopravuje palivo a popol k zbernej nádrži popola. Tvorba škvary je potlačovaná vibračným pohybom roštu. Táto technológia je obzvlášť vhodná pre palivá náchylné na vytváranie škvary. Nevýhodou tejto technológie je väčšie množstvo oxidu uhoľnatého v spalinách a tvorba väčšieho množstva popolčeka, ktorá je spôsobená vibráciami.



Obrázok 25: Kotol s pohyblivým roštom (vľavo) a kotol s vibračným roštom (vpravo) (3)

Existujú i ďalšie špecifické technológie, ako napr. s rotujúcim roštom, valcovým roštom, rotujúcim kuželovým roštom atď.

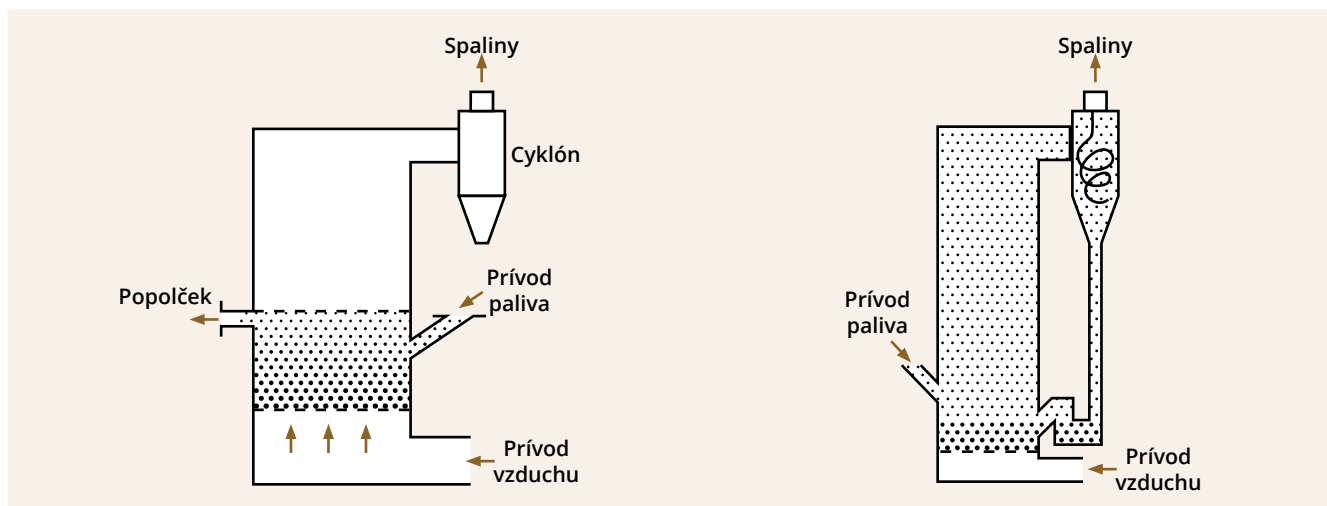
Pri kúreniskách so spodným prívodom paliva (obr. 26) je palivo z násypky vytláčané závitovým dopravníkom do kolena (retorty), z ktorého sa palivo vytláča na kruhový rošt. Retorta je umiestnená v tzv. zmiešavači, do ktorého je pomocou ventilátora privádzaný spaľovací vzduch, a to drážkami medzi retortou a roštom priamo do vrstvy paliva. Takéto kúreniská s retortovým horákom sa používajú napríklad pri spaľovaní drevnej štiepky a drevných peliet.



Obrázok 26: Kotel so spodným prívodom paliva (17)

Fluidné kúreniská (obr. 27) sú tvorené vzostupným prúdom spaľovacieho vzduchu a vznikajúcich spalín. Postupným vyhorevaním zrn paliva sa znižuje ich pôvodný objem, čím sa stávajú náchylné na unášanie prúdom spalín, ktoré odchádzajú z procesu spaľovania. Úlet častíc paliva má, samozrejme, vplyv na kvalitu spaľovania, a preto sa v moderných fluidných kotloch na výstupe zo spaľovacieho priestoru nachádza tzv. teplý cyklón, ktorý odlučuje väčšie častice a vracia ich naspäť do ohniska, čím sa kvalita spaľovania zlepšuje. Fluidná vrstva sa vyznačuje veľmi dobrým miešaním paliva.

Pri kotloch menšej veľkosti sa na spaľovanie tuhých palív častejšie používajú fluidné kotly so stacionárnou vrstvou, ktoré sú vhodné hlavne pri spaľovaní nehomogénnych biopalív. Kotly s cirkulujúcou fluidnou vrstvou sa zvyčajne používajú vo väčších objektoch a na vykurovanie rozsiahlejších areálov, kde je dôležitá schopnosť vyhorenia paliva. Líšia sa od spaľovania v stacionárnej fluidnej vrstve v zrnitosti materiálu vo vrstve. Pri vhodnej úprave dávkovania palív je možné v týchto kotloch spaľovať i kaly.



Obrázok 27: Kotel so stacionárnou fluidnou vrstvou (vľavo) a kotel s cirkulujúcou fluidnou vrstvou (vpravo) (3)

Fluidné ohnisko má výhodu v jednoduchom regulovaní výkonu i teploty v spaľovacom priestore. Fluidné systémy sa môžu prevádzkovať aj ako splyňovacie jednotky. Niekedy je potrebné navrhnuť jednotku tak, aby časť spalín po vychladení mohla byť recirkulovaná na zaistenie dostatočného množstva plynu pre správnu fluidizáciu. Určitou nevýhodou fluidných ohnísk je citlivosť na parametre vstupného paliva. Prevádzka fluidných ohnísk je nákladnejšia oproti ohniskám roštovým, a to vzhľadom na väčšiu spotrebu vzduchu nutného na zaistenie fluidizácie. Na znižovanie prachu z fluidných kotlov sa v súčasnosti stále častejšie používajú tkaninové filtre a elektrostatické odľučovače.

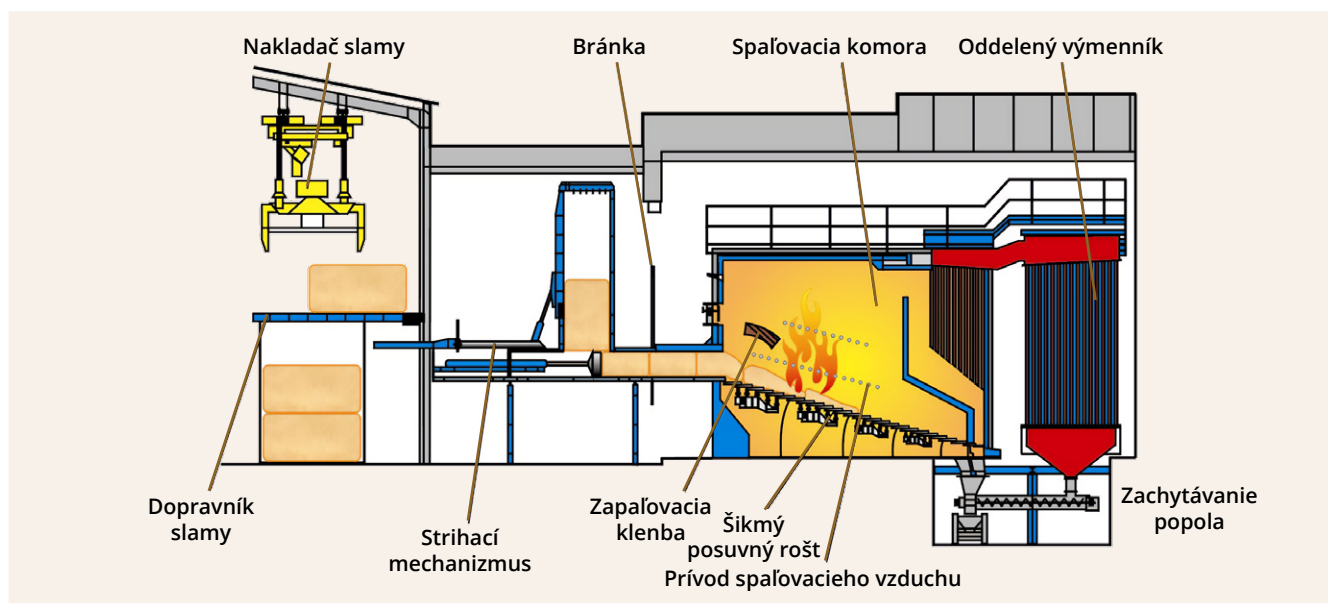
V stredných a veľkých kotloch na tuhé palivá sa z vyššie uvedených konštrukcií ohnísk využívajú najmä roštové spaľovanie, spaľovanie vo fluidnom lôžku a spaľovanie s cirkulujúcou fluidnou vrstvou. Jednotlivé výhody a nevýhody týchto spôsobov spaľovania sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.

Tabuľka 1: Výhody a nevýhody rôznych konštrukcií kotlov na tuhé palivá

Roštové spaľovanie	Spaľovanie vo fluidnom lôžku	Spaľovanie s cirkulujúcou fluidnou vrstvou
<p>Výhody:</p> <ul style="list-style-type: none"> Relatívne malá požiadavka na prípravu paliva Prehľadný dizajn Vysoká dostupnosť procesu Jednoduchá obsluha Nízka potreba pomocnej energie Nízke emisie NO_x Čiastočné odsírenie pridaním vápenca 	<p>Výhody:</p> <ul style="list-style-type: none"> Relatívne malá požiadavka na prípravu paliva Čistenie spalín pozostáva len zo zberu pevných častíc Lepšie vyhorenie Nižšie hodnoty emisií Žiadne vyhrievacie plochy v posteli nie sú vystavené riziku erózie Lepšia kontrola výkonu 	<p>Výhody:</p> <ul style="list-style-type: none"> Vysoká dostupnosť procesu Veľké kapacity Vysoká hustota výkonu Dobré vyhorenie Využitelný popol
<p>Nevýhody:</p> <ul style="list-style-type: none"> Vysoké straty spaľovaním 2 – 4 % nespáleného uhlíka Vysoké teploty spalín v dôsledku obmedzeného predohrevu vzduchu Nevhodné pre jemnozrnné palivá 	<p>Nevýhody:</p> <ul style="list-style-type: none"> Popol bez ďalšej prípravy nie je možné použiť Pomerne vysoká potreba vápenca na zachytávanie síry 	<p>Nevýhody:</p> <ul style="list-style-type: none"> Pomerne vysoká požiadavka na prípravu paliva Čistenie spalín potrebných pre častice, SO₂ a NO_x

Okrem vyššie uvedených najčastejšie využívaných konštrukcií kotlov na tuhé palivá existuje niekoľko ďalších druhov, ktoré sú špecifické pre konkrétne spaľované palivo. Príkladom môže byť nízka teplota tavenosti popola, ktorá môže negatívne ovplyvňovať spaľovací proces, keďže dochádza k taveniu popola, ktorý následne znižuje účinnosť spaľovania, vytvára škvaru a usadeniny v spaľovacom priestore, môže sa lepiť na výmenník tepla a znižovať množstvo preneseného tepla do teplonosného média a môže spôsobiť poškodenie kotla. Príkladom špecifickej konštrukcie môže byť kotol na spaľovanie celých balíkov slamy (obr. 28). Tu môže byť kúrenisko koncipované podobne ako pri kotloch na kusové drevo s dávkovaním slamy po dávkach. Ak ide o horné odhorievanie paliva, spaľovanie je diskontinuálne s veľmi ťažko regulovateľným priebehom spaľovania. Výhoda tohto princípu spaľovania je však v tom, že zariadenie je vhodné pre rôzne veľkosti balíkov. Ďalšou využívanou možnosťou je, že slama sa spaľuje v kotloch so spodným odhorievaním. Výhoda tohto spaľovania spočíva v tom, že priebeh spaľovania je výrazne ľahšie regulovateľný. Pri zariadeniach so spaľovaním dávok slamy sa počas horenia značne prejavujú výkyvy teploty, výkonu, prebytku vzduchu a tvorba emisií. Preto je vhodné spaľovanie balíkov slamy realizovať (ak je to možné) pri plnom prevádzkovom zaťažení. Na zníženie tavenia popola sa aj tu využíva zníženie teploty v oblasti lôžka popola pomocou vodného plášťa. V súčasnosti existujú novšie konštrukcie kotlov na

spaľovanie slamy s výkonmi rádovo niekoľko kW až po niekoľko MW. Spaľovanie slamy prebieha na vzduchom chladenom šikmom rošte, ale spaľovacia komora je bez výmurovky. Steny spaľovacej komory sú chladené vodou, a to z dôvodu nižšej teploty tavenia popolčeka slamy, čím sa zabráni spekaniu popolčeka vo vnútri kotla.



Obrázok 28: Veľký kotol na spaľovanie slamy (17)

1.1.4 Kotly na kvapalné palivá

Kotly na kvapalné palivá sú vybavené horákmi na kvapalné palivo. Medzi kvapalné palivá zaradíme najmä palivá, ktorých základom býva obyčajne ropa. Kvapalné palivo môže byť aj produkt pyrolýzy z biomasy, resp. odpadných látok. V praxi ide najmä o olejové palivá. Základom vykurovania kvapalným palivom sú v súčasnosti tzv. unity. Týmto termínom sa rozumie kompletný tepelný zdroj tvorený kotlom, horákom na spaľovanie kvapalných palív, bojlerom, reguláciou, obehovým čerpadlom atď. Úlohou unity je optimálna a maximálne efektívna výroba tepla, a to za podmienky dosiahnutia čo najnižšej úrovne vypúšťaných škodlivín. Výrobcom tepelnej techniky na trhu ponúkajú tieto zariadenia v prevedení stacionárnom (stojacom na podlahe) alebo závesnom (zavesenom na múre). V týchto zariadeniach sa spaľovaním vykurovacieho oleja vyrába teplo pomocou nízkoteplotnej alebo kondenzačnej technológie. Všetky tieto kotly možno pripojiť k tepelnej sústave.

Spaľovací proces kvapalných palív prebieha odlišne podľa typu použitého horáka. Najviac rozšírený typ horáka je rozprašovací. Rozprašovací horák kotla na ľahký vykurovací olej nevyžaduje predohrev paliva pri teplotách nad bodom mrazu. Ťažké vykurovacie oleje vyžadujú predohrev paliva, a tak sa ťažký vykurovací olej pri malých zdrojoch nepoužíva. Horákové kotly sa využívajú najmä na ústredné vykurovanie budov, na teplovzdušné vykurovanie hál a dielní. Aby kvapalné palivo horelo, musí sa maximálne zväčšiť jeho merný povrch, t. j. musí sa odpariť alebo rozprášiť na malé kvapôčky. Preto sa kvapalné palivo buď priamo splyní, alebo sa použije niektorý spôsob rozprašovania.

Moderné horáky pre malé zdroje tepla na kvapalné palivá používajú na rozprašovanie paliva dýzy. Na dosiahnutie dokonalého spaľovania slúži aj predohrev paliva a rôzne systémy rozprašovania. Pri malých zdrojoch tepla na kvapalné palivo môžu byť použité (22):

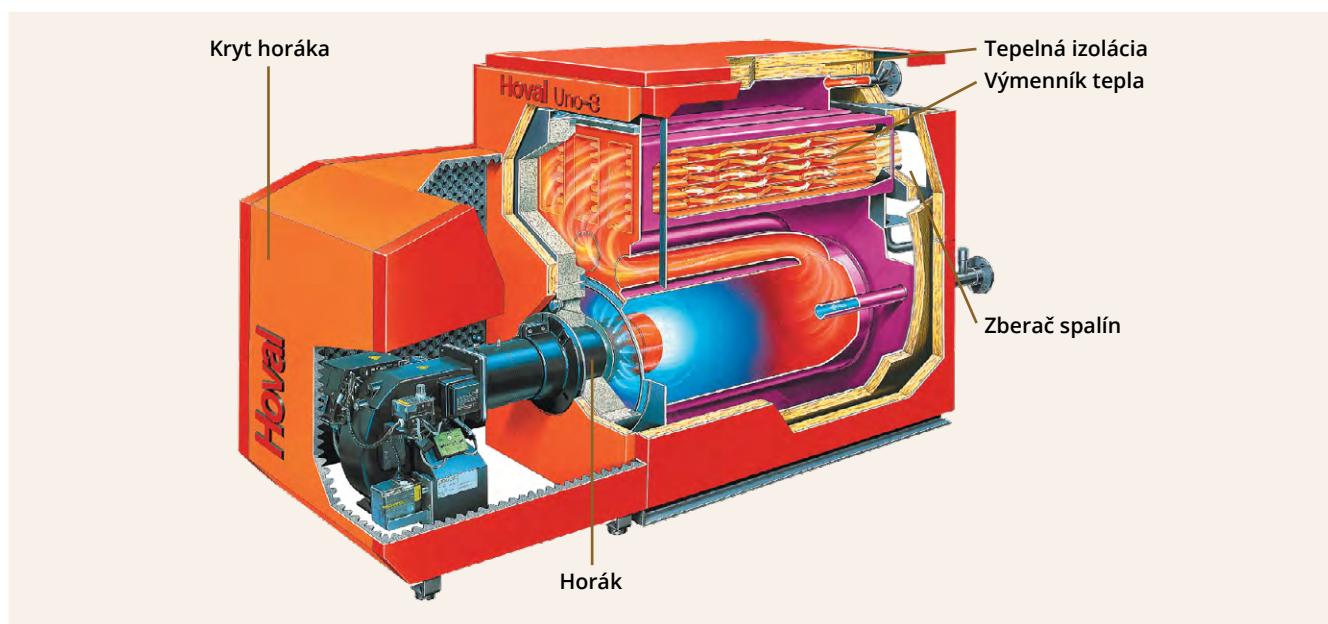
- Horák so žltým plameňom (bez recirkulácie) – palivo sa dopravuje pod tlakom do dýzy, kde dochádza k atomizácii paliva a jeho zmiešaniu so zavíreným vzduchom, čím vznikne zápalná zmes. Konštrukcia horáka neumožňuje úplné splynutie a vyhorenie paliva.

- Horák s modrým plameňom (s recirkuláciou) – konštrukciou horáka sa dosiahne recirkulácia horúcich spalín do ústia horáka (vplyvom zóny spätného prúdenia), čím dôjde k úplnému splynutiu paliva. Výhodou týchto horákov je nižší nadbytok vzduchu a nižšie emisie pri štarte aj trvalej prevádzke.
- Horák RotriX – podstata horáka spočíva v zmene princípu stabilizácie plameňa. Plameň sa oproti konvenčným systémom stabilizuje silným točivým prúdením novou konštrukciou hlavy horáka, čím zaisťuje homogénne premiešavanie splynutého paliva s recirkulujúcimi spalínami a vzduchom. Dokonalé rozprašovanie a vnútorná recirkulácia spalín znižujú teplotu plameňa tak, že emisie NO_x a CO dosahujú nižšie hodnoty.
- Recirkulačný horák s keramikou trubicou – plameň sa stabilizuje vo vírniku, kde sa zvyšuje rýchlosť prúdenia so zodpovedajúcim poklesom tlaku. Točivý pohyb umožňuje recirkuláciu spalín. Palivo sa vstrekuje tlakovou rozprašovacou dýzou do prúdu vzduchu a protiprúdom recirkulačných spalín sa splyňuje. Plameň sa stabilizuje vo vyhorevacej keramickej trubici.

Aj v prípade horákov pre stredné zdroje tepla je princíp rovnaký ako pri horákoch pre malé zdroje tepla, v dôsledku rozdielneho paliva a veľkosti výkonu sa však systém rozprašovania môže odlišovať. Medzi najčastejšie využívané horáky pre stredné zdroje tepla na kvapalné palivo sa radia (22):

- Tlakové horáky – rozprašujú palivo vlastným tlakom vo vírovej komôrke. Okolo vrstvy oleja sa privádza vzduch, ktorého rotáciu zabezpečuje vírnik alebo lopatky.
- Rozprašovacie horáky – na rozprašovanie využívajú energiu uvoľnenú expanziou plynného média – vzduchu, prípadne pary. Na spaľovanie v peciach sa používa nízkotlakové rozprašovanie. Pri vyšších tlakoch sa ako rozprašovacie médium využíva buď vzduch, alebo para.
- Ultrazvukové horáky – na rozprašovanie paliva využívajú kombinovaný účinok vysokofrekvenčných kmitov a expanziu vzduchu alebo pary. Používajú sa rôzne typy dýz s možnosťou spaľovania plynných palív, ale aj rôznych kalov.
- Rotačné horáky – využívajú sa najmä v spaľovniach odpadov alebo zariadeniach na spoluspaľovanie odpadov na spaľovanie znečistených olejov. Olej sa privádza pod malým tlakom alebo samospádom do rozširujúceho sa kalíška, ktorý rotuje okolo vodorovnej osi. Využívajú sa aj na spaľovanie kalov.

Viacero výrobcov vyrába kombinované horáky, ktoré umožňujú spaľovanie ľahkého vykurovacieho oleja, ako aj spaľovanie zemného plynu.



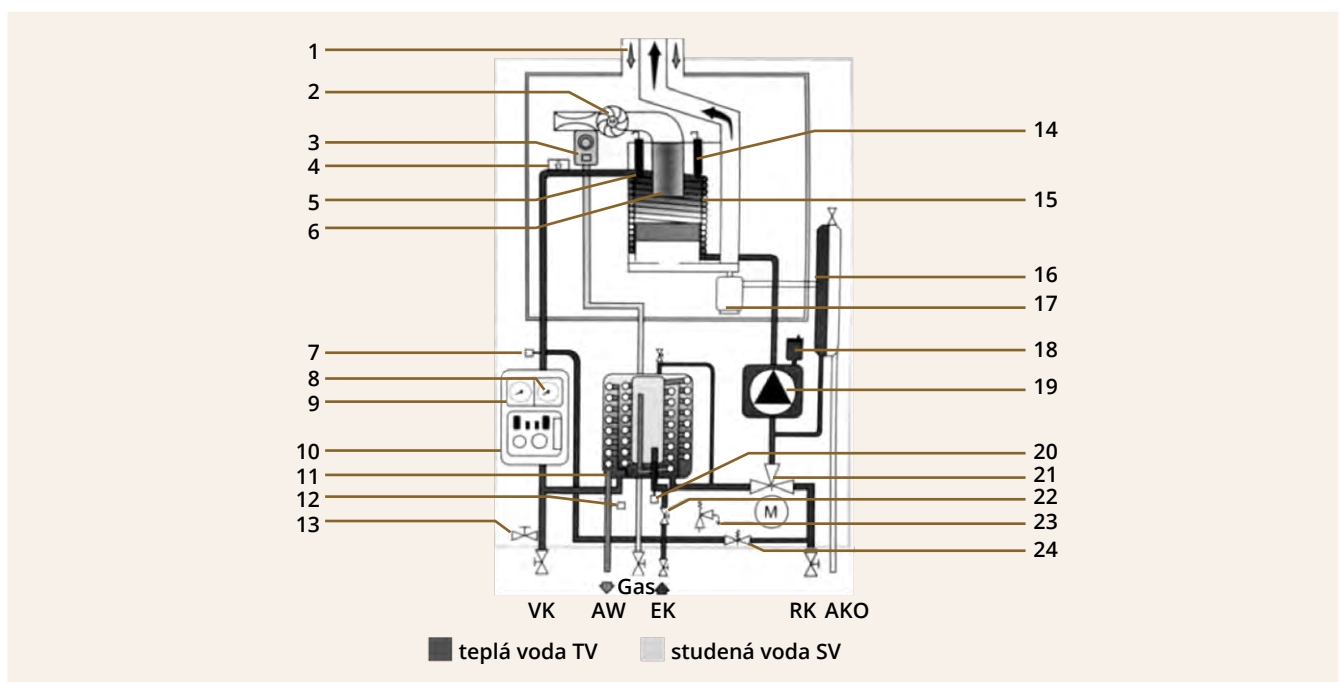
Obrázok 29: Rez kotlom spaľujúcim ľahký vykurovací olej (23)

1.1.5. Kotly na plynné palivá

Plynné palivá pre kotly na plynné palivá sú zmesi horľavých a nehorľavých plynov. Najväčší význam z hľadiska využívania má prírodné plynné palivo – zemný plyn. Vzhľadom na pomerne vysoký tlak je vhodný na dopravu plynovodnými rozvodmi na neobmedzené vzdialenosti, avšak pri dodržaní predpísaných bezpečnostných podmienok. Na verejné zásobovanie a spaľovanie v zdrojoch tepla sa používajú najmä zemný plyn, bioplyn, vodík, syntetický plyn, svietiplyn, propán-bután.

Na spaľovanie plynných palív sa používajú kotly, ktoré sú vybavené automatickými plynovými horákmi. Ich prevádzku možno riadiť automaticky podľa plánovaného denného režimu. Kotly musia byť vybavené bezpečnostným zariadením, ktoré ich chráni pri prehriatí, vylučuje možnosť otravy plynom a umožňuje bezpečné zapalovanie horákov. Základným konštrukčným prvkom kotlov je liatinové alebo ocelové teleso s kvalitnou tepelnou izoláciou, ktoré je vybavené horákovou súpravou so strážením plameňa, zapalovaním a ovládaním, zabezpečovacím a regulačným zariadením. Zdroje tepla na plynné palivá môžu byť závesné, stacionárne, prípadne turbokotly a poloturbokotly. Turbokotly sú zariadenia na spaľovanie plynných palív vybavené ventilátorom, ktorý zabezpečuje prívod spaľovacieho vzduchu, ako aj odvod spalín. Poloturbokotly majú inštalovaný len ventilátor slúžiaci na odtiah spalín.

V súčasnosti sa na výrobu tepla na vykurovanie používajú najmä nízkoteplotné a kondenzačné plynové kotly. Kondenzačné kotly najlepšie spĺňajú parametre úspornosti i šetrnosti voči životnému prostrediu. Pri klasickom nízkoteplotnom kotle odchádzajú spaliny cez komín alebo iným vývodom priamo von. Naopak, kondenzačné kotly toto teplo odovzdávajú ochladenej vode pritekajúcej zo systému a prihrejú ju. Týmto spôsobom stačí na jej dohriatie – skôr ako sa vráti naspäť do systému – menšie množstvo plynu. Pri ochladzovaní spalín dochádza ku kondenzácii obsiahnutej vodnej pary



Obrázok 30: Schéma kondenzačného plynového kotla: AKO – odvod kondenzátu; AW – výstup teplej vody; EK – výstup studenej vody; Gas – pripojenie plynu; RK – spiatočka kotla; RS – spiatočka zo zásobníka teplej vody; VK – výstup z kotla; VS – výstup do zásobníka teplej vody; 1 pripojenie vzduch – spaliny; 2 ventilátor; 3 plynová armatúra; 4 bezpečnostný termostat; 5 žhaviaca elektróda; 6 plynový horák; 7 senzor výstupnej vody; 8 manometer na výstupe; 9 teplomer na výstupe; 10 univerzálny horákový automat UBA 1.5; 11 výmenník tepla na ohrev TV; 12 senzor snímania teploty vytekajúcej vody; 13 plniaci a vypúšťací kohút kotla; 14 ionizačná elektróda; 15 výmenník tepla SpirAl y rebrovanej rúrky; 16 membránová expanzná nádoba; 17 sifón; 18 automatické odvzdušnenie; 19 obehové čerpadlo; 20 senzor pohot. Stand-by teploty; 21 trojcestný ventil; 22 obmedzovač prietoku; 23 poistný ventil; 24 prepúšťací ventil (24)

a k uvoľneniu kondenzačného tepla. Ich úspornosť teda spočíva v tom, že využívajú aj časť kondenzačného tepla pary obsiahnutej v spalinách. Spotrebujú tak o 15 % menej energie ako klasické kotly.

Plynové zdroje tepla s výkonom nad 50 kW sa umiestňujú v samostatných kotolniciach. Za kotolňu sa považuje samostatná budova, stavebný objekt, miestnosť alebo vyhradený priestor, v ktorom je umiestnený jeden alebo viac kotlov na ústredné vykurovanie, na ohrev teplej vody alebo na výrobu technologického tepla. V kotolni sa taktiež môžu nachádzať pomocné zariadenia kotlov, ako sú napájacie nádrže, cirkulačné čerpadlá, ventilátory a pod. Plynové kotolne sa delia do 3 kategórií:

- III. kategória – plynové zdroje tepla s menovitým výkonom do 500 kW;
- II. kategória – plynové zdroje tepla s menovitým výkonom od 500 kW do 3,5 MW;
- I. kategória – plynové zdroje tepla s menovitým výkonom nad 3,5 MW.

Kotly spaľujúce plyné palivá sú vybavené plynovými horákmi, ktoré zabezpečujú správny proces horenia. Ich prevádzku možno riadiť automaticky podľa plánovaného denného režimu. Kotly musia byť vybavené rôznymi bezpečnostnými zariadeniami. Tie ich chránia pred prehriatím, vylučujú možnosť otravy plynom (pri zhasnutí plameňa) a umožňujú bezpečné zapalovanie horákov.

Horáky pre plyné palivá je možné rozdeliť nasledovne:

- Atmosférické – využívajú sa v menších kotloch. Sú zvarané z tenkostenných oceľových profilov, do ktorých sú zasadené keramické doštičky a tie sa spájajú zmiešavacími trubicami, v ktorých je upevnená dýza. Veľkosť dýzy udáva výkon horáka a druh spaľovacieho plynu. Pracujú na princípe viacerých čiastkových plamienkov, ktoré spolu tvoria sálavú plochu v kotle a umožňujú tvarovať plameň, čím sa ovplyvňuje v procese spaľovania tvorba škodlivín – emisií dusíka, uhlíka a síry.
- Pretlakové – využívajú sa vo väčších kotloch, umožňujú obmedzené tvarovanie plameňa, ale v malom objeme dosahujú vysoký tepelný výkon, avšak sprievodným javom je ich pomerne vysoká hlučnosť vznikajúca prevádzkou vzduchového ventilátora a turbulenciou plameňa v kotle. Horáková súprava pozostáva zo skrine ventilátora, vzduchového kanála, telesa horáka a krytu transformátora a svorkovnice. Horáky vytvárajú jednoliaty monoblok a sú regulované automatikou.

Ďalej sa horáky rozdeľujú podľa použitia na:

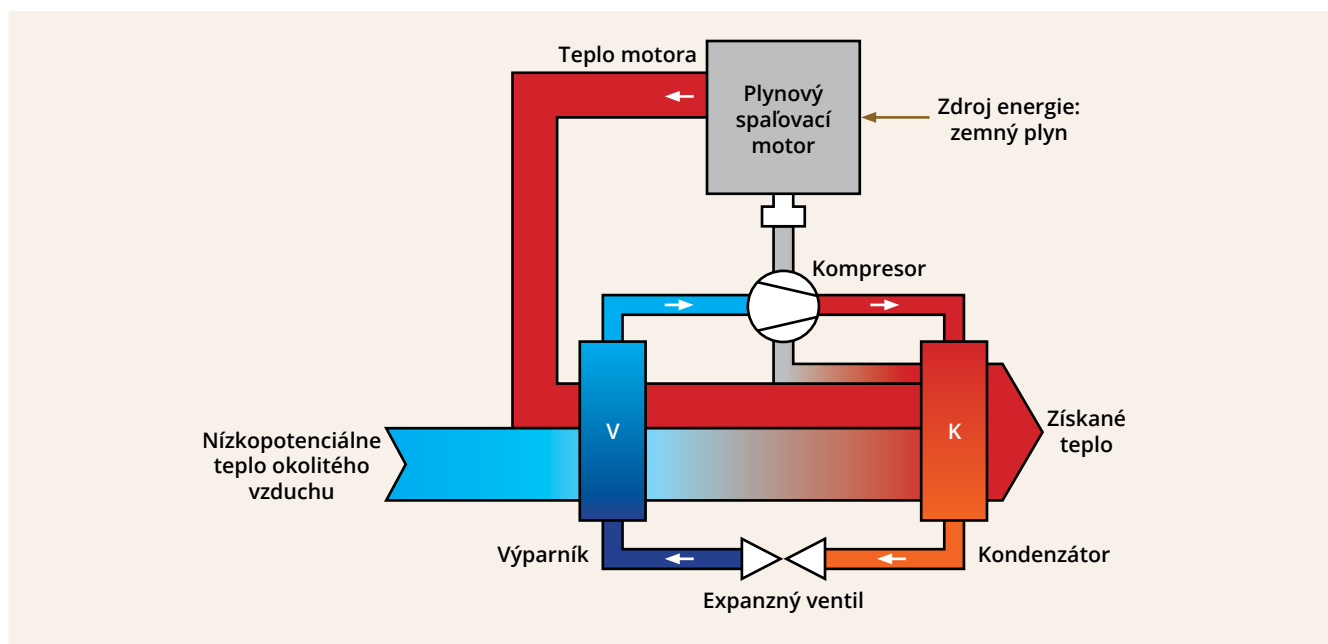
- prevádzkové, ktoré sú v prevádzke pri bežnom výkone kotla;
- stabilizačné, ktoré sú v prevádzke pri nižšom – nestabilnom výkone kotla;
- zapalovacie, ktorými sa začína nábeh kotla.

Menej rozšíreným zdrojom tepla na plyné palivá je plynové tepelné čerpadlo. Plynové tepelné čerpadlo je energetický systém, kde hlavným zdrojom tepla je nízkopotenčný zdroj z okolia, napr. vonkajší vzduch, a na pohon kompresora sa používa motor, ktorý spaľuje zemný plyn. Najväčší podiel v súčasnosti realizovaných tepelných čerpadiel pracuje na princípe parného kompresorového chladiaceho obehu. Hlavné komponenty takéhoto systému s ich vzájomným energetickým prepojením sú:

- kompresor,
- kondenzátor,
- expanzný ventil,
- výparník.

Termodynamický obeh sa v tepelnom čerpadle uskutočňuje pomocou pracovnej látky – chladiča. Jeho vlastnosti, najmä bod varu a kondenzácie v závislosti od tlaku, musia zodpovedať požadovaným teplotným parametrom tepelných tokov do výparníka a z kondenzátora. Tepelné čerpadlá sú teda zariadenia, ktoré umožňujú odoberanie energie z okolitého prostredia a jej prevádzanie do interiéru. Prevod tepla sa zabezpečí fyzikálnymi vlastnosťami chladiča, ktoré je schopné absorbovať

teplo z okolia. Následne je schopné odovzdať teplo do interiéru alebo opačne (v prípade chladenia). Umožňuje využiť takmer akýkoľvek nízkopotenciálny prírodný zdroj tepla ako napríklad zem, voda, vzduch alebo odpadové teplo v priemysle. Inverzia tepla je preto možná pri využívaní systémov výmeny viacerých médií.



Obrázok 31: Princíp plynového tepelného čerpadla (25)

1.1.6. Možnosti zníženia zaťaženia životného prostredia zo spaľovacích kotlov

Zníženie emisií znečisťujúcich látok do ovzdušia z kotlov spaľujúcich rôzne palivá je možné viacerými spôsobmi. Na každej technológii je potrebné hľadať konkrétne riešenia. Podľa použitého paliva je potrebné prispôbiť technológiu. V nasledujúcich podkapitolách (2.1.6.1. – 2.1.6.15.) sú uvedené rôzne možnosti redukcie znečisťovania ovzdušia z rôznych aplikácií s kotlami. Použité techniky musia byť zároveň aj ekonomicky prijateľné. Z ekonomického hľadiska však platí, že aplikácia opatrení na menšie kotly sa finančne menej oplatí.

Techniky na zníženie emisií z kotlov:

- zmena palivovej základne – všetky spaľovacie zariadenia, ak to umožňuje konštrukcia a technológia kotla;
- využitie vhodnej spaľovacej technológie – veľké a väčšie stredné spaľovacie zariadenia, ak to umožňuje konštrukcia a technológia kotla;
- zmena horáka – všetky spaľovacie zariadenia, ak to umožňuje konštrukcia a technológia kotla;
- zmena geometrie spalínového traktu – malé spaľovacie zariadenia a v menšej miere aj menšie stredné spaľovacie zariadenia, ak to umožňuje konštrukcia a technológia kotla;
- zmena prívodu spaľovacieho vzduchu do kotla – všetky spaľovacie zariadenia, ak to umožňuje konštrukcia a technológia kotla;
- správne nastavenie ťahu komína – malé spaľovacie zariadenia a v menšej miere aj menšie stredné spaľovacie zariadenia, ak to umožňuje konštrukcia a technológia kotla;
- zmena konštrukcie výmenníka tepla – malé spaľovacie zariadenia a v menšej miere aj menšie stredné spaľovacie zariadenia, ak to umožňuje konštrukcia a technológia kotla;
- využitie turbolizátorov – malé spaľovacie zariadenia a v menšej miere aj menšie stredné spaľovacie zariadenia, ak to umožňuje konštrukcia a technológia kotla;

- využitie tepelnej izolácie – všetky spaľovacie zariadenia, ak to umožňuje konštrukcia a technológia kotla;
- rešpektovanie prevádzkových postupov a údržby – všetky spaľovacie zariadenia, ak to umožňuje konštrukcia a technológia kotla;
- odsírenie spalín – veľké a väčšie stredné spaľovacie zariadenia, ak to umožňuje konštrukcia a technológia kotla;
- vstrekovanie aktívneho uhlia (napr. zníženie emisií TZL, kovov) – veľké a väčšie stredné spaľovacie zariadenia, ak to umožňuje konštrukcia a technológia kotla;
- vstrekovanie suchého sorbentu (zníženie emisií SO_x , HCL, HF) – veľké a väčšie stredné spaľovacie zariadenia, ak to umožňuje konštrukcia a technológia kotla;
- selektívna katalytická redukcia (zníženie emisií NO_x) – veľké, väčšie stredné a menšie stredné spaľovacie zariadenia, ak to umožňuje konštrukcia a technológia kotla;
- systémy spätného získavania tepla – veľké, väčšie stredné a menšie stredné spaľovacie zariadenia, ak to umožňuje konštrukcia a technológia kotla.

1.1.6.1. Zmena palivovej základne

Znečisťovanie ovzdušia priamo súvisí aj s výberom paliva a jeho spaľovaním vo zvolenom zdroji tepla. Vo všeobecnosti platí, že malé zdroje tepla produkujú súhrnne viac emisií ako veľké zdroje tepla, keďže nie sú vybavené odľučovačmi a dochádza v nich k horeniu aj menej kvalitného paliva. Najjednoduchším spôsobom, ako minimalizovať produkciu emisií v malých zdrojoch tepla, je použitie vysokokvalitného paliva s nízkym obsahom popola, nízkou vlhkosťou a konštantnou časticovou veľkosťou (17).

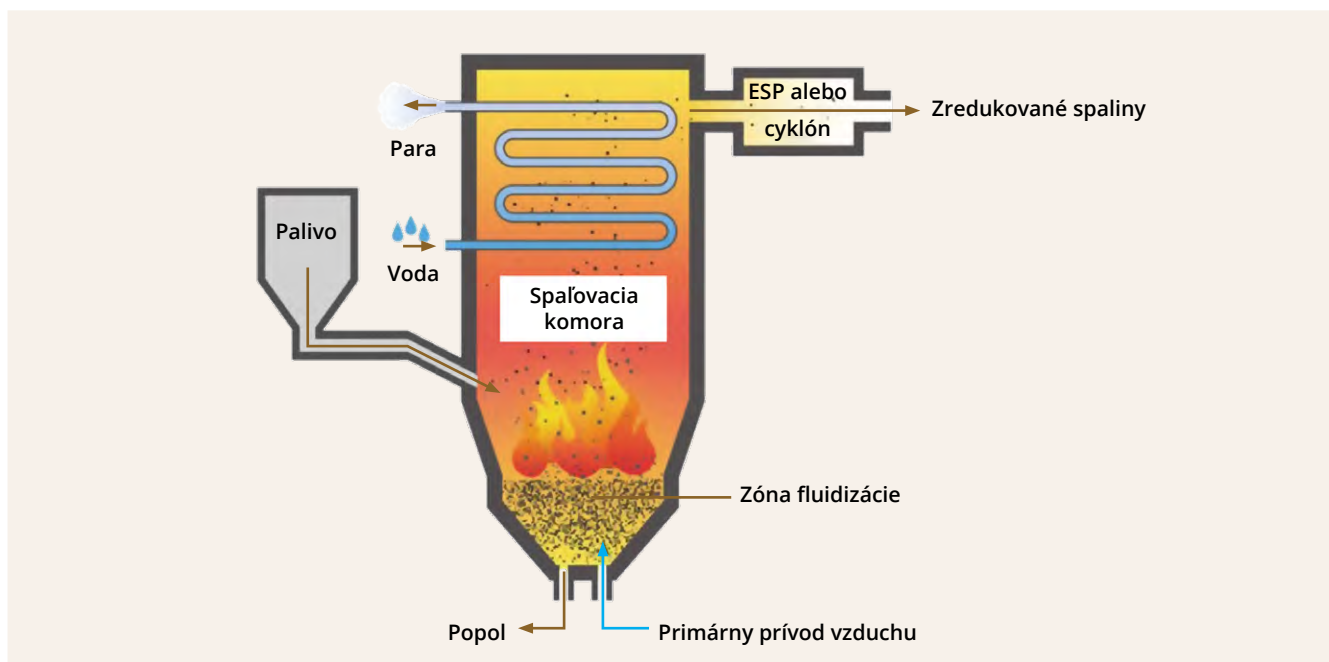
Redukciu emisií možno docieľiť aj premyslenou kombináciou rôznych druhov palív so zámerom obmedzenia spaľovania uhlia. Na porovnanie uvádzame tri kombinácie paliva:

- kombinácia A: zemný plyn + uhlie,
- kombinácia B: výhrevný olej + uhlie,
- kombinácia C: biomasa + uhlie.

V dôsledku obmedzenia spaľovania uhlia sa hodnota emisií oxidov dusíka (NO_x) v ovzduší výrazne znížila z približne 128 241 ton na 107 350 ton pri kombinácii A pri hodnote 20 000 ton/rok. Najväčšia úspora koncentrácie SO_x bola získaná pri kombinácii A aj C pri hodnote 95 000 ton/rok. Najväčšia zmena produkcie CO_2 bola dosiahnutá pri kombinácii C pomocou implementácie biomasy a to až z 44 mil. ton na 32 mil. ton. Zmena tuhých znečisťujúcich látok je zanedbateľná na základe výsledkov americkej štúdie. (26)

1.1.6.2. Vhodná spaľovacia technológia

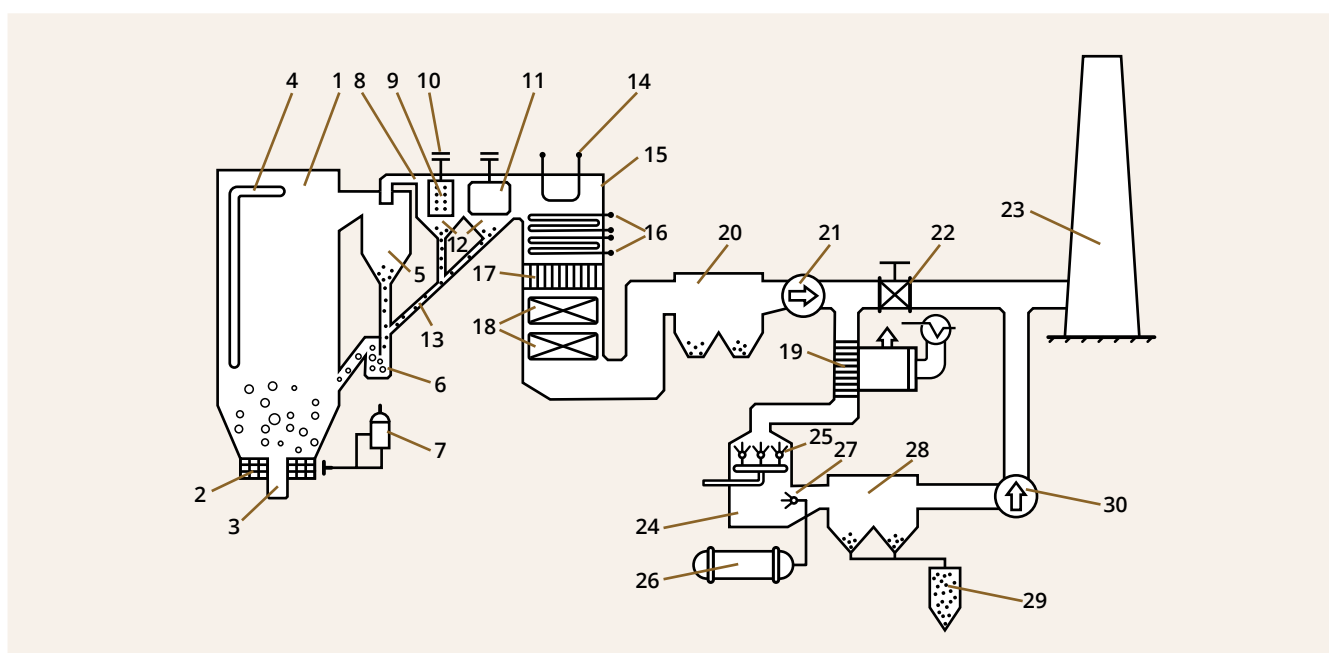
Spaľovanie vo fluidnom lôžku (FBC) je spaľovacia technológia používaná na spaľovanie tuhých palív. O fluidizácii lôžka pevných častíc sa hovorí vtedy, keď tlaková kvapalina (kvapalina alebo plyn) prechádza cez médium a spôsobuje, že pevné častice sa za určitých podmienok správajú ako kvapalina. Fluidizácia spôsobuje premenu stavu pevných častíc zo statického na dynamický. Spaľovanie vo fluidnom lôžku prebieha, keď ventilátor s núteným ťahom privádza vzduch do pece kotla (26).



Obrázok 32: Schematické znázornenie technológie FBC (26)

Výhody tejto technológie sú (27):

- technológia elektrostatickej úpravy spalín pri vysokej teplote zvyšuje účinnosť spaľovania;
- na optimalizáciu podmienok spaľovania sa použila trojvzduchová konštrukcia (zvyšuje efektívne spaľovanie paliva);
- proces predúpravy vysokoteplotnej časti a konverznej rekuperácie kyslých látok v nízko-teplotnej časti sa používa na dosiahnutie nízkych emisií spalín;
- použitie vysokoteplotných elektrostatických spracovateľov spalín zlepšuje výkon a bezpečnosť zariadení umiestnených v dymovode kotla;
- použitie vysokoteplotného elektrostatického procesora spalín zlepšuje účinok použitia odsírenia spalín.



Obrázok 33: Spaľovací systém a spalínový systém pre cirkulačný fluidný kotol (27)

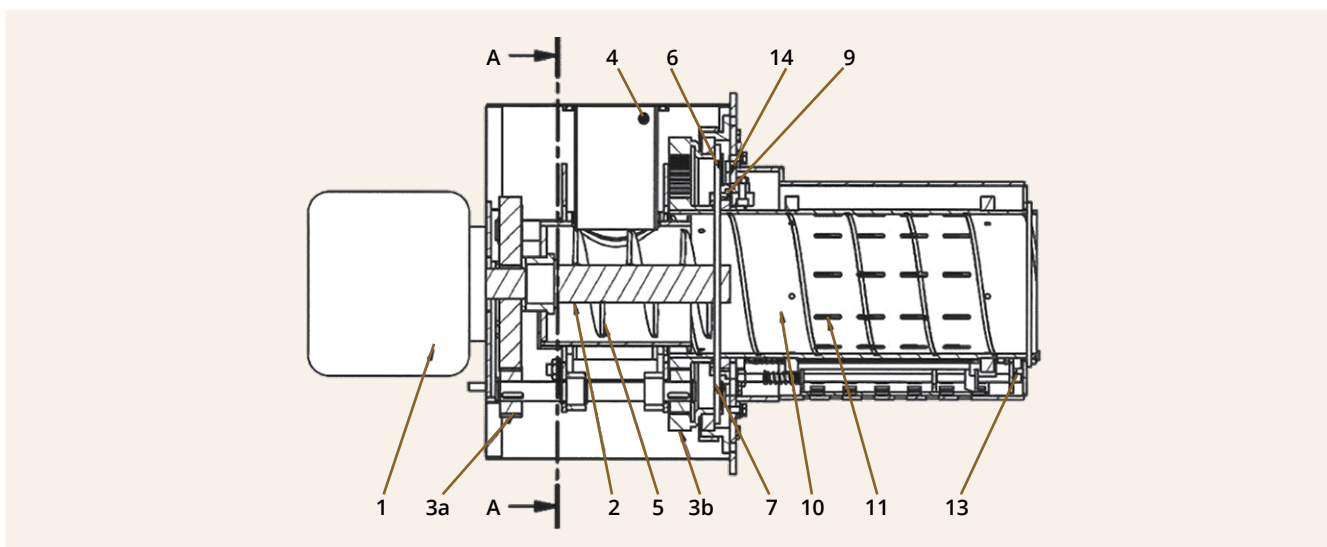
Na obrázku 33 je schéma konfigurácie systému tohto vynálezu: 1 pec; 2 doska na rozvod vzduchu; 3 otvor na vypúšťanie trosky; 4 vodná chladiaca stena; 5 cyklónový odlučovač plynov a pevných látok; 6 spätný podávač; 7 štartovací horák; 8 elektrostatický procesor spalín; 9 doska emitora; 10 zdroj energie; 10, 11 doska na zachytávanie prachu; 12 zásobník popola 1; 13 potrubie na popol; 14 stenový krycí prehrievač; 15 zadný dymovod kotla; 16 vysokoteplotné a nízokoteplotné prehrievacie zariadenie; 17 ekonomizér; 18 primárny a sekundárny predhrievač vzduchu; 19 viacfázový výmenník; 20 elektrický odlučovač prachu; 21 indukovaný ťahový ventilátor; 22 obtokový ventil spalín; 23 komín; 24 chladiaca veža; 25 zariadenie na rozprašovanie vody; 26 zásobník plynného amoniaku; 27 zariadenie na rozprašovanie amoniaku; 28 lapač aerosólov; 29 zásobník vedľajších produktov; 30 odsírovací ventilátor.

1.1.6.3. Zmena horáka

Samotný horák spaľovacieho zariadenia má výrazný vplyv na tvorbu emisií, a preto sa hľadajú nové konštrukčné riešenia a realizácie rôznych druhov horákov s cieľom zníženia tvorby emisií a optimalizácie spaľovacieho procesu.

Výrobcovia jednotlivých kotlov a horákov využívajú rozličné technológie. Príkladom môžu byť horáky na sypkú biomasu, napr. pelety, pričom táto technológia využíva otáčajúcu sa spaľovaciu komoru v kombinácii s možnosťou nastavenia rôznych spaľovacích parametrov, podľa použitého paliva, umožňujú bezproblémové spaľovanie palív s tendenciou tvorby spečených útvarov alebo palív so zvýšeným obsahom popola. Horák s rotujúcou valcovou spaľovacou komorou používa viac výrobcov, čo umožňuje spaľovať aj pelety nízkej kvality. Ďalší princíp horákov vychádza z princípu spodného prikladania paliva. Ďalšou možnosťou je rošt s pohyblivými roštnicami, ktorý zaisťuje pohyb paliva v spaľovacej komore, čo umožňuje spaľovať aj také palivá, ktoré sa pri horení spekajú. Ďalší výrobcovia malých výkonov používajú na odstránenie nespáliteľných zvyškov paliva horizontálny posuvný pohyb roštu v pravidelných intervaloch po vyhorení určitej dávky paliva. Ďalšou možnosťou najmä pre kotly stredného výkonu je tiež pohyblivý rošt, ale tvorený niekoľkými po sebe sa posúvajúcimi platňami. Pohybujúci sa rošt zabezpečuje kontinuálny odvod popola a tým bráni tvorbe škvary a trosky. Časť spalín je navyše opätovne vháňaná spalínovým ventilátorom do prívodu primárneho a sekundárneho vzduchu tak, aby sa znížila teplota v spaľovacej komore a zabezpečilo sa dokonalé vyhorenie prchavej horľaviny. Niektoré kotly využívajú otáčavý rošt s čistiacim hrebeňom. Rošt sa otáča cez hrebeň za účelom odstránenia popola a zlepcov zo vzduchových štrbín.

Ďalšou výbornou možnosťou na spaľovanie problematických palív je koncepcia viacpalivového horáka so zvýšenou samočistiacou funkciou využívajúca planétový prevod na prenos krútiaceho momentu z motora na pohon podávača a rotačnej spaľovacej komory súčasne. Hlavným zdrojom energie na vytvorenie rotačného pohybu spaľovacej komory je elektromotor, ktorý je cez závitovkovú prevodovku spojený s hlavným hriadelom horáka. Na tomto hriadeli je upevnený prvý rad planétového prevodu, ktorý slúži na zníženie otáčok spaľovacej komory proti podávacej závitovke, ktorá je spojená s týmto hriadelom a zabezpečuje dodávku paliva do spaľovacej komory. Na rozdiel od ostatných dostupných riešení sa využíva iba jeden hriadeľ na prívod paliva a aj na pohon otáčajúcej sa spaľovacej komory. Výhodou použitia planétového prevodu je zníženie celkového mechanického namáhania rotačných častí pri dosiahnutej vysokej účinnosti prenosu. Následne cez satelity planétového prevodu je prevedený výkon na druhý rad planétového prevodu, ktorý zabezpečuje rotačný pohon spaľovacej komory. Prívod vzduchu je rozdelený na primárny a sekundárny. Rozvádzač sekundárneho prívodu vzduchu zabezpečuje správne časovanie prívodu sekundárneho vzduchu do spaľovacieho priestoru v spaľovacej komore. Čistenie horáka od usadenín je zabezpečené kombináciou rotačného pohonu spaľovacej komory a časovaním prívodu sekundárneho vzduchu do spaľovacieho priestoru v spaľovacej komore (28).



Obrázok 34: Viacpalivový rotačný horák: 1 motor so závitovkovou prevodovkou; 2 hlavný hriadel; 3 satelity (3a, 3b); 4 samostatný podávač paliva; 5 závitovkový podávač; 6 regulačný rozvádzač; 7 centrálné koleso; 8 rozdeľovacie potrubie; 9 klzné ložisko; 10 spaľovacia komora; 11 tvarové prvky; 12 regulačná klapka; 13 oporné ložiská; 14 škrtiace prvky (28)

Ďalšou možnosťou na zníženie produkcie emisií môže byť zavedenie konvenčných energeticky účinných horákov ULNB (po angl. Ultra Low NO_x Gas Burner For Heating), čím je teoreticky možné znížiť produkciu emisií NO_x o 75 % a produkciu CO₂ o 6 % v porovnaní s úrovňami emisií konvenčných zdrojov tepla.



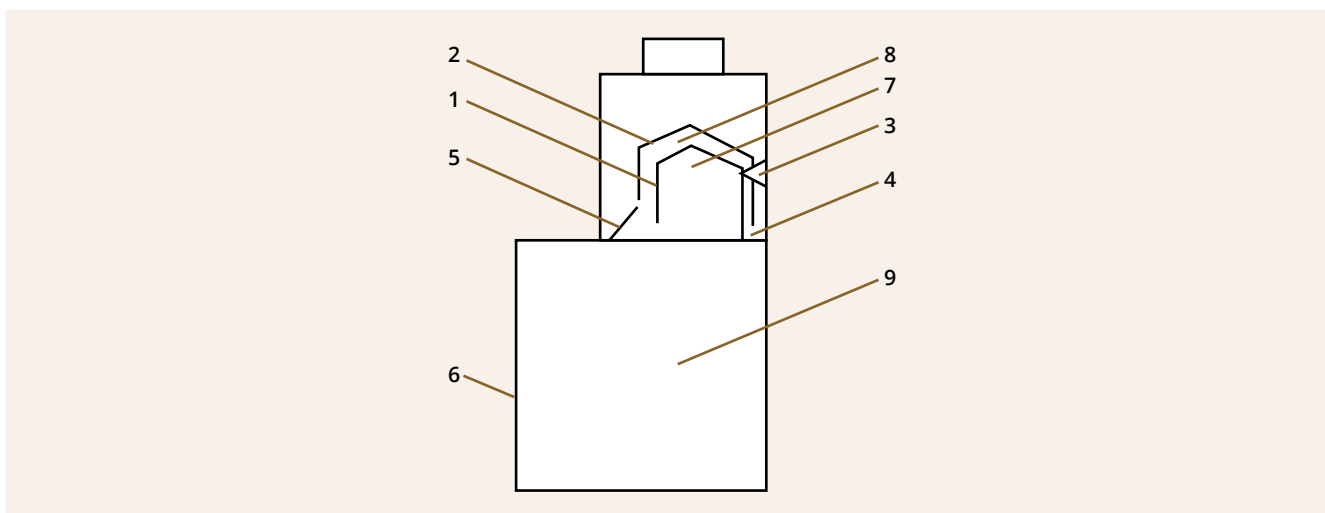
Obrázok 35: Plynový horák pre ultranízke oxidy dusíka (29)

Využitím horákov s vyššou účinnosťou spaľovania sa minimalizuje spotreba primárnych zdrojov energie a môže sa výrazne redukovať produkcia CO₂, plyných emisií a tuhých znečisťujúcich látok.

1.1.6.4. Zmena geometrie spalínového traktu

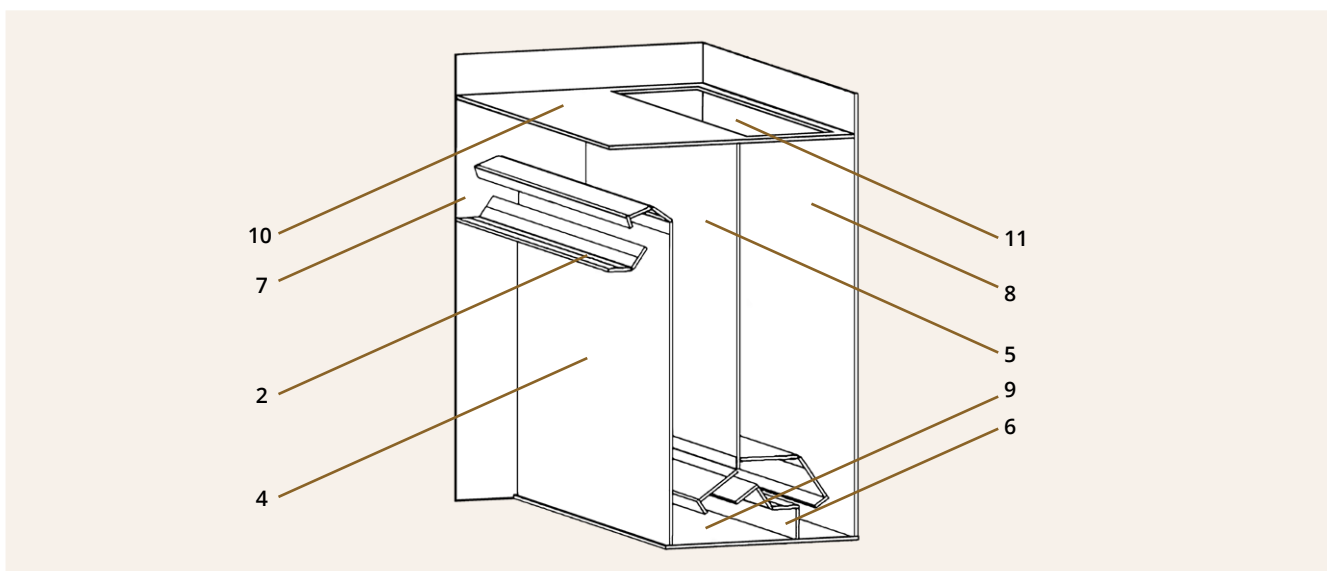
Znížiť množstvo emisií v ovzduší je možné aj prostredníctvom optimalizácie geometrie spaľovacích zariadení. Malé zdroje tepla produkujúce súhrnne viac emisií ako veľké zdroje tepla je možné vymeniť za novšie, spĺňajúce emisné limity, alebo implementovať odľučovaciu konštrukčnú úpravu do spalínovej cesty zariadení spaľujúcich hlavne tuhé palivá. Táto konštrukčná úprava by mala byť finančne a prevádzkovo oveľa menej nákladná ako výmena zariadenia za novší typ. Umiestnením tunelového labyrintu do spalínovej cesty znázornenom na obr. 36 sa podarilo znížiť celkovú koncentráciu TZL v spalínach o približne 20 %.

Okrem zníženia množstva tuhých znečisťujúcich látok vypúšťaných do ovzdušia tunelový labyrint zvyšuje aj tepelnú účinnosť. Súčasne má jednoduchú obsluhu a najmä údržbu a čistenie. Najvhodnejšie využitie je ako súčasť krbovej vložky. Podstata technického riešenia tohto zariadenia spočíva v tom, že obsahuje najmenej dva diely, z ktorých je jeden vrchný a druhý spodný diel. Spolu vytvárajú sekundárnu doháracu zónu. Spodný diel vytvára a zvrchu ohraničuje primárnu doháracu zónu nad spaľovacou komorou. Spodný a vrchný diel deflektora sú usporiadané tak, aby vzájomne vytvárali tunelový labyrint, ktorý vyúsťuje do usadzovacieho priestoru pre tuhé znečisťujúce látky, ktoré vznikajú v procese spaľovania. Teda priestor v tunelovom labyrinte je sekundárna doháraca zóna. Priestor nad usadzovacou plochou funguje ako mechanický odľučovač. Vplyvom tunelového labyrintu sa výrazne menia aerodynamické podmienky. Dochádza k intenzívnejšiemu premiešavaniu dohárajúcej spalín so vzduchom, ohrievajú sa, a tak zlepšujú podmienky spaľovania aj vo väčšej vzdialenosti od ohniska, čo umožňuje dohorenie horľavých zložiek spalín. (30)



Obrázok 36: Schéma tunelového labyrintu: 1 spodný diel deflektora; 2 vrchný diel deflektora; 3 otočný bod na pevnej konzole; 4 usadzovací priestor; 5 skartovacia klapka; 6 dvierka; 7 primárna doháraca zóna; 8 sekundárna doháraca zóna; 9 spaľovacia komora (35)

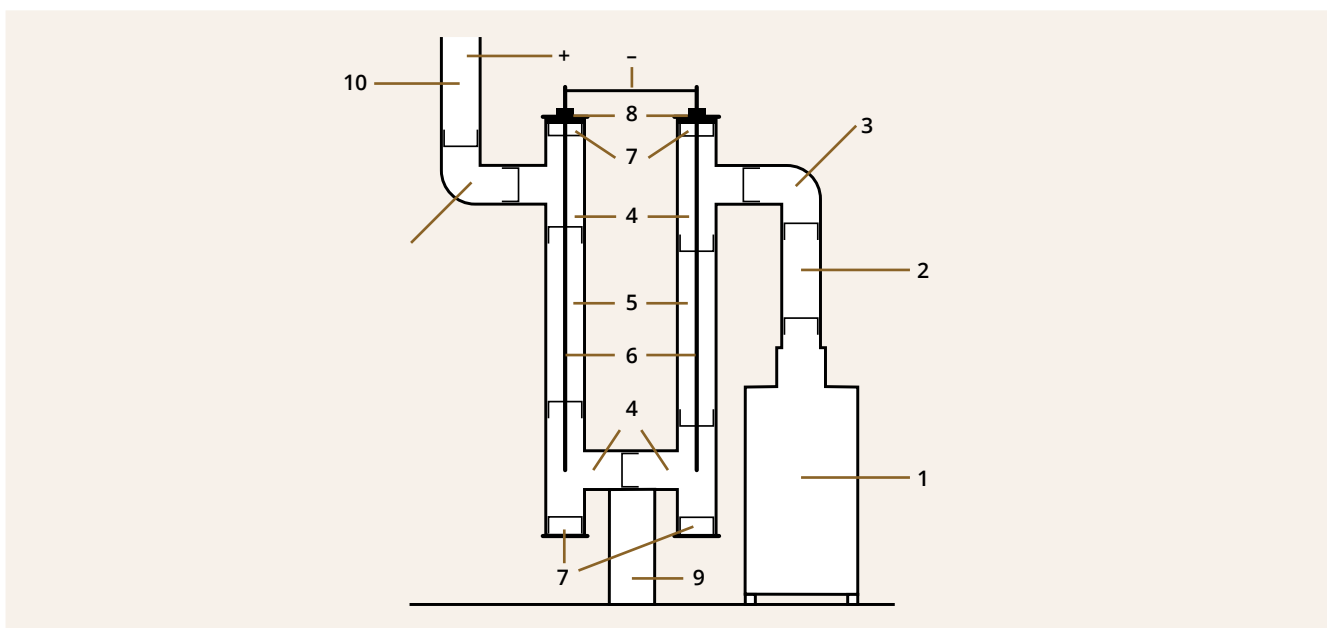
Rovnakú problematiku je možné riešiť aj kozubovými priečkami na redukcii úletu tuhých znečisťujúcich látok zo spalín. Kozubové priečky znázornené na obr. 37 pozostávajú zo štyroch kovových častí rôznych tvarov a veľkostí upevnené v separačnom medzikuse, ktorý sa vkladá ako samostatný celok do spalínového traktu kozuba alebo kozubových kachlí. Spaliny po vstupe do separačného medzikusa prechádzajú prvou a druhou priečkou, čím dôjde k usmerneniu toku a vzniku lokálnych vírov, pričom sa väčšie častice odlúčia z toku spalín a usadia na prvej priečke. Následne po prechode tretou a štvrtou priečkou sa odlúčia ďalšie stredne veľké častice z toku spalín, pričom spaliny očistené o niektoré frakcie tuhých znečisťujúcich látok putujú cez výstupný otvor separačného medzikusa do komína.



Obrázok 37: Schéma kozubových priečok: 1 vstupný otvor; 2 prvá prepážka; 3 ľavá bočná stena; 4 druhá prepážka; 5 tretia prepážka; 6 štvrtá prepážka; 7 zadná stena; 8 pravá bočná stena; 9 spodná stena; 10 vrchná stena; 11 výstupný otvor (31)

Na základe stechiometrických výpočtov a numerických simulácií v programe Ansys Fluent použitých ako prostriedkov na optimalizáciu bez investičných nákladov určených na realizáciu je možné kozubovými priečkami zachytiť až približne 62,3 % častíc tuhých znečisťujúcich látok (31).

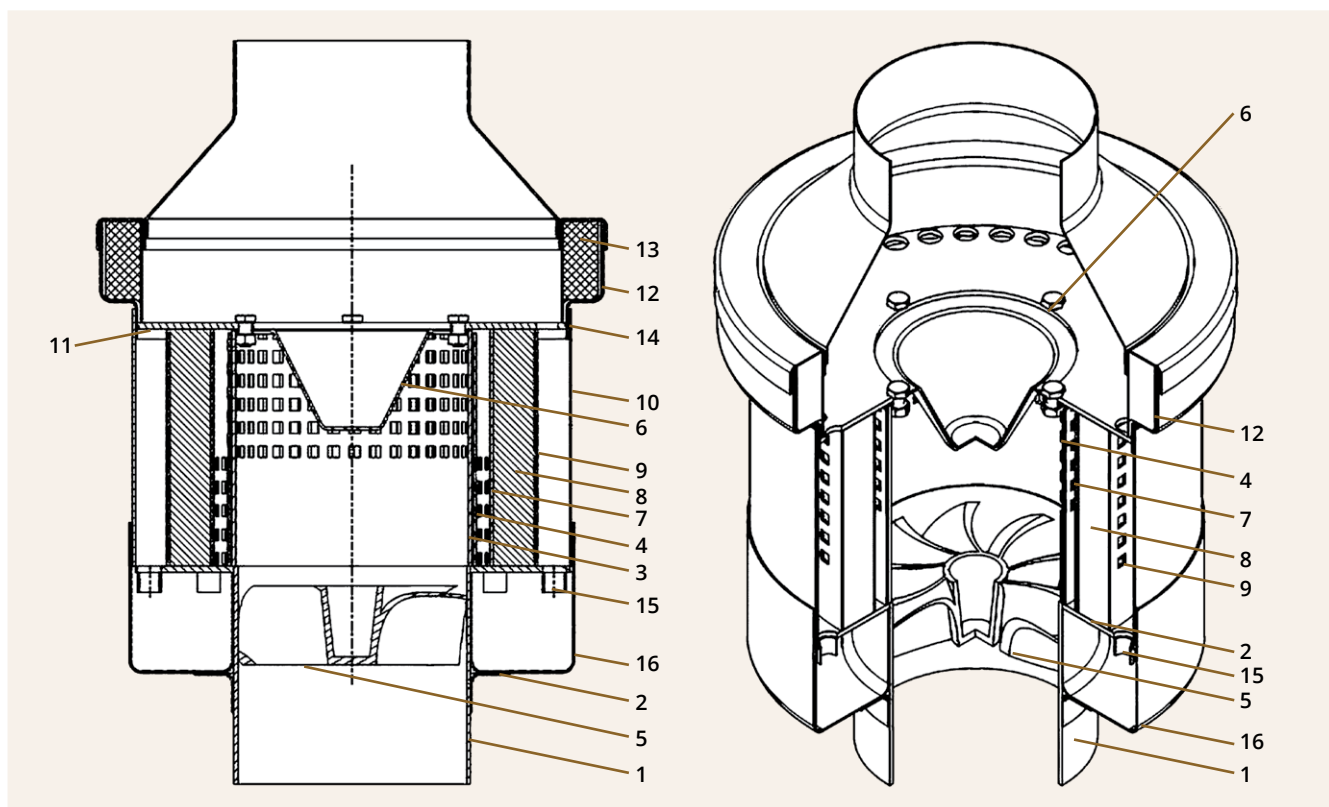
Okrem úpravy spalinovej cesty v samotnom zdroji tepla je možné riešiť problematiku znižovania emisií, hlavne tuhých znečisťujúcich látok, aj umiestnením odlučovacej konštrukcie do komína spaľovacieho zariadenia. Komínový odlučovač znázornený na obr. 38 je súčasťou komínového traktu a umiestňuje sa zasúvaním medzi vstupné a výstupné komínové potrubie. Jednotlivé komponenty odlučovača (T-kusy, záslepky, časti ramena odlučovača, kolená) sa do seba vzájomne zasúvajú do tvaru písmena U. Spaliny prechádzajú z malého zdroja tepla do takto vytvoreného komínového traktu, pričom tok spalín je usmernený tak, že prechodom spalín do odlučovača v tvare písmena U dochádza k prvotnému odlúčeniu väčších častíc TZL z toku spalín. V ramenách odlučovača sú ďalej elektricky nevodivými podložkami upevnené závitové tyče pripojené na externý zdroj napätia, ktoré majú funkciu elektród. Zapojením závitových tyčí na zdroj externého napätia sa stredne veľké a menšie častice TZL odlúčia elektrostatickou odlučovacou silou tak, že prechodom okolo záporne nabitých závitových tyčí sa záporne nabijú aj častice TZL, ktoré sú následne priťahované ku kladne nabitému povrchu stien ramien odlučovača. Funkciu izolantu vykonávajú elektricky nevodivé podložky, ktoré zároveň centrujú umiestnenie závitových tyčí v ramenách odlučovača (32).



Obrázok 38: Schéma kozubových priecok: 1 malý zdroj tepla; 2 vstupné komínové potrubie; 3 koleno; 4 T-kus; 5 časť ramena odlučovača; 6 závitová tyč; 7 záslepka; 8 elektricky nevodivá podložka; 9 podstavec; 10 výstupné komínové potrubie (32)

Na základe experimentálnych meraní je komínový odlučovač schopný zachytiť približne 71 % tuhých znečisťujúcich látok. Počas jeho prevádzky sa však na elektródach usadzujú častice. To znamená, že skutočná schopnosť zachytiť častice by mohla byť nižšia ako 71 %. V dôsledku možného zanášania, nepravidelného čistenia a údržby za normálnych podmienok možno očakávať priemernú účinnosť separácie 50 – 60 %.

Filter vkladajú do komína na zachytávanie tuhých znečisťujúcich látok zo spalín využíva na dokonalejšiu filtráciu viacstupňové odlučovanie znečisťujúcich častíc, keď v prvom stupni spaliny prechádzajú cez axiálny usmerňovač, čím dôjde k ich rotácii a vstupom do mriežkového zachytávača zmenou prúdenia dochádza k zachytávaniu najhrubších častíc. Následne spaliny prechádzajú cez druhý stupeň, ktorý je tvorený medzikružím s lomovým kremenným štrkom zrnitosti 6 – 10 mm. Uloženie kremenného štrku a hrúbka vrstvy zabezpečujú filtráciu stredne veľkých častíc. Keďže nejde o pórovitú štruktúru, nedochádza k jej upchatiu. Hrúbka a výška danej vrstvy zabezpečujú za každých podmienok, že spaliny vždy prechádzajú cez filtračnú vrstvu. Čistenie je možné jednoduchým prepláchnutím vodou. V treťom stupni dochádza k filtrácii najjemnejších častíc. Spaliny po prechode druhého stupňa sú vedené v protismere vstupu spalín do vonkajšej komory filtra, ktorej stena je zmáčaná minerálnym vysokoviskóznym olejom. Olej tečie cez mikroskopické otvory z hornej do dolnej nádrže, pričom zmáča priľahlé steny. Spaliny narážajú do tejto steny a na povrchu sa zachytávajú jemné častice. Tým, že olej neustále tečie, sú znečisťujúce častice postupne odplavované do spodnej nádrže. Olej je následne možné čistiť, napríklad filtráciou (33). Tento alebo podobné filtre dokážu účinne zachytávať TZL a redukovať ich produkciu o 50 – 99 % v závislosti od použitej technológie. Pokiaľ nestačí prirodzený ťah komína (v dôsledku tlakovej straty spôsobenej napr. filtračným zariadením), je potrebné aplikovať komínový ventilátor prispôbený na odťah spalín (vyššia teplota spalín).



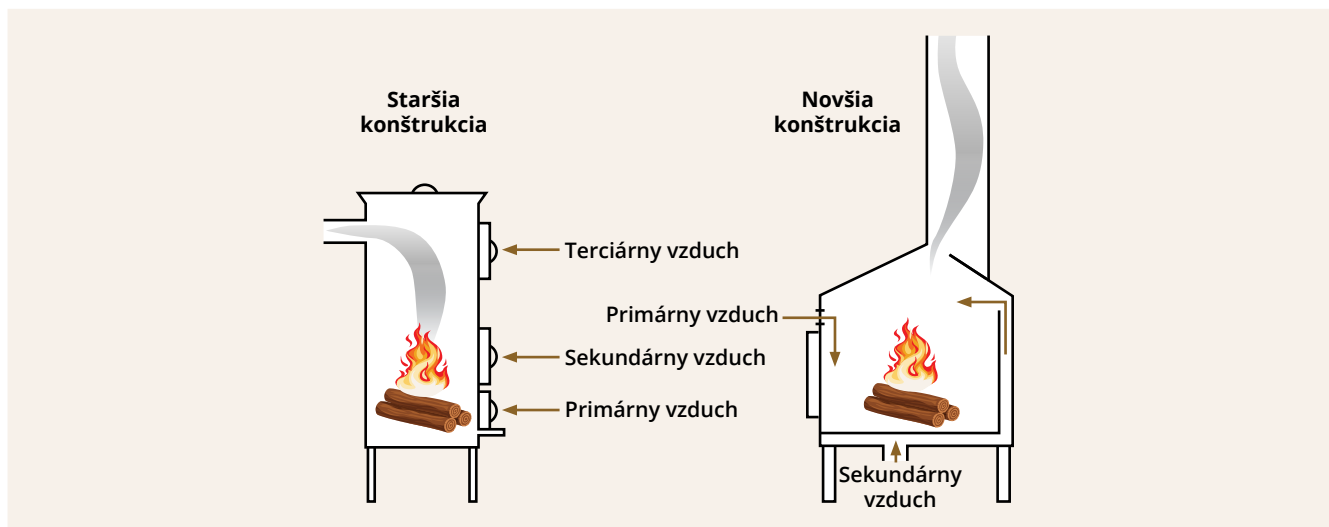
Obrázok 39: Komínový filter: 1 vstupné potrubie; 2 spodná stena; 3 vnútorné sito; 4 nastaviteľné sito; 5 vírový usmerňovač; 6 vnútorné dno; 7 rozdeľovacia prepážka; 8 filtračná zóna; 9 rozptyľovacie sito; 10 vonkajšia stena; 11 výstupné otvory; 12 horná nádoba; 13 olej; 14 mikrootvory; 15 zberacie otvory; 16 spodná nádoba; 17 vonkajšia komora (33)

1.1.6.5. Zmena prívodu spaľovacieho vzduchu do kotla

Znížiť emisie je možné aj prostredníctvom optimalizácie privádzajúceho spaľovacieho vzduchu, jeho prerozdelenia a pod. Pri nedostatočnom prívode spaľovacieho vzduchu sa produkuje výrazne vyššia koncentrácia tuhých znečisťujúcich látok. Optimálna hodnota prebytku spaľovacieho vzduchu je do značnej miery závislá od výhrevnosti paliva a teploty kúreniska. S ohľadom na minimálnu tvorbu a produkciu emisií je odporúčané realizovať spaľovanie dendromasy s prebytkom spaľovacieho vzduchu $\lambda_{opt} = 2,1$. Ak sa do kúreniska privedie veľké množstvo vzduchu, klesá teplota, unikajú nespálené plyny, a tým uniká časť energie. Ak je prívod nedostatočný, nedôjde k spáleniu prchavej horľaviny a horenie je neúplné. Z rôznych analýz preto vyplýva, že aj nepatrný zásah do procesu spaľovania v malom zdroji tepla pomocou nastavenia intenzity vstupujúceho primárneho a sekundárneho vzduchu môže zásadne ovplyvniť kvalitu horenia z emisného aj výkonového hľadiska.

Okrem množstva privádzaného vzduchu do spaľovacieho zariadenia je dôležité aj jeho optimálne prerozdelenie. Primárny vzduch sa privádza pod rošt. Prívod je dôležitý hlavne vo fáze sušenia a rozhorievania paliva. V neskorších fázach je prívod potrebné redukovať, keďže pri nadmernom prívode môže dôjsť k ochladnutiu plameňa. Naopak, pri nedostatočnom prívode nemôže nastať dokonalá oxidácia paliva. Aby spaľovanie bolo čo najdokonalejšie, je potrebný aj prívod tzv. sekundárneho vzduchu. Sekundárny vzduch je privádzaný do spaľovacieho zariadenia nad rošt. Jeho úlohou je zabezpečiť, aby došlo ku kompletnému využitiu vzniknutých horľavých plynov, čím by do spalínovodu išiel iba oxid uhličitý a vodná para. Ak by k tomu nedošlo, plyny by zostali nespôsobené, čím by došlo k zníženiu účinnosti a vyššej spotrebe paliva. Terciárny vzduch sa využíva hlavne pri väčších a výkonnejších kotloch. Často je tento prívod vzduchu predhrievaný. Služi na ofuk skla a zabraňuje úniku nespálených plynov pri sekundárnom spaľovaní a oxidu uhoľnatého (20).

Modernejšie konštrukcie zariadení na tuhé palivá, ako sú napr. krby, lepším prerozdelením spaľovacieho vzduchu a vylepšenými spalinovými cestami dokážu dosiahnuť približne polovičnú produkciu CO, OGC a TZL.



Obrázok 40: Porovnanie staršej a novej konštrukcie kotla na tuhé palivá (18)

Spalovanie hnedého uhlia v prehorievacom kotle má výrazne najhoršiu kvalitu v porovnaní s ďalšími kotlami, ako sú automatické, splyňovacie a odhorievacie, pričom produkcia CO a TZL, najmä pri veľkostiach do 1 μm , je mnohonásobne vyššia ako pri iných prevedeniach (18).

Pri splyňovacom kotle je možné upraviť tvarovku dýzy tak, aby bol vzduch privádzaný rovnomernejšie a vo väčšom množstve do sekundárnej zóny spaľovania. Týmto riešením tvarovky dýzy sa teda jednak zvýšilo množstvo privádzaného sekundárneho spaľovacieho vzduchu a zároveň sa dosiahlo jeho rovnomerné rozdelenie pozdĺž celej dýzy, čo sa odrazilo vo výrazne nižších nameraných hodnotách oxidu uhoľnatého, ako aj nižších hodnotách TZL.



Obrázok 41: Pôvodná tvarovka dýzy (vľavo) a nová tvarovka splyňovacieho kotla (vpravo) (20)

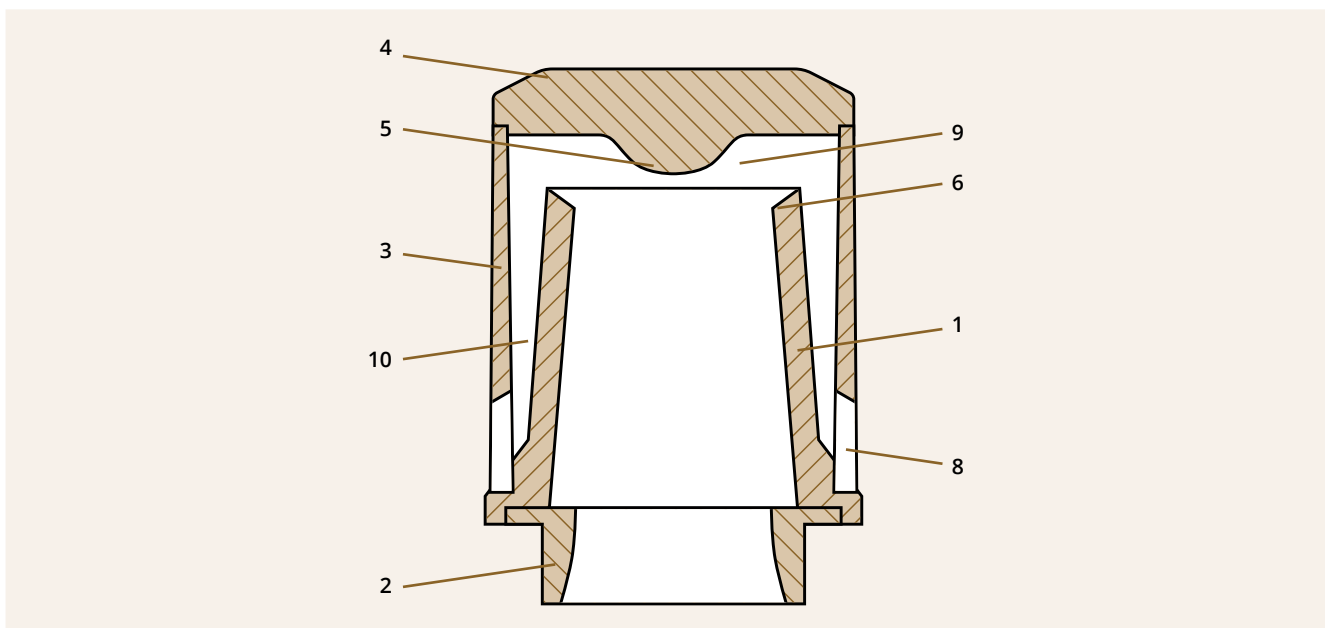
Viacero výskumov (17) dokázalo, že modernou koncepciou kotla s ventilátorom prídavného spaľovacieho vzduchu je možné dosiahnuť niekoľkonásobnú redukciu produkcie CO, takmer 100-násobné zníženie produkcie CH_4 , takmer 10-násobné zníženie produkcie TOC, niekoľkonásobné zníženie produkcie TZL a približne 2-násobnú redukciu produkcie NO_x .

1.1.6.6. Správne nastavenie ťahu komína

Jednu z úloh zohráva pri správnom spaľovaní aj optimálne nastavenie ťahu komína. Komín vytvára vztlak, pretože spaliny, ktoré sú horúce, majú nižšiu hustotu ako okolitý vzduch. Vzhľadom na to, že teplý vzduch má nižšiu hmotnosť ako studený, dochádza k stálemu stúpaniu vzduchu smerom hore. Hodnota potrebného ťahu komína je daná rozdielom vztlaku a tlakových strát

Pri porovnaní prirodzeného a konštantného ťahu (12 Pa) vzniká viac emisií tuhých znečisťujúcich látok počas fázy zapalovania pri prirodzenom ťahu. Približne rovnaké hodnoty sú zaznamenávané počas fázy horenia. Prirodzený ťah je nízky, čo vedie k dlhšiemu času zapalovania s relatívne nízkou teplotou v spaľovacej komore. V dôsledku toho nastáva zvýšenie tvorby produktov nedokonalého spaľovania, čo vedie k vyšším emisiám tuhých znečisťujúcich látok

Ťah komína je možné správne udržiavať napríklad prostredníctvom optimalizátora (obr. 42). Optimalizátor obsahuje redukciu, ktorá je na svojej spodnej strane prispôbena na montáž na komínovú vložku a na svojej hornej strane prispôbena na montáž difuzéra. Vďaka vymeniteľnej redukcii je možné použiť jednu veľkosť optimalizátora pre rôzne veľkosti komínov, čo je efektívne pre výrobu. V inom prípade môže byť redukcia súčasťou difuzéra. To je síce výrobne jednoduchšie, no výsledkom je menej univerzálny výrobok. Na difuzéri je z vonkajšej strany umiestnený plášť a na plášti je umiestnená strieška s rozrážacím kuželom (34).



Obrázok 42: Optimalizátor ťahu komína: 1 difuzér; 2 redukcia; 3 plášť; 4 strieška; 5 rozrážací kužel; 6 zakončenie; 7 plocha; 8 spodné otvory; 9 horné otvory; 10 priestor (34)

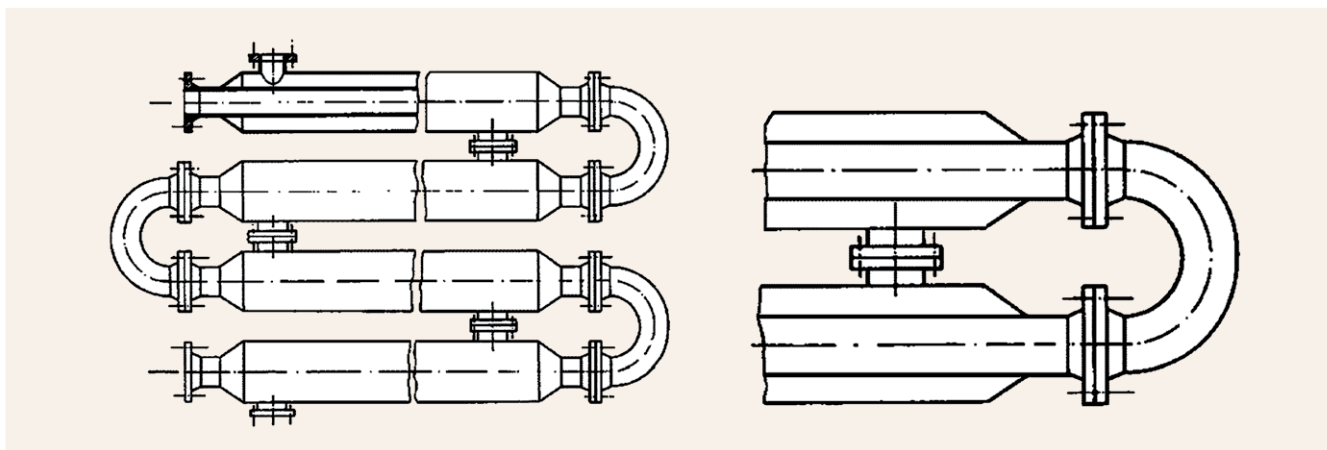
Vďaka svojej konštrukčnej geometrii zaisťuje optimalizátor poznateľné vylepšenie ťahu komína, na ktorom je namontovaný. Prúdením splodín v difuzéri a vnútorného vzduchu cez otvory a priestor medzi difuzérom a plášťom dochádza k efektu vývevy a zosilneniu ťahu komína. To má za následok kvalitnejšie spaľovanie a bezpečnosť prevádzky kotla. Výhodou opisovanej konštrukcie je, že môže byť vyrobená zo širokej škály materiálov, vzhľadom na konkrétnu požiadavku na vzhľad alebo technické parametre.

1.1.6.7. Zmena konštrukcie výmenníka tepla

Výmenník tepla je zariadenie, ktoré sa využíva vždy, keď tepelné zariadenie nie je schopné dodať teplo priamo zo zdroja. Typickým príkladom je vykurovacia voda v domácnostiach, ktorá preteká

cez vykurovacie telesá – radiátory, ktoré prenášajú teplo do priestoru. Základné rozdelenie výmenníkov tepla v kotloch:

- kontaktné (zmiešavacie) výmenníky tepla – sú to výmenníky tepla, pri ktorých prestup tepla prebieha pri bezprostrednom styku teplovýmenných látok;
- rekuperačné výmenníky tepla – vyznačujú sa tým, že pracovné látky, medzi ktorými sa odovzdáva teplo, oddeľuje pevná stena elementov tvoriacich teplovýmennú plochu (obr. 43);
- regeneračné výmenníky tepla – vyznačujú sa tým, že prestup tepla medzi dvoma hlavnými látkami je sprostredkovaný treťou teplonosnou látkou (prostredníkom), ktorá akumuluje teplo prijaté od teplejšej látky a odovzdáva ho chladnejšej.



Obrázok 43: Detaily výmenníka tepla typu „rúrka v rúrke“

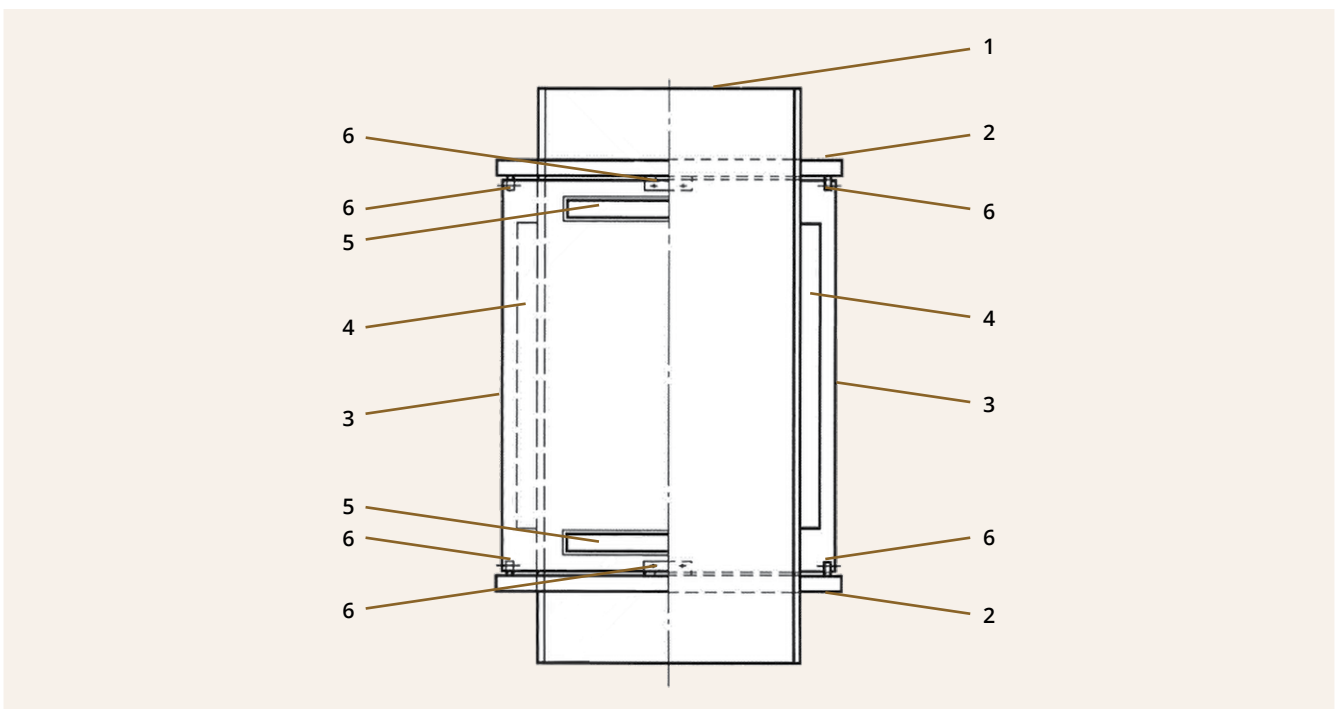
Príkladom riešenia na zvýšenie účinnosti zariadenia, a tým zníženie spotreby primárnych zdrojov energie je aplikácia komínového výmenníka. Technické riešenie komínového výmenníka musí spĺňať niekoľko podmienok. Tou najdôležitejšou je schopnosť redukovať dechtovanie vo výmenníku na najnižšiu možnú mieru pri čo najvyššej miere účinnosti prenosu tepla do vody. Zároveň jeho konštrukčné riešenie musí byť také, aby neochladzovalo spaliny odchádzajúce do komína natoľko, že dôjde aj k dechtovaniu komína. Ak by sa totiž chcelo zamedziť komínovým stratám, znižovaním prívodu primárneho vzduchu a následne intenzity horenia sa dosiahne nedokonalé spaľovanie, zvýši sa únik pevných nespálených častí, komín sa zanáša sadzami, dechtom a zvyšuje sa únik exhalátov do ovzdušia. Preto v snahe minimalizovať tvorbu exhalátov a redukovať dechtovanie sa privádza do ohniska dostatočné množstvo vzduchu, aby bolo spaľovanie dokonalé. Existujúce jednoduché komínové výmenníky pracujú na princípe ohrevu priamo cez stenu výmenníka, ktorý tvorí súčasť dymovodu. Na jednej strane steny výmenníka je studený vzduch vykurovaného priestoru, na druhej strane horúci plameň horiacich plynov za spaľovacou komorou pred sopúchom (ústím dymovodu do komína) vykurovacieho zariadenia. Takýto výmenník má obvykle dymovodnú časť čiastočne prehradenú priečnymi rúrkami s malým priemerom, určenými na lepšie odovzdávanie tepla do vykurovaného priestoru. Zhoršuje to prietok komínových plynov dymovodom komína a znižuje jeho ťah. Zároveň v takomto výmenníku je veľmi problematické jeho čistenie od usadeného popolčeka pre jeho ťažkú dostupnosť. Zabezpečiť dokonalé spaľovanie paliva, dokonalé využitie jeho tepla a súčasne maximálnu redukciu dechtovania a minimalizáciu tvorby exhalátov súčasne komínové výmenníky v žiadnom prípade nedokážu splniť, resp. plnia to v obmedzenom rozsahu a za cenu ďalších dodatočných opatrení.

Podstata komínového výmenníka tepla spalínových plynov s cieľom maximálneho využitia potenciálu spaľovacích zariadení spočíva v tom, že je tvorený (hrubostenným) potrubím, s profilom totožným s profilom komína a plášťom výmenníka. Na potrubí sú pevne nasunuté a upevnené

prírubby s vymedzovacími lištami, ktoré vymedzujú polohu pláštá s pevne pripojenými horizontálnymi prieduchmi. K potrubiu výmenníka sú zvonku zvislo pripevnené rebrá. Navrhnutý komínový výmenník tepla spalínových plynov využíva efekt výmeny tepla stenou (hrubostenného) potrubia medzi horiacimi komínovými plynmi a prúdiacim vzduchom z vykurovaného priestoru. Ten vstupuje a ohriaty vystupuje cez prieduchy, ktoré sú umiestnené v hornej a spodnej časti výmenníka. V prípade montáže výmenníka za sopúchom komína je výmenník vnútri muriva komína, čo pridáva výmenníku akumuláciu tepla použitého šamotového materiálu a tehál. Podmienkou je použitie hrubostenného potrubia s rovnakým profilom a svetlosťou, ako je dymovod komína. Medzi hlavné prínosy tohto riešenia patrí:

- možnosť zvýšenia teploty v ohnisku horenia, vďaka čomu nastáva dokonalé spaľovanie, znižuje sa strata nespálených plynných častí a znižuje sa tvorba emisií;
- zníženie teploty spalín unikajúcich do komína, znižuje sa komínová strata;
- zvýšená akumulácia tepla v telese výmenníka;
- nižšia spotreba paliva pri zachovaní tepelnej pohody;
- minimalizácia zanášania dymovodu sadzami a tvorba emisií;
- nevyskytujú sa prekážky v dymovode vrátane časti tvorenej výmenníkom, t. j. bežné čistenie komína je súčasne aj údržbou výmenníka.

Takéto riešenie účinne zabraňuje tepelným stratám a eliminuje väčšinu nedostatkov pri doteraz bežne používaných spôsoboch vykurovania pracovných a obytných priestorov zdrojom na tuhé palivo (umožňuje dokonalé spaľovanie a znižuje dechtovanie a údržbu výmenníka) (35).

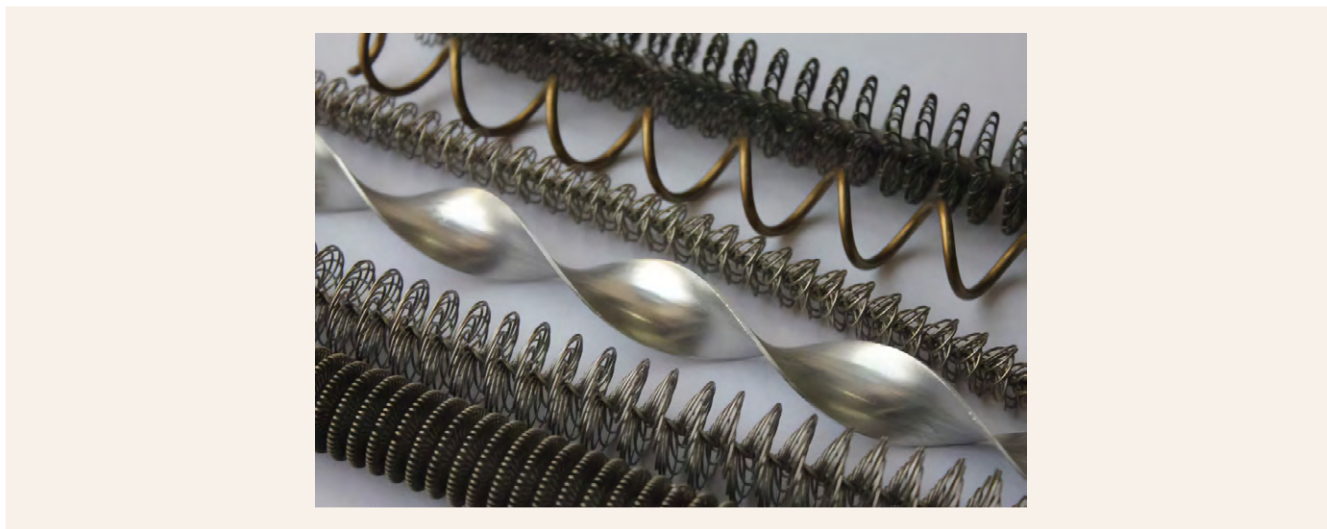


Obrázok 44: Komínový výmenník tepla spalínových plynov: 1 potrubie výmenníka; 2 príruby; 3 plášť; 4 rebrá; 5 horizontálne prieduchy; 6 vymedzovacie lišty (35)

1.1.6.8 Využitie turbulizátorov

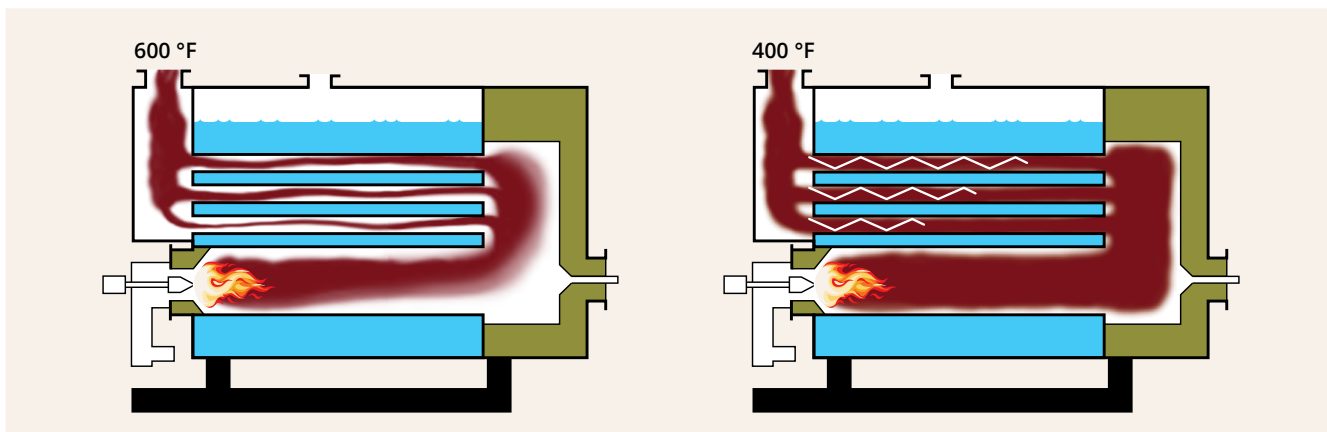
Turbulizátory pomáhajú obnoviť vlastnosti prenosu tepla v režime turbulentného toku jeho spustením v potrubíach. Turbulentný prietok umožňuje efektívnejší prenos tepla v závislosti od konkrétnej konštrukčnej geometrie. Z konštrukčného hľadiska sú turbulizátory jednoduché zariadenia (ktoré

sa môžu vyskytovať v rôznych prevedeniach, napríklad ako priečky, čepele, zvinutý drôt a pod., znázornené na obr. 45), ktoré sa vkladajú do plynových rúrok na porušenie laminárnej vrstvy, čo vedie k zvýšenému prenosu konvekčného tepla. Obrázok 46 znázorňuje prúdenie vzduchu s turbulizátormi a bez nich.



Obrázok 45: Ilustrácia potrubných turbulizátorov

Turbulizátory nahrádzajú drahšie ekonomizéry alebo systémy APH. Sú jednoduché, ľahko sa inštalujú a nevyžadujú vysoké náklady. Náklady na inštaláciu sú približne 10,45 až 15,68 € za meter potrubia. Na základe výsledkov meraní kotla s nominálnym výkonom 2,93 MW, do ktorého sa nainštalovalo celkovo 250 turbulizátorov, táto aplikácia viedla k zníženiu teploty komínových plynov o 54 °C a zvýšeniu účinnosti kotla z približne 79 % na 82 % (36).



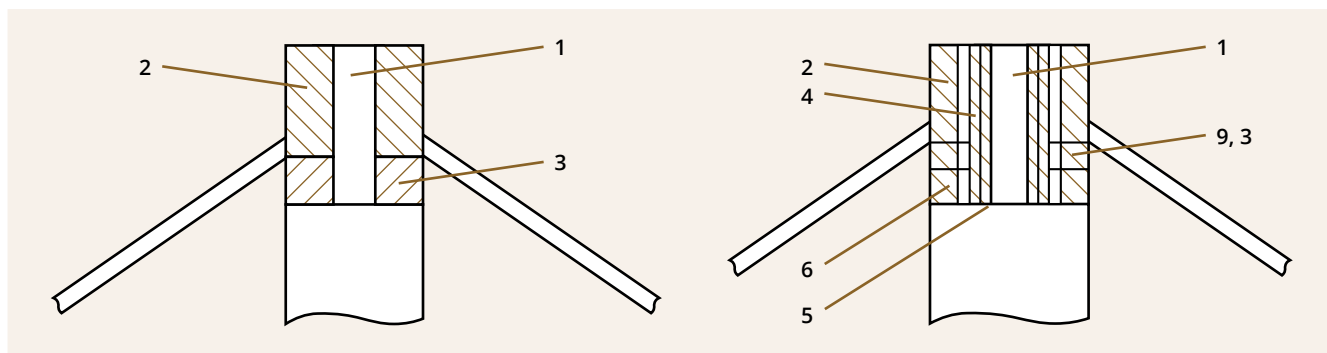
Obrázok 46: Vplyv použitia turbulizátora na prenos tepla v kotle (36)

1.1.6.9. Využitie tepelnej izolácie

Tepelná izolácia pomáha udržať vyprodukované teplo v miestnosti dlhšie, čím sa zníži spotreba energie v domácnostiach. Kvalitnou (a dostatočne hrubou) izoláciou relevantných plôch, ako sú napr. steny budov, spalinovodu, resp. plochy okolo rozvádzacieho potrubia teplotnosného média, sa znižuje množstvo strateného tepla, znižuje sa spotreba paliva, a tým sa v konečnom dôsledku znižuje množstvo vyprodukovaných emisií.

V procese aplikácie izolácie na komín musí spĺňať nasledujúce normy na základe úžitkového vzoru F23J 13/00 (31):

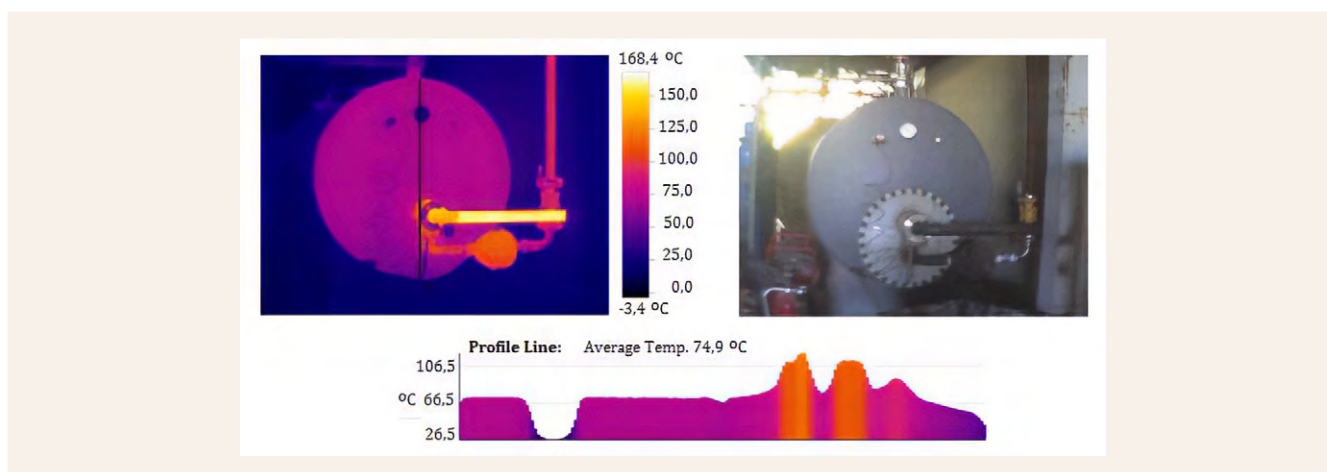
- Variant A: v príklade uskutočnenia technického riešenia je izolačný komín tvorený prieduchom 1 vybaveným obvodovým plášťom 2 s izolačnou vložkou 3 vloženou v hornej časti jeho prierezu.
- Variant B: v príklade uskutočnenia znázorneného technického riešenia je izolovaný komín pozostávajúci z prieduchu 1 a obvodového plášťa 2. Vo vonkajšom plášti 2 sú pozdĺž jeho výšky vytvorené radiálne izolačné steny 4, ktoré rozdeľujú vonkajší plášť 2 na vetraciu stenu 5.



Obrázok 47: Izolácia komína (variant A vľavo, variant B vpravo)

Vzhľadom na veľké rozmery mnohých kotlov ICI je plocha vonkajšieho povrchu kotla veľmi veľká a prostredníctvom plášťa kotla môžu nastať značné tepelné straty. Týmto stratám sa dá úspešne zamedziť využitím správnej izolácie. Žiaruvzdorný materiál, ktorým je kotol obložený, je primárny izolačný materiál. Radiálne straty môžu dosiahnuť až 7 % a majú tendenciu zvyšovať sa s klesajúcim zaťažením v prípade malých zariadení alebo väčších zariadení pracujúcich pri zníženom zaťažení.

Povrchové teploty a tepelné straty spaľovacích zariadení a potrubných vedení možno zisťovať meracími prístrojmi alebo termokamerou. Obrázok 48 znázorňuje termometrický obraz zdroja tepla spredu, kde boli najvyššie teploty dosiahnuté na menšej časti trubice (hlavný spojovací komponent)

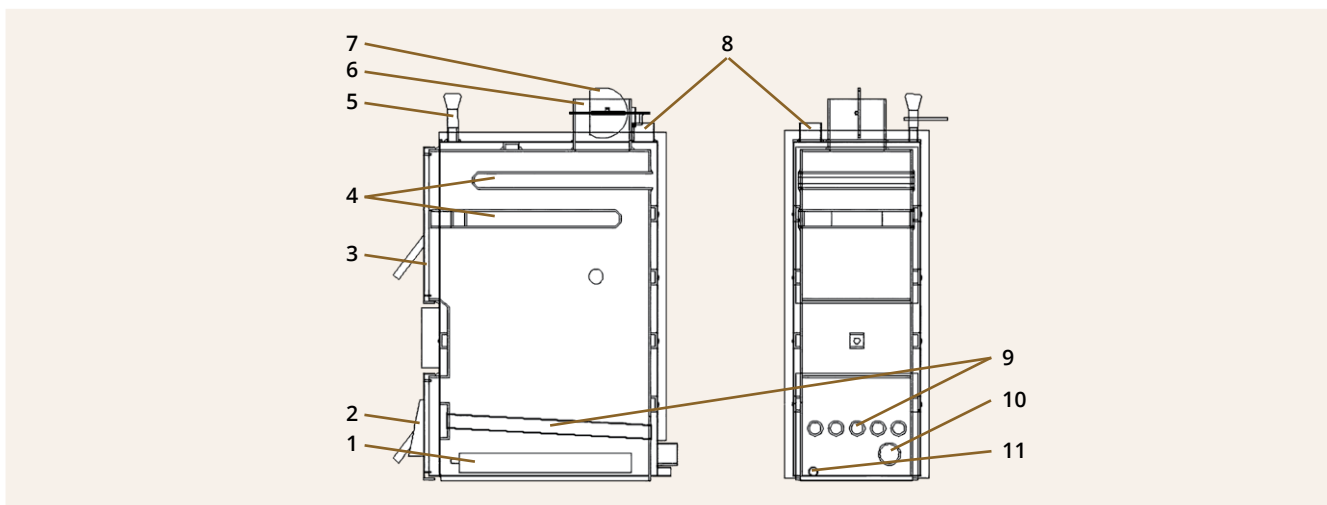


Obrázok 48: Tepelná analýza a hroty tepelných strát v kotlovom systéme (37)

1.1.6.10. Rešpektovanie prevádzkových postupov a údržby

Prevádzka a údržba (O&M) má významný vplyv na výkon zariadení vrátane jej účinnosti, spoľahlivosti a prevádzkových nákladov. Tepelné zariadenia by mali mať vždy prislúchajúci manuál, resp.

dokument, v ktorom sú definované kroky správneho nastavenia aj údržby stroja. Príkladom je dokument „návod na obsluhu a údržbu kotla“. Na začiatku je vždy pridelená schéma, ktorá obsahuje popis a pozíciu najdôležitejších častí kotla (obr. 49).



Obrázok 49: Schéma kotla na spaľovanie biomasy z dokumentu O&M: 1 popolník; 2 spodné dvierka; 3 vrchné dvierka; 4 lamely výmenníka; 5 regulátor ťahu RT3; 6 dymovod; 7 klapka dymovodu; 8 výstup teplej vody (DN 40); 9 vodný rošt; 10 vstup vratnej vody – tzv. spiatka (DN 40); 11 napúšťací otvor

Príklad správneho postupu na obsluhu spaľovacieho kotla:

Krok 1 – Zakúrenie:

- Pred zakúrením je potrebné otvoriť uzatváracie ventily vykurovacej sústavy.
- Na popolníkových dvierkach pomocou nastavovacej skrutky otvoriť na maximum klapku prívodu vzduchu.
- Na rošt je potrebné naložiť najskôr papier a menšie triesky.
- Zapáliť papier a uzatvoriť dvierka.
- Keď sa podpaľ dostatočne rozhorí, treba doložiť pripravené drevo na spaľovanie.
- Po dostatočnom rozhoření paliva je potrebné privrieť klapku prívodu spaľovacieho vzduchu – pomocou nastavovacej skrutky – nastaviť minimálne otvorenie – cca 5 mm.
- Na otočnom gombíku termostatického regulátora ťahu nastaviť požadovanú prevádzkovú teplotu kotla.
- Pri zakurovaní musí byť komínová klapka otvorená na 100 %.
- Potom termostatickým regulátorom ťahu nastaviť nižšiu teplotu.

Krok 2 – Nastavenie správneho komínového ťahu: Počas horenia je na komínovej klapke dôležité nastaviť vhodný komínový ťah, čo sa uskutočňuje reguláciou RT3. Komínovou klapkou je možné nastaviť optimálny komínový ťah. Komínový ťah sa odporúča nastaviť na 0,15 mbar. Komínová klapka sa ovláda páčkou na pripojovacom hrdle dymovodu.

Krok 3 – Čistenie kotla: Klapka prívodu vzduchu na spaľovanie sa nachádza na popolníkových dvierkach a je ovládaná automaticky termostatickým regulátorom ťahu, ktorý v závislosti od teploty vykurovanej vody vo výmenníku kotlového telesa a ručne nastavenej teploty určuje množstvo primárneho vzduchu privádzaného do spaľovacieho priestoru.

Krok 4 – Palivo: Je dôležité skontrolovať, či palivo spĺňa správne technické požiadavky. Spaľovaním nevhodného paliva (aj „šetrným“ spôsobom) sa vypustí väčšie množstvo emisií. Predpísané palivo je suché drevo, minimálne dva roky staré, s maximálnou vlhkosťou 20 %. Dĺžka polien – do 500 mm s výhrevnosťou 14 – 17 MJ.kg⁻¹.

Krok 5 – Údržba komína: Komínový prieduch musí vždy vyvinúť dostatočný ťah, aby spoľahlivo odvádzal spaliny do vonkajšieho prostredia pri všetkých prevádzkových režimoch. Pre správnu funkciu kotla je nutné, aby bol samostatný komínový prieduch správne dimenzovaný, pretože od ťahu závisí správna funkcia kotla. Ťah komína závisí od jeho prierezu, výšky a drsnosti vnútornej steny.

Kotol vyžaduje prevádzkový ťah komína 15 Pa. Do komína kotla nesmie byť pripojený iný spotrebič. Informatívne hodnoty rozmerov prierezu komína pre kotol:

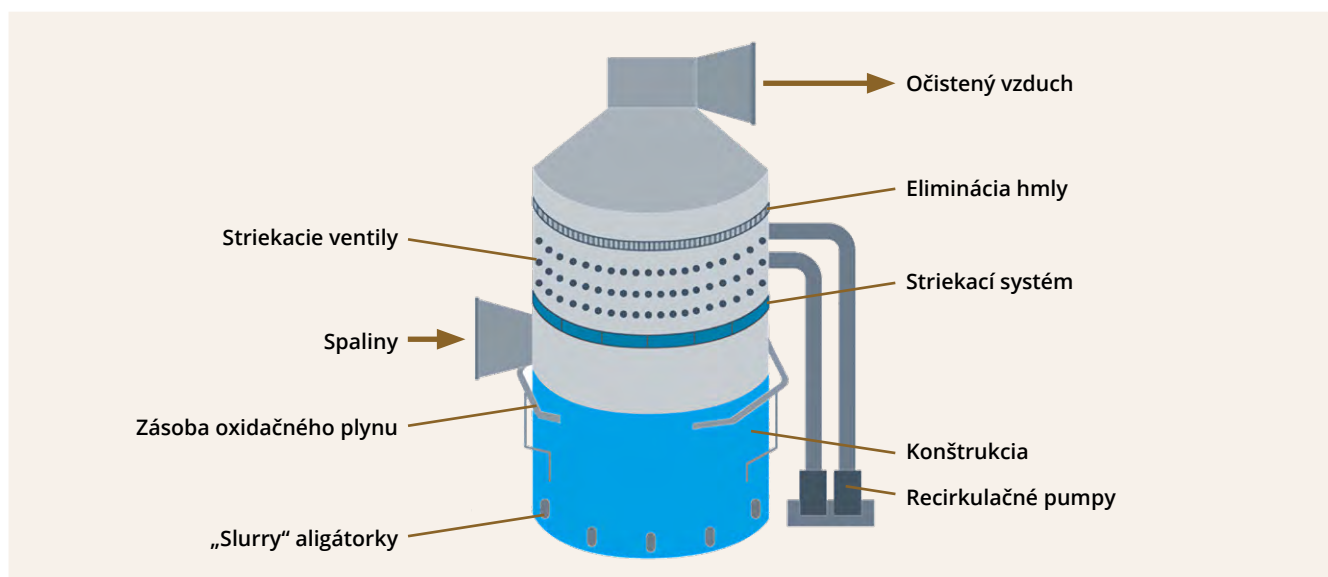
- 20 × 20 cm min výška 7 m
- \varnothing 20 cm min výška 8 m
- 15 × 15 cm min výška 12 m

Presné určenie rozmerov komína určuje STN 734201 a STN 734210. Napojenie komína určuje vyhláška MV SR č. 84/1997 Z. z. § 4 a § 15.

1.1.6.11. Odsírenie spalín

Odsírenie spalín alebo FGD (po angl. Flue-gas desulfurization) sa používa na odstránenie oxidu siričitého (SO_2) zo spalín z elektrární na fosílna palivá, ako aj z emisií iných procesov, ktoré uvoľňujú oxid siričitý, ako je spaľovanie odpadu. Síra sa nachádza vo veľkých množstvách vo fosílnych palivách, ako je uhlie a ropa. Približne 95 % alebo viac síry obsiahnutej vo fosílnych palivách sa pri spaľovaní zvyčajne transformuje na oxid siričitý (SO_2).

Zariadenia určené na odsírovanie spalín sú stroje s účinnosťou odstraňovania síry v rozmedzí 50 % – 98 %. Odstraňovanie síry je zvyčajne najefektívnejšie za mokra, suché procesy odstraňovania síry dosahujú menšiu účinnosť. Okrem úžitkových a priemyselných kotlov, spaľovní komunálneho a zdravotníckeho odpadu, ropných rafinérií, pecí na cement a vápno, taviarní kovov a zariadení na výrobu kyseliny sírovej sa systémy na odsírovanie používajú v spaľovacích jednotkách, ktoré spaľujú uhlie a ropu (38).



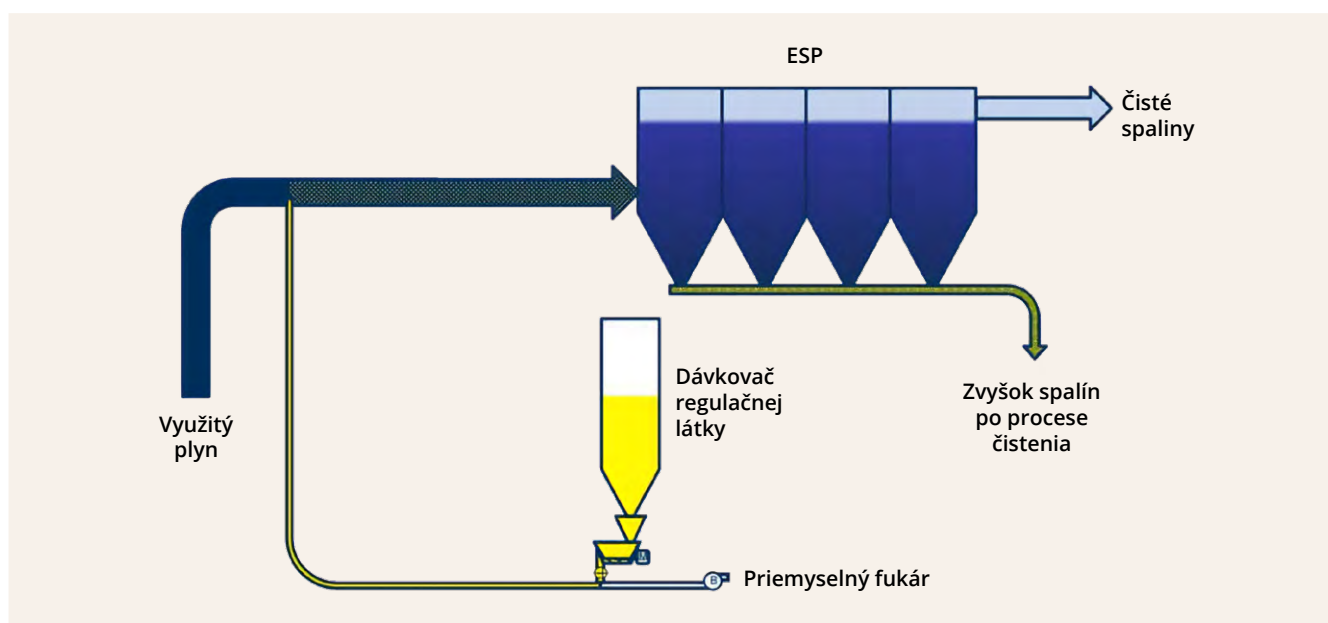
Obrázok 50: Mechanizmus odsírovacej veže (38)

Vďaka svojim mokrým vápencovo-sadrovým FGD a procesom FGD s morskou vodou môže technológia účinne zabraňovať znečisťovaniu ovzdušia. Oba procesy môžu spracovávať širokú škálu koncentrácií SO_2 pre lepšiu spoľahlivosť a náklady zariadenia.

1.1.6.12. Vstrekovanie aktívneho uhlia

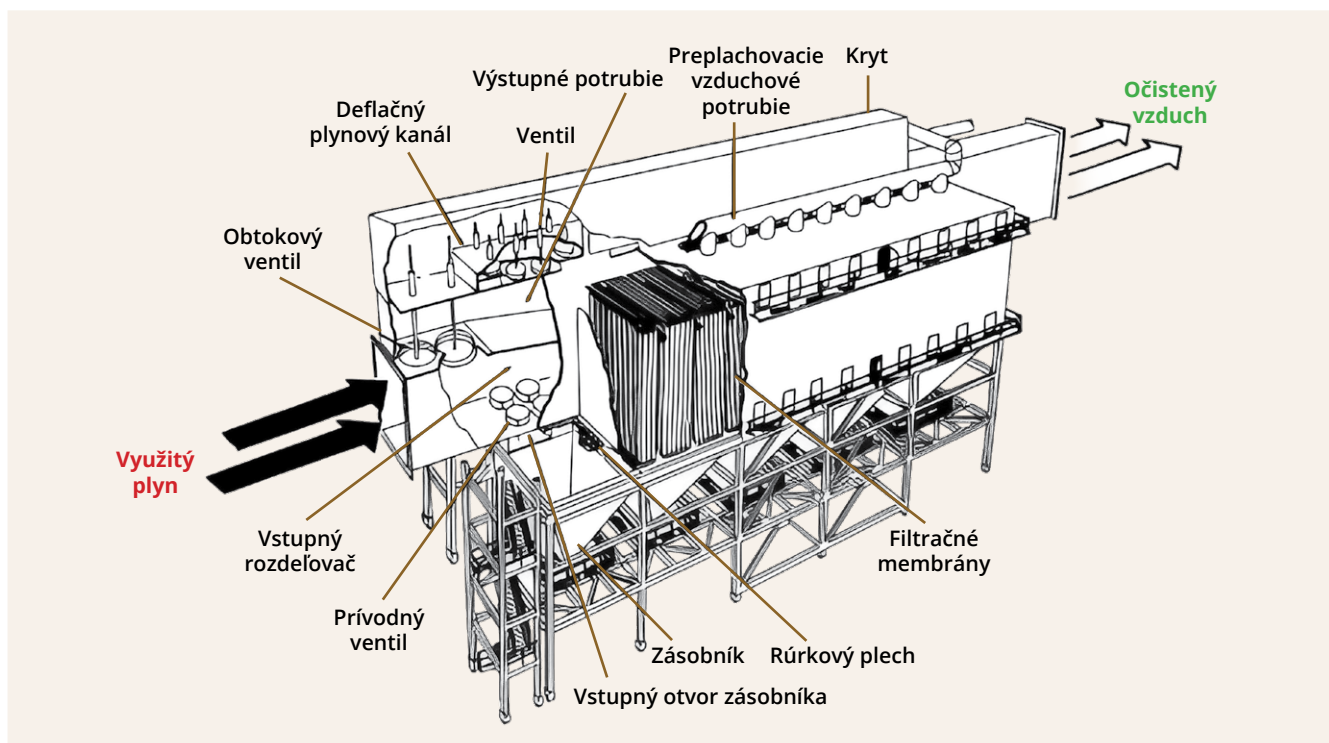
Použitie vstrekovania práškoveho aktívneho uhlia (ACI, obr. 51) je pravdepodobne najúčinnnejšou a najekonomickejšou technikou na zníženie emisií ortuti, dioxínov a furánov z elektrární. Aktívne uhlie vo forme prášku má širokú povrchovú plochu, čo umožňuje väčšiu absorpciu znečisťujúcich látok a výsledné zníženie emisií až o 90 % (39).

Práškové aktívne uhlie (PAC) sa pneumatically vstrekuje do spalinového potrubia zo skladovacieho sila alebo systému sypkých vakov (pre menšie rýchlosti podávania) v systéme vstrekovania aktívneho uhlia (ACI). PAC sa zhromažďuje s popolčekom v zariadení na zachytávanie častíc, kde absorbuje dioxín, furán alebo ortuť zo spalín (napr. elektrostatický odlučovač). ACI môže znížiť koncentrácie emisií ortuti o viac ako 90 % a môže poskytnúť alternatívy ortuti vo väčšine zariadení v závislosti od typu spaľovaného uhlia a typu zariadenia na kontrolu znečisťovania ovzdušia inštalovaného v závo-de. ACI sa môže používať v spojení s prísadami do uhlia na báze halogénov na zlepšenie výkonnosti v zariadeniach spaľujúcich nízkohalogenne palivá.



Obrázok 51: Schéma ACI (39)

Regulujúce častice textilných filtrov technológie ACI (FF) fungujú podobne ako vysávač. V tejto technológii sa znečistený vzduch nasáva/vysáva cez látkové filtračné vrečko. Prach sa zhromažďuje v látkovom vrečku a je nutná jeho častá výmena. Aj keď tieto filtre môžu byť veľmi citlivé na zvýšené teploty a vlhkosť, textilné filtre sa často používajú v priemyselných aplikáciách a môžu byť vysokoúčinnými aplikáciami dokonca aj pri submikrónových časticiach (40).



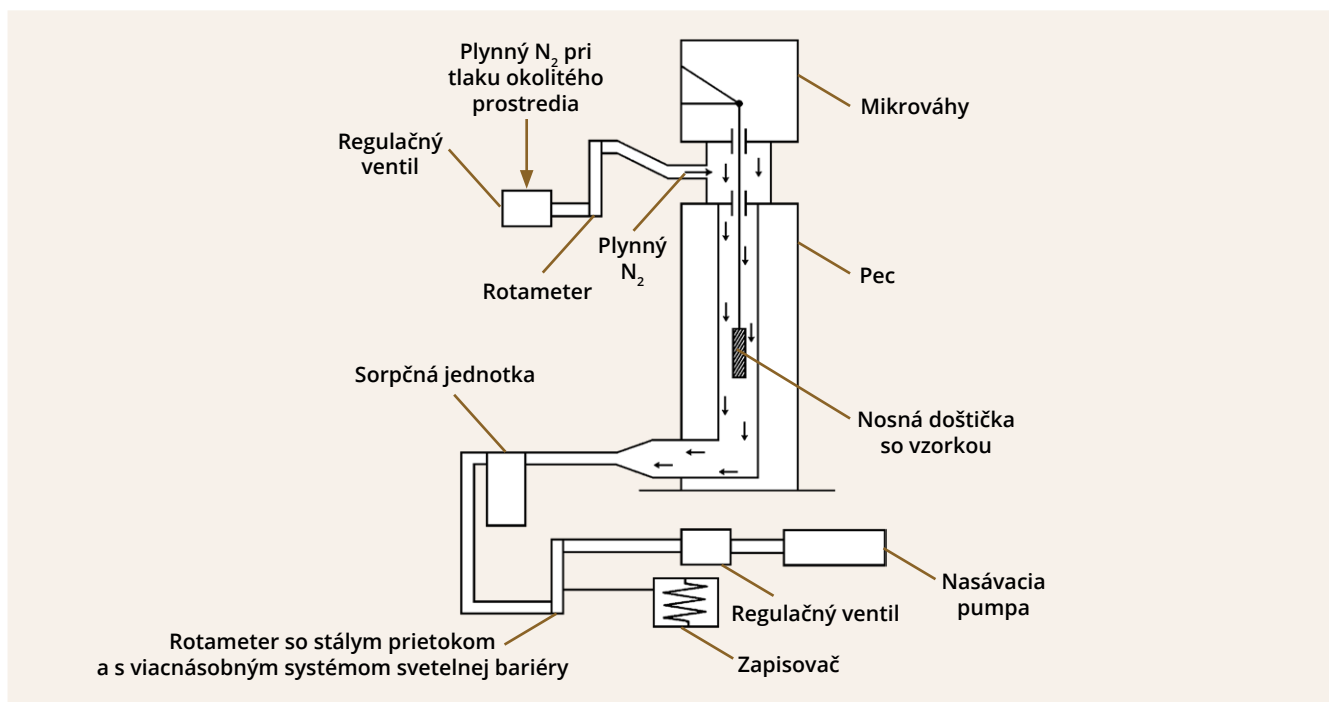
Obrázok 52: Použitie FF vo veľkom kotlovom systéme na tuhé palivo (40)

V jednoduchších priemyselných procesoch sa textilné filtre tradične používajú na kontrolu tuhých znečisťujúcich látok (PM). Filtre sa nedávno začali vo veľkom využívať v uhoľných elektrárňach vďaka svojej efektívnosti a účinnosti pri zbere drobných častíc. V takých prípadoch môže využitie textilných filtrov zaručiť celkovú účinnosť odstraňovania viac ako 99,5 % a účinnosť odstraňovania jemných častíc viac ako 99 %. Vo filtri sa tuhé častice zhromažďujú na tkanine po tom, čo spaliny prechádzajú cez plstenú alebo tkanú tkaninu. Schéma sa skladá z niekoľkých rúrkových vakov, ktoré sú zavesené vertikálne. Zozbieraný popolček sa potom uchováva a bežne čistí v násypkách (41).

1.1.6.13. Vstrekovanie suchého sorbentu

Daná technológia sa využíva najmä pri veľkých zdrojoch tepla, ako sú elektrárne alebo teplárne. Veľké výrobné haly a elektrárne využívajú vo svojich výrobných procesoch priemyselné kotly. Existujú rôzne technológie, ktoré umožňujú znížiť produkciu emisií počas ich prevádzky.

Prvá bežná metóda používaná vo veľkých elektrárňach a továrňach sa nazýva vstrekovanie suchého sorbentu (DSI). Aby sa znížili koncentrácie kyslých plynov SO_2 , HCl a HF v ovzduší, ktoré sú regulované tak, aby sa zabránilo kyslým dažďom, systémy vyžadujú vstrekovanie suchého sorbentu do spalínovodu vychádzajúceho z kotla. Suchý sorbent a oxidy síry so sebou priamo reagujú a výsledné častice sa zhromažďujú v zariadení na reguláciu častíc. Nižšie počiatkové investície a nižšia stopa v porovnaní s inými technológiami sú kľúčovými výhodami tejto technológie. Nižšia spotreba činidla čiastočne kompenzuje znížené kapitálové náklady. Na druhej strane, ich nižšie kapitálové náklady v porovnaní s inými systémami vedú k vyšším prevádzkovým nákladom pri rovnakých mierach odstránenia SO_2 . Obrázok 53 znázorňuje schému technológie (42).

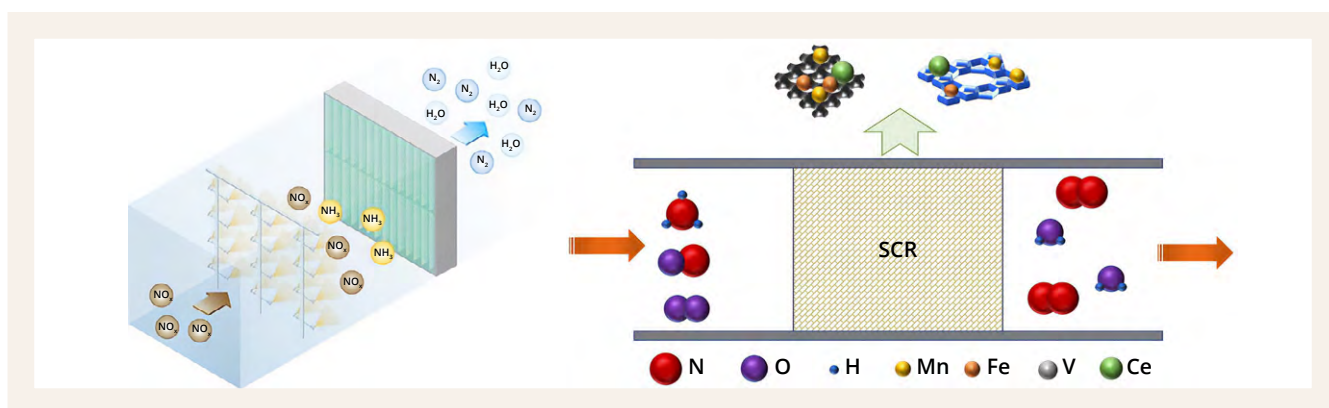


Obrázok 53: Schematické znázornenie technológie suchého vstrekovania (42)

V porovnaní s inými zložkami spalín si zníženie koncentrácií oxidu siričitého (SO₂) pomocou suchého vstrekovacieho systému vyžaduje nižšiu teplotu a dlhšie reakčné časy. Pri teplotách nad 177 °C sa hydrogénuhličitan sodný a trona stávajú ekonomicky životaschopnými, zatiaľ čo suché vápno reaguje s oxidom siričitým (SO₂) pri nižších teplotách.

1.1.6.14. Selektívna katalytická redukcia

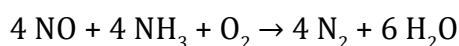
Selektívna katalytická redukcia (SCR) je spôsob premeny oxidov dusíka, tiež označovaných ako NO_x, pomocou katalyzátora na dvojitomý dusík (N₂) a vodu (H₂O). Emisie oxidov dusíka je možné znížiť až o 70 %, uhlíkov o 90 % a tuhých častíc o 10 %. Táto technológia má zabezpečiť zníženie objemov oxidov dusíka bez nutnosti ovplyvňovať optimálne nastavenie tepelného zariadenia (43) (44).



Obrázok 54: Princíp znižovania koncentrácie NO_x v spalínach pomocou SCR filtra

NO_x, alebo oxidy dusíka, majú až 298-krát väčší vplyv na globálne otepľovanie v porovnaní s CO₂ (45). Základný princíp SCR je jednoduchý. Do spalín sa vstrekuje amoniak a NO_x sa rozkladajú na N₂ a pary H₂O. Katalyzátor SCR účinne uľahčuje priebeh reakcií amoniaku a NO_x. Pri tomto procese nevznikajú

žiadne škodlivé vedľajšie látky. Zariadenia využívajúce katalyzátor SCR sa ľahko udržiavajú a sú schopné stabilnej prevádzky. Prebieha nasledujúca chemická reakcia:



Niekoľko komponentov systému SCR je spojených s ďalšími aspektmi systému regulácie emisií. Každý výrobca má svoje vlastné zloženie a poradie rôznych komponentov systému. Tabuľka 4 predstavuje rôzne katalyzátorové prvky a ich príslušný rozsah prevádzkových teplôt.

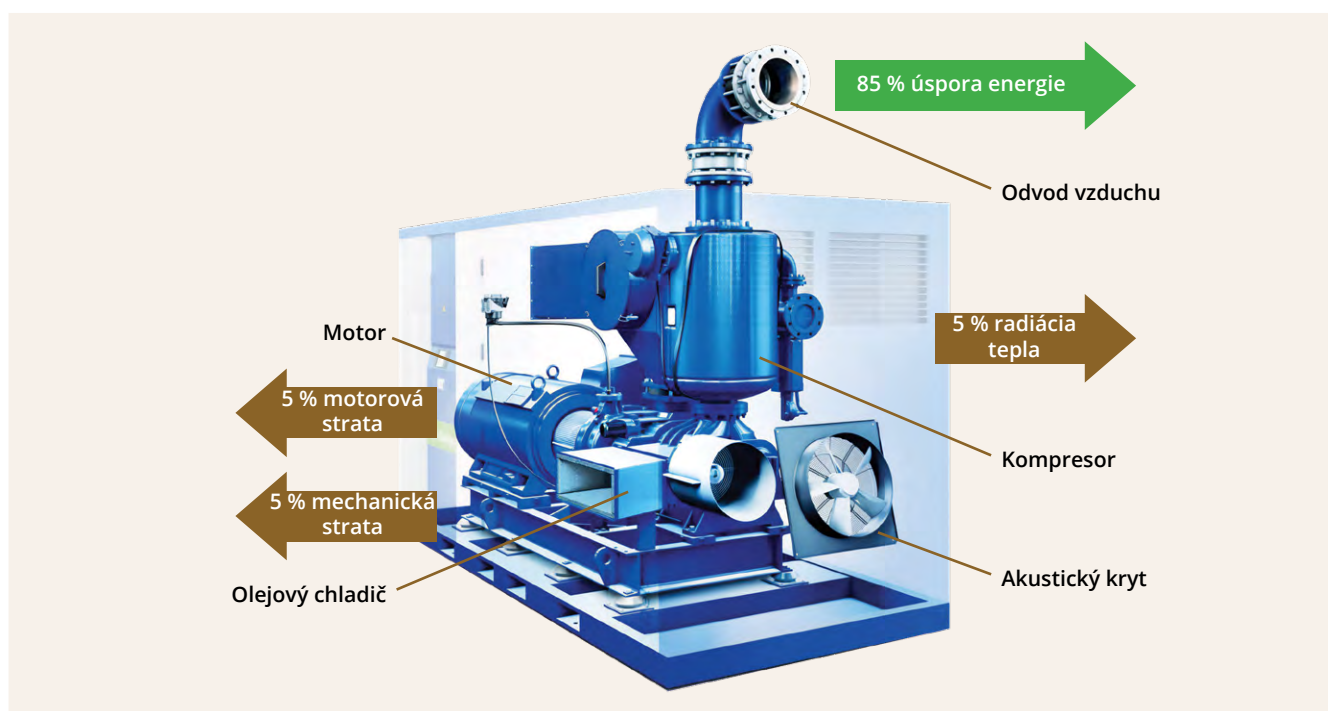
Tabuľka 2: Rozsah prevádzkových teplôt pre katalyzátory v SCR

Katalyzátor	Teplotný rozsah (°C)
Vanád	300 – 450
Zeolit, vysoká teplota (železo)	350 – 600
Zeolit, nízka teplota (cooper)	150 – 450

Bol vyvinutý štatistický model, v ktorom továreň spaľuje rôzne druhy paliva – konkrétne 6 % uhlia, 68 % zemného plynu, 11 % ropy a 15 % dreva – potrebné na výrobu produktov. Implementácia SCR viedla k 75 % zníženiu produkcie emisií NO_x z dreva a uhlia a zemného plynu a zvyškovej ropy o 90 % (46).

1.1.6.15. Systémy spätného získavania tepla

Energetickú účinnosť väčšiny vykurovacích zariadení možno zvýšiť použitím systémov na spätné získavanie odpadového tepla, ktoré zachytávajú a využívajú časť tepla zo spalín. Potenciálne úspory, ktoré by mohla priniesť inštalácia systému spätného získavania tepla, sú obrovské: až 85 % tepelnej energie sa dá ľahko použiť v iných procesoch, ako je napríklad ohrev vody, sušenie alebo predohrev vzduchu v horáku (47).



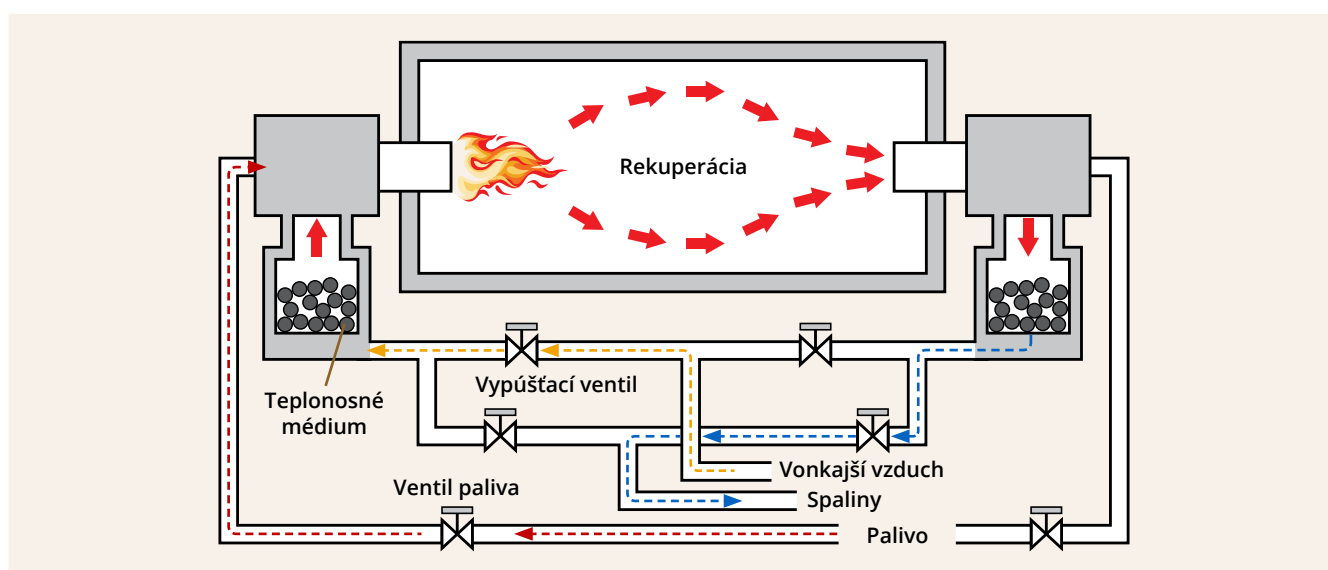
Obrázok 55: Priemyselná jednotka na spätné získavanie tepla (48)

Spätne získané teplo môže byť využité na:

- zásobovanie systémov ústredného kúrenia,
- teplovzdušné kúrenie,
- sušenie kalu,
- teplý vzduch na spracovanie (napr. sušenie vo výrobe),
- produkciu teplej vody pre sprchy a toalety,
- ohrev úžitkovej vody pre jedálne,
- konštrukciu tepelných brzd,
- ohrev bazénov.

Príkladom efektívneho spätného získavania tepla je čistiareň odpadových vôd. Čistiareň využíva na prívod vzduchu do prevzdušňovacej nádrže štyri rotačné piestové dúchadlá. Vďaka výmenníkom tepla inštalovaným na zväzkoch rúr môže čistiareň efektívne využívať odpadové teplo z dúchadiel. Spätne získavanie tepla môže pomôcť čistiarni ušetriť niekoľko desiatok tisíc eur ročne.

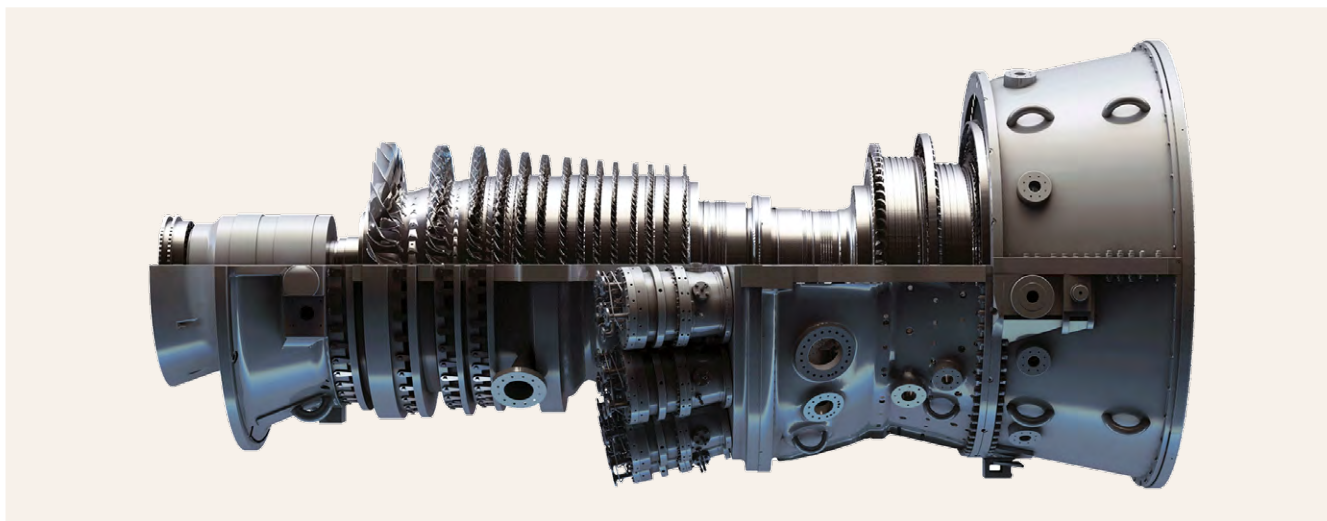
Ďalším spôsobom spätného získavania tepla je využitie energie spalín. Horáky pozostávajú z vnútorného výmenníka tepla s rôznymi prvkami, ako sú drážky a rebrá, ktoré sa používajú na vytvorenie tepelného kontaktu medzi odpadovými spalínami a spalovacím vzduchom prichádzajúcim z prírodného potrubia. Konštrukcia funguje tak, že získava teplo zo spalín aj odpadové teplo z telesa dýzy horáka a oboje využíva na prenos tepla do spalovacieho vzduchu. Výsledkom tohto predohreву vzduchu je vyššia účinnosť spaľovania, a teda viac tepla z dýzy. Výsledky experimentov (47) ukazujú, že v prípade pece s teplotou 1 000 °C možno vzduch predhrievať minimálne na 500 °C, čo znamená výrazné zlepšenie tepelnej účinnosti.



Obrázok 56: Schéma systému určeného na spätné získavanie tepla horáku (47)

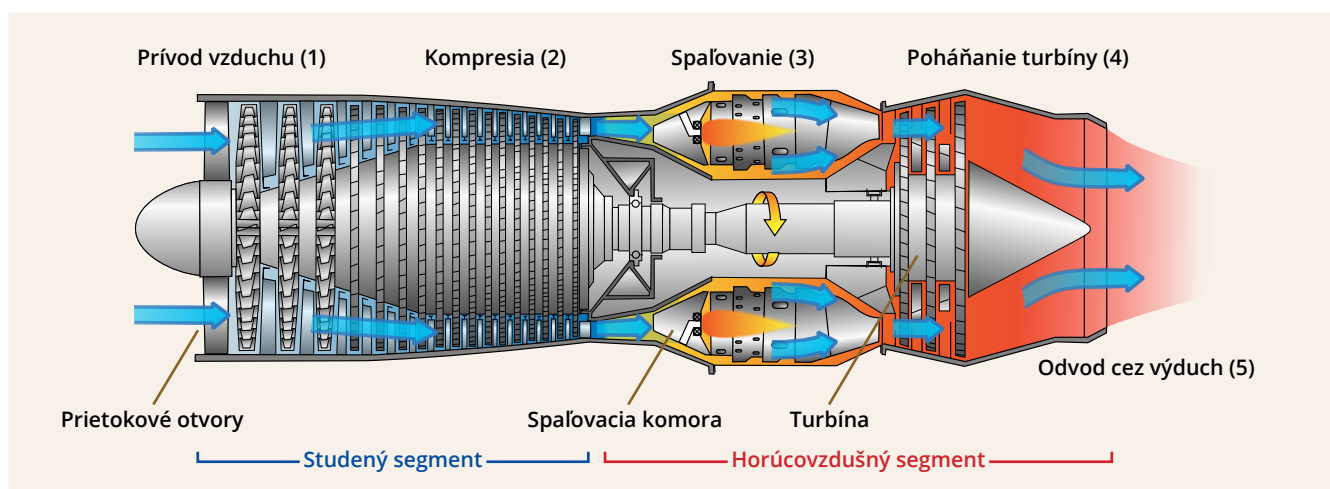
1.2. Plynové turbíny

Plynová turbína (obr. 57) je energetické zariadenie, v ktorom prebieha na základe adiabatickej expanzie premena časti vnútornej energie stlačeného plynu na kinetickú energiu rotora. Spaľovacie plynové turbíny pracujú v otvorenom cykle. Nasávaný atmosférický vzduch kompresor stláča a vháňa do spaľovacej komory, kde sa vzduch mieša s palivom. Spálením paliva vzniknú horúce spaliny, ktoré expandujú v turbíne. Teplo výstupných spalín sa následne využíva, napr. na vykurovanie.



Obrázok 57: Plynová turbína GE 7F.05 (49)

Plynová turbína je určená na výrobu elektriny. Zohrieva zmes vzduchu a paliva pri veľmi vysokých teplotách, čo spôsobuje otáčanie lopatiek turbíny. Otáčajúca sa turbína poháňa generátor, ktorý premieňa energiu na elektrinu. Príkladom je plynová turbína GE 7F.05, ktorá generuje 225 MW a je využívaná vo viac ako 950 aplikáciách po celom svete (49). Plynové turbíny sú výrazne účinnejšie pri zmene napr. zemného plynu na elektrickú energiu, keďže sú vysoko kompaktné a maximalizujú energiu ohriateho vzduchu pri silnej kompresii a zapalovaní.



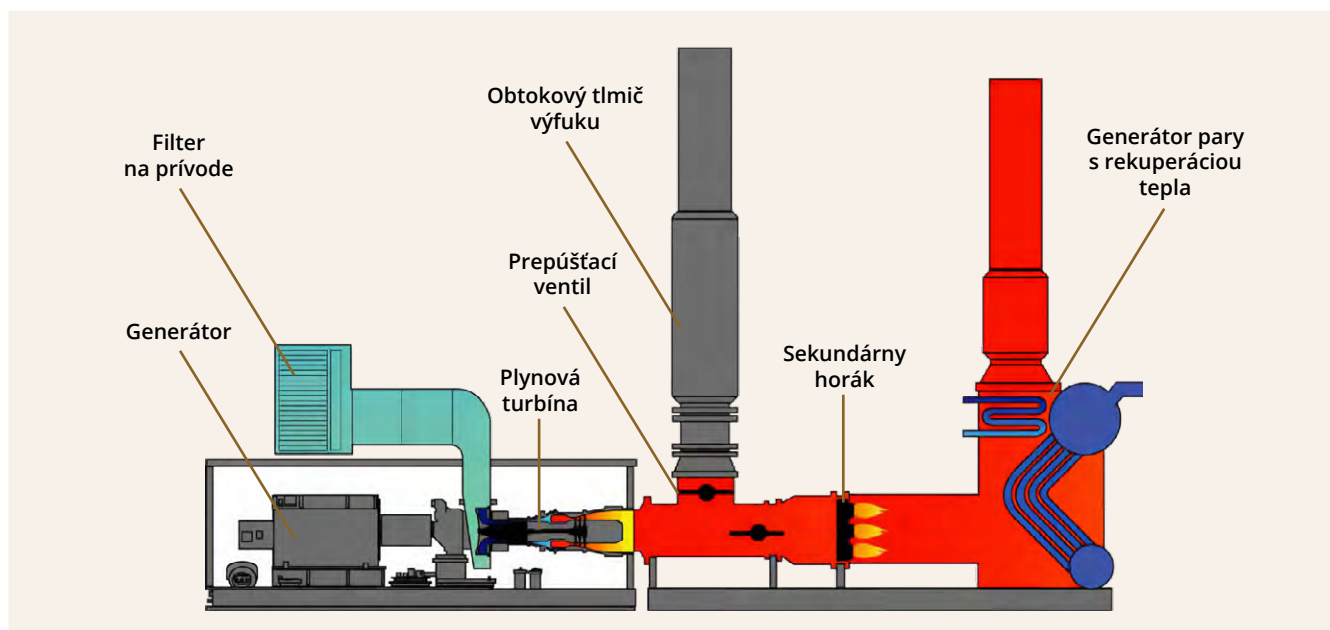
Obrázok 58: Schematické zobrazenie turbíny a hlavné procesy poháňania turbíny (50)

Princíp plynovej turbíny je nasledovný:

1. Zmes vzduchu a paliva sa zapáli – plynová turbína stláča vzduch a mieša ho s palivom, ktoré sa potom spaľuje pri extrémne vysokých teplotách, čím vzniká horúci plyn.
2. Horúci plyn roztáča lopatky turbíny – horúca zmes vzduchu a paliva sa pohybuje cez lopatky turbíny a spôsobuje ich rýchle otáčanie.
3. Otáčajúce sa lopatky otáčajú hnacím hriadelom – rýchlo sa točiace lopatky turbíny otáčajú hnacím hriadelom turbíny.
4. Otáčanie turbíny poháňa generátor – otáčajúca sa turbína je spojená hriadelom s rotorom generátora, ktorý sa otáča v statore s cievkami z medeného drôtu.

5. Magnet generátora spôsobuje pohyb elektrónov a vytvára elektrickú energiu – rýchlo sa otáčajúci magnet rotora generátora vytvára silné magnetické pole, ktoré zoraduje elektróny okolo medených cievok a spôsobuje ich pohyb. Pohybom týchto elektrónov cez vodič vzniká elektrina.

Z pohľadu termodynamiky môže byť princíp činnosti plynovej turbíny podľa Braytonovho tepelného cyklu, resp. Hupreyovho tepelného cyklu. V praxi sa vzhľadom na jednoduchšiu konštrukciu a vyššiu spoľahlivosť aj napriek o niečo nižšej teoretickej účinnosti využíva Braytonov termodynamický cyklus, ktorý definuje plynové turbíny ako tepelné zariadenia s otvoreným cyklom, ktoré pracujú pri konštantnom tlaku. Priemyselná plynová turbína využiteľná na kombinovanú výrobu elektriny a tepla je znázornená na obr. 59. Pri kombinovanej výrobe tepla plynová turbína poháňa elektrický generátor a zvyšné teplo sa využíva na výrobu pary v parnom generátore na následné využitie v tepelnom hospodárstve (51).



Obrázok 59: Plynová turbína s rekuperáciou tepla (51)

Jeden z najdôležitejších parametrov plynových turbín je tzv. Power-to-heat ratio, alebo pomer vyrobenej elektrickej energie k vyrobenému teplu plynovej turbíny. V praxi sa tento parameter pohybuje v hodnotách od 0,58 po 1,03, pričom závisí od menovitého tepelného výkonu turbíny, použitého paliva, konštrukcie a stavu plynovej turbíny (51).

1.2.1. Možnosti zníženia znečisťovania ovzdušia z plynovej turbíny

Zníženie negatívneho vplyvu prevádzkovania plynových turbín na životné prostredie, najmä vo forme emisií do ovzdušia, je možné doceliť:

- zvýšením účinnosti zariadenia – využitím vhodnej technológie pre konkrétnu aplikáciu, úpravou konštrukcie, zmenou niektorých komponentov zariadenia a pod.; napr. konštrukčnou úpravou vstrekovacej dýzy v horáku sa zvýšením účinnosti premeny chemicky viazanej energie v palive na teplo následne zvýši účinnosť premeny na mechanickú energiu a následne na elektrickú energiu a pri požiadavke na konkrétny elektrický výkon sa zníži celková priemerná produkcia emisií;
- zmenou paliva – napr. s vyššou výhrevnosťou, resp. s nižším obsahom uhlíka;
- sekundárnym znižovaním emisií – napr. katalytickou redukciou, odlučovaním a pod.;
- inými opatreniami.

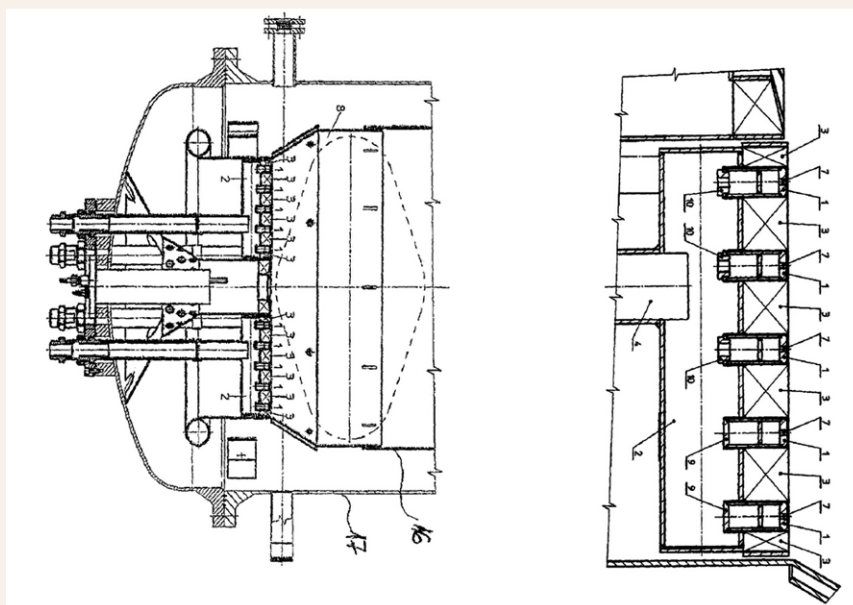
Tabuľka 3: Spôsob znižovania emisií z plynových turbín

Potreba zníženia emisie	Spôsob zníženia emisie
NO _x	vstrekovanie pary alebo vody, úprava prívodu spaľovacieho vzduchu
CO	zmena konštrukcie spaľovacej komory, katalytická redukcia
CH ₄ a VOC	zmena konštrukcie spaľovacej komory
SO _x	zmena paliva za nízkosírne
TZL	zmena paliva za nízpopolnaté

Nižšie sú uvedené vybrané spôsoby na zníženie emisného zaťaženia životného prostredia z plynových turbín. Opísané opatrenia môžu byť použité na všetky typy plynových turbín, pokiaľ to technológia a konštrukcia umožňujú.

1.2.1.1. Zmena konštrukcie horáka

Horák je zariadenie, ktoré je umiestnené v spaľovacej komore turbíny a ktoré poskytuje spustenie a reguláciu spaľovacieho procesu. Palivo je v bežných horákoch spaľované v spaľovacej komore spaľovacej turbíny pomocou bodových horákov, rozmiestnených symetricky v čele spaľovacej komory. Horáky sú vo väčšine prípadov navrhnuté priamo na danú plynovú turbínu jej výrobcom, ale v niektorých prípadoch, najmä v kombinácii pri zmene palivovej základne, je potrebné horáky vymeniť. Vhodným príkladom môže byť konštrukcia kruhového horáka pre spaľovanie turbíny s nízkymi emisiami, čím sa dosahuje efektívne a úsporné spaľovanie paliva. Tieto horáky sú tvorené koncovou dierovanou hlavicou, ktorou je do zóny horenia vnútri spaľovacej komory privádzaný zemný plyn rúrkou prívodu plynu. Jednotlivé horáky sú vnútri spaľovacej komory napojené na rozdeľovač plynu. Rozdeľovač plynu je prepojený potrubím s regulačným ventilom ovládaným riadiacim systémom turboagregátu s ohľadom na požadované otáčky a výkon spaľovacej turbíny (52).



Obrázok 60: Kruhový horák (vľavo) a detail vyústenia horákovej rúrky na rozvod plynu do spaľovacej komory (vpravo) (52)

1.2.1.2. Úprava prerozdelenia spaľovacieho vzduchu

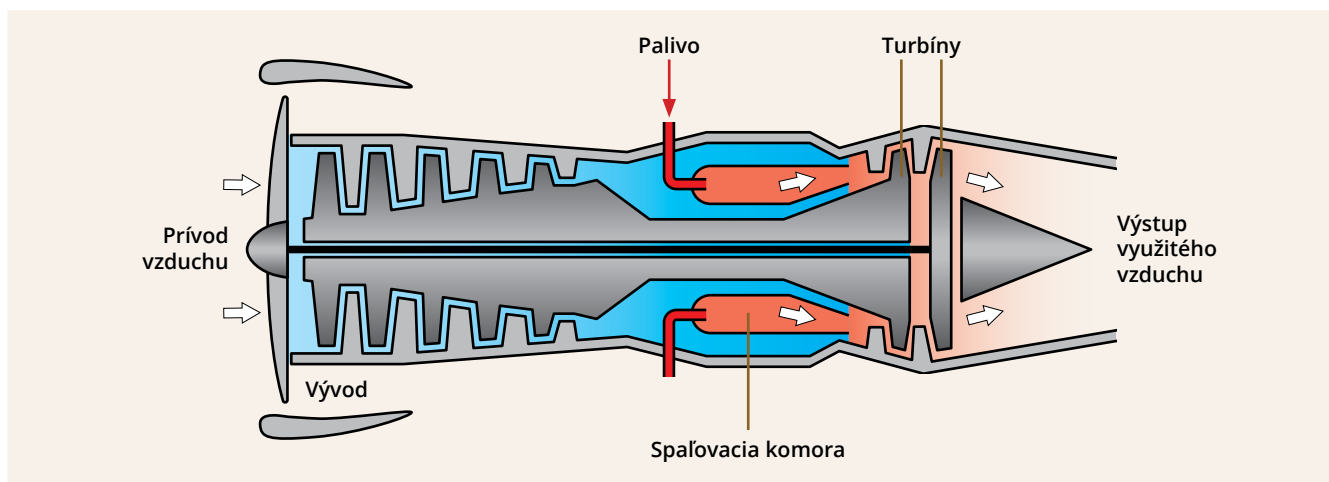
Pretože zmes paliva so vzduchom musí byť chudobná (aby sa obmedzila teplota na vstupe do turbíny a maximalizovala účinnosť), prvé snahy o zníženie emisií NO_x boli prirodzene zamerané na navrhnutie spaľovacieho zariadenia s chudobnejšou reakčnou zónou. Pretože väčšina plynových turbín pracuje s veľkým množstvom prebytočného vzduchu, časť tohto vzduchu môže byť odklonená smerom ku koncu plameňa, čo znižuje teplotu plameňa. Vyklonenie zóny plameňa (zníženie pomeru ekvivalencie zóny plameňa) tiež znižuje dĺžku plameňa, a tým znižuje čas zotrvania, ktorý molekula plynu strávi pri teplotách potrebných na tvorbu NO_x . Oba tieto mechanizmy znižujú NO_x . Vhodným prerozdelením spaľovacieho vzduchu je možné znížiť produkciu NO_x približne o štvrtinu. Navrhnutím špeciálnej vložky (obr. 61) pre prívod spaľovacieho vzduchu je teda možné výrazne znížiť produkciu NO_x , ale nepatrne sa môžu zvýšiť emisie CO (53).



Obrázok 61: Technológia Lean Head End (53)

1.2.1.3. Využitie dvojhriadeľovej konštrukcie

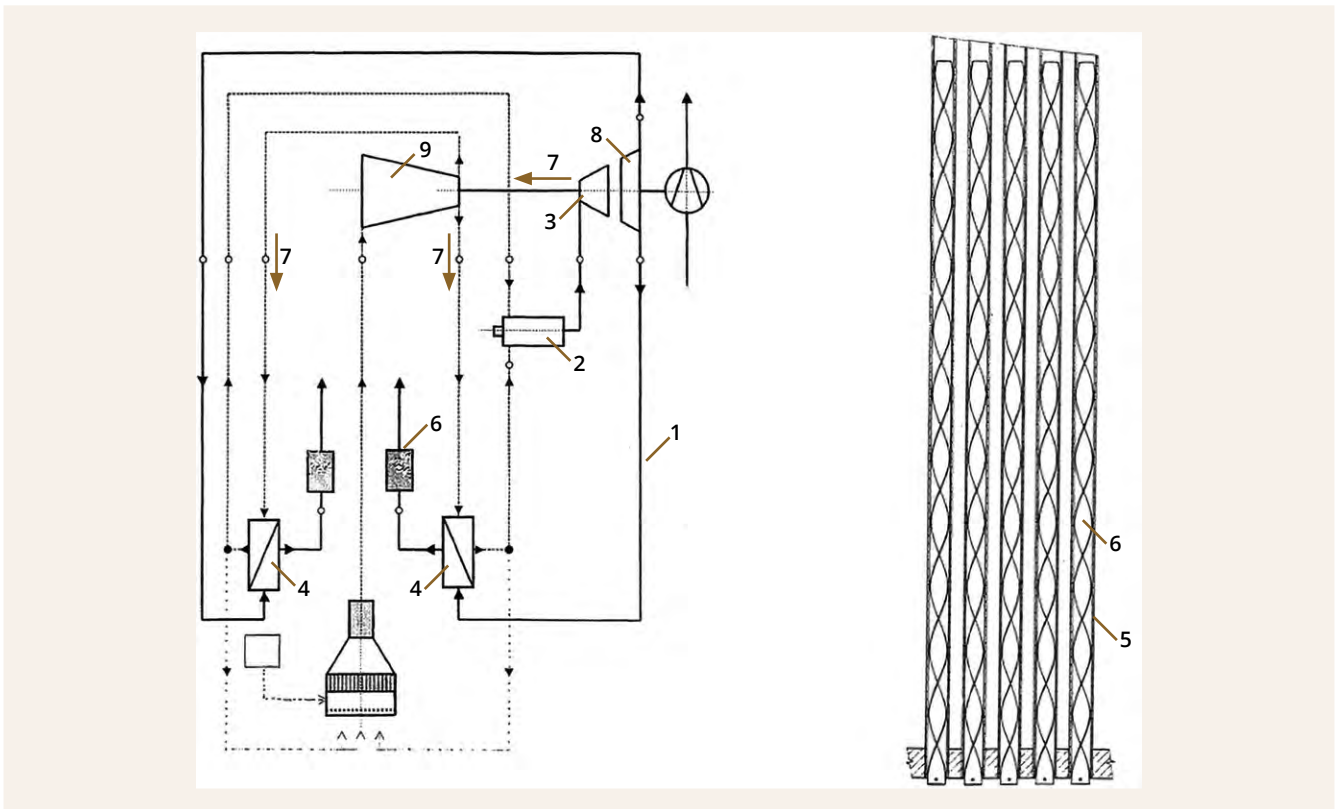
V tomto type je za turbínou plynového generátora umiestnená samostatná turbína a energia prúdu spalín sa dodáva ako rotačná sila (obr. 62). Táto zadná turbína sa nazýva výkonová turbína. Keďže medzi hriadeľom výkonovej turbíny a hriadeľom kompresora nie je mechanická spojka, je možné zvoliť ľubovoľné otáčkové výstupy. To je vhodné na pohon zariadení so širokým rozsahom otáčok. Toto usporiadanie je výhodné aj pri spúšťaní turbíny, čím sa znižuje produkcia CO_2 a CH_4 (54).



Obrázok 62: Schéma dvojhriadeľovej konštrukcie (54)

1.2.1.4. Zvýšenie tepelnej účinnosti

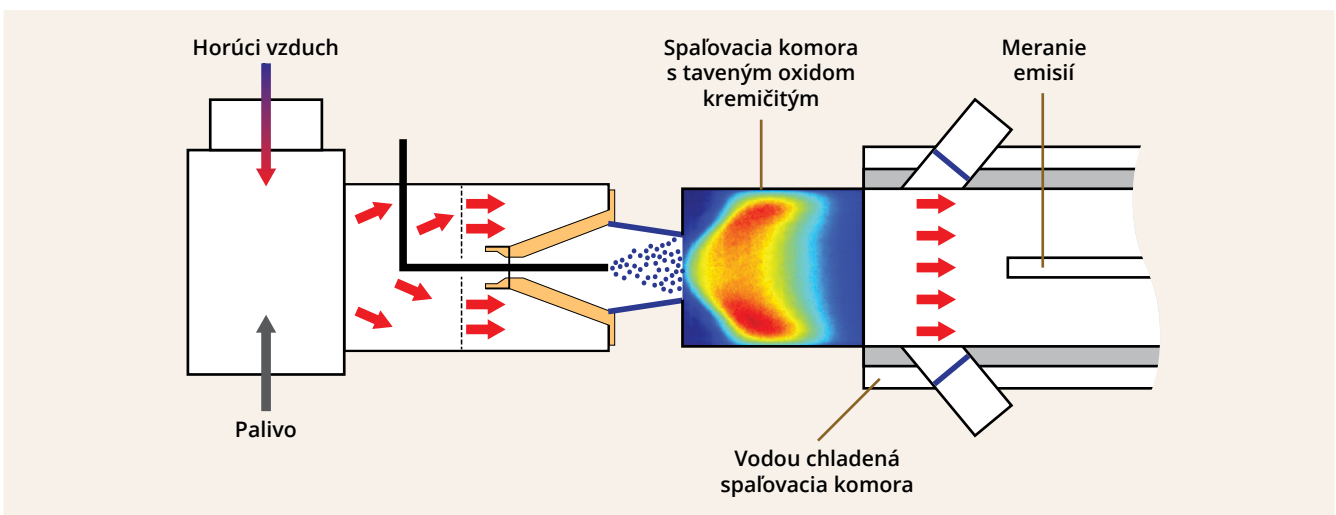
Pri niektorých typoch plynových turbín sa na prenos tepla zo spalín do teplonosného média používajú doskové výmenníky, ktoré sa okrem nízkej účinnosti vyznačujú aj značnou netesnosťou a krátkou životnosťou. Netesnosť výmenníkov má za následok výrazné zníženie výkonu plynovej turbíny. Doskové výmenníky je možné nahradiť rúrkovými výmenníkmi s hladkými rúrami, čo síce rieši problém netesnosti, ale na dosiahnutie vysokej účinnosti by bolo potrebné použiť rúrky značnej dĺžky. Analýza prestupu tepla na strane spalín, ktoré prúdia vnútri rúrok, a na strane vzduchu, ktorý prúdi medzi rúrkami, ukázala, že je potrebné zintenzívniť prestup tepla na strane spalín, t. j. vnútri rúrok. Preto je potrebné navrhovať takú konštrukciu zariadenia na prenos tepla, ktorá by umožnila pri absolútnej tesnosti regenerátora dosahovať vysokú účinnosť prenosu tepla aj pri použití hladkých a relatívne krátkych rúrok. Podstata takéhoto zariadenia spočíva v tom, že pri výmenníku tepla je každá rúrka doplnená vloženým vstupným turbulizátorom na zvýšenie turbulencie, a tým aj súčiniteľa prestupu tepla na strane spalín. Geometriu turbulizátorov je potrebné voliť tak, aby tlaková strata na strane spalín sa nezvýšila nad garantovanú hodnotu 4,5 % (55).



Obrázok 63: Schéma spaľovacej turbíny (vľavo) a výmenník tepla (vpravo): 1 spaľovacia turbína; 2 spaľovacia komora; 3 turbína; 4 výmenník tepla; 5 rúrky; 6 turbulizátor; 7 prúd spalín; 8 nízkotlaková turbína; 9 vzduchový kompresor (55)

1.2.1.5. Vstrekovanie vody/pary

Vstrekovanie vody alebo pary je metóda, pri ktorej sa preukázalo, že významne znižuje emisie NO_x z plynových turbín. Vplyv vstrekovania pary a vody spočíva vo zvýšení tepelnej hmoty riedením, čo vedie k nižším maximálnym teplotám v zóne plameňa. Vstrekovanie vody má ďalšiu výhodu v tom, že odstraňuje latentné teplo odparovania zo zóny plameňa. Vo väčšine prípadov sa voda alebo para vstrekuje do pomeru hmotnosti vody k palivu menšieho ako jeden. Obrázok 64 znázorňuje schematický diagram plynovej turbíny a implementáciu vstrekovania vody.



Obrázok 64: Schematické znázornenie vstrekovania vody v plynových turbínach (56)

1.2.1.6. Zmena paliva

V prípade využitia ekologickejších plynných palív, napr. na báze bioplynu a vodíka (ideálne zeleného, produkovaného z obnoviteľných zdrojov energie), je možné významným spôsobom znížiť produkciu CO₂, prípadne aj ďalších emisií (CO, CH₄, VOC a pod.). Tieto modernizácie možno realizovať s plánovanými odstávkami, aby sa minimalizoval čas, keď elektrárne nevyrába energiu, a pre nové bloky môžu byť tieto možnosti súčasťou počítačovej konfigurácie elektrárne alebo môžu byť postupne zavádzané, keď bude alternatívne palivo, napr. vodík, k dispozícii.

Vzhľadom na iné vlastnosti vodíka a zemného plynu, ktorý sa v plynových turbínach využíva najčastejšie, takáto zmena palivovej základne si vyžaduje určité konštrukčné úpravy. Napríklad kryt plynovej turbíny a ventilačný systém musia byť navrhnuté tak, aby sa zabezpečilo, že koncentrácia vodíka sa udrží mimo jeho horných a spodných limitov výbušnosti. Okrem toho môže byť potrebné doplniť systémy detekcie nebezpečných plynov a plameňa pre typické uhľovodíkové palivá systémami schopnými detegovať vodík. Keďže objemová výhrevnosť vodíka je oproti zemnému plynu približne trikrát nižšia, upravená plynová turbína bude musieť byť schopná spaľovať približne trikrát viac paliva, čo znamená úpravu horákov v spaľovacej komore. Spaľovanie vodíka je omnoho reaktívnejšie a horí pri vyššej teplote, čomu musia byť prispôbené lopatky rotora a ďalšie časti turbíny. Jednoduchším, ale stále efektívnym riešením je spoluspaľovanie vodíka so zemným plynom v pomere do 50 %, čo je hranica, po ktorú niektorí výrobcovia turbín odporúčajú prevádzkovať svoje zariadenia.

1.3. Spaľovacie motory

Spaľovacie motory využívajú podobné piestové motory, aké je možné vidieť v každom bežnom automobile s benzínovým alebo dieselovým motorom. Ide zvyčajne o motor, ktorý používa jeden alebo viac piestov na spaľovanie zmesi paliva a vzduchu, pričom sa chemicky viazaná energia v palive mení na teplo (s vysokou teplotou a pomerne vysokým tlakom) a následne na rotačný pohyb. Piestové spaľovacie motory môžeme deliť podľa rôznych kritérií:

podľa spôsobu zapálenia zmesi:

- zážihové: zmes paliva a vzduchu je zapálená elektrickou iskrou – tieto motory pracujú na princípe Ottovho termodynamického obehu;
- vznetové: vzduch sa kompresiou ohreje na teplotu vyššiu, ako je teplota vznietenia paliva, a následne sa doň vstrekuje palivo, ktoré sa v dôsledku vysokej teploty vznieti – tieto motory pracujú na princípe Dieselovho termodynamického obehu;

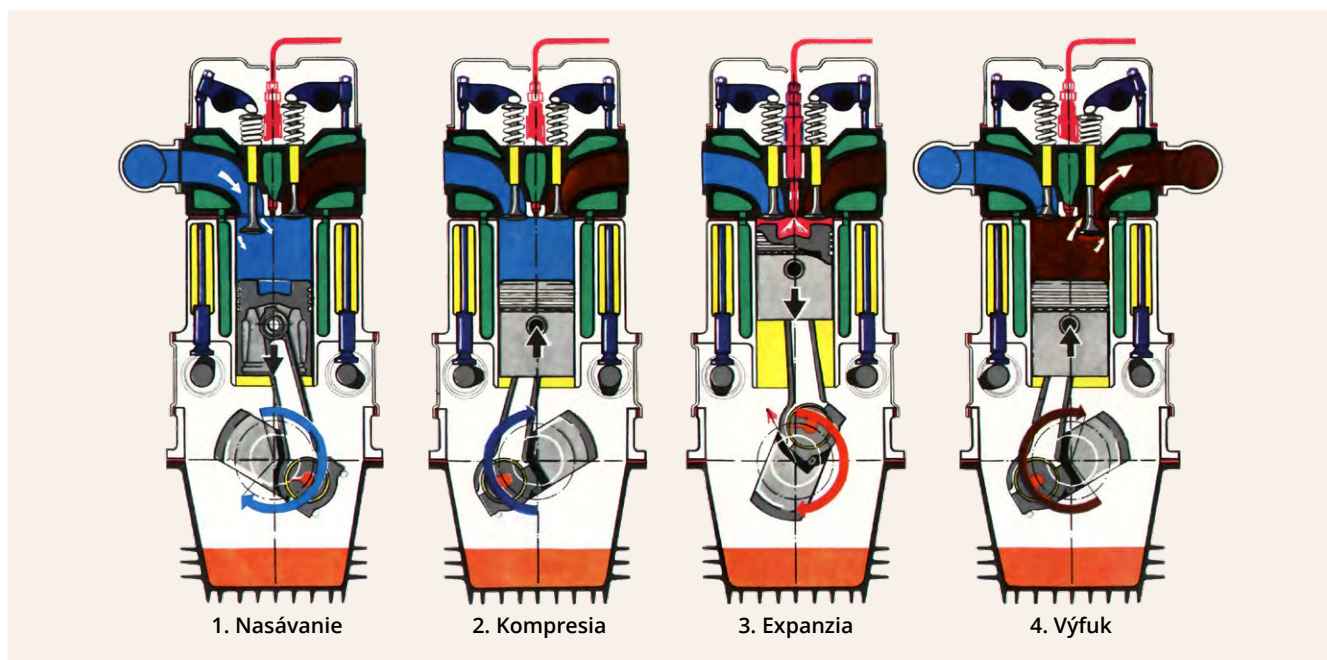
podľa princípu činnosti:

- dvojdobé: pracovný cyklus sa vykoná v priebehu jednej otáčky klukového hriadeľa;
- štvordobé: pracovný cyklus sa vykoná v priebehu dvoch otáčok klukového hriadeľa.

V bežných stacionárnych spaľovacích motoroch sa využívajú najmä štvordobé zážihové spaľovacie motory, z ktorých niektoré sú upravené na spaľovanie zemného plynu, resp. štvordobé vznetové motory, z ktorých niektoré sú upravené na spaľovanie ľahkého alebo ťažkého vykurovacieho oleja, resp. produktov z pyrolýzy rôznych odpadových surovín. Proces premeny paliva na užitočnú prácu je rozdelený do štyroch dôležitých fáz:

- fáza 1 – prívod vzduchu a paliva,
- fáza 2 – stlačenie pracovnej látky,
- fáza 3 – zapálenie pracovnej látky v spaľovacej komore,
- fáza 4 – vykonanie práce na hriadeľ a odvod využitého vzduchu (s emisiami).

Niekoľko iných aplikácií daných motorov zahŕňa slávny parný stroj, ktorý bol základom priemyselnej revolúcie, alebo Stirlingov motor pre špecializované aplikácie.



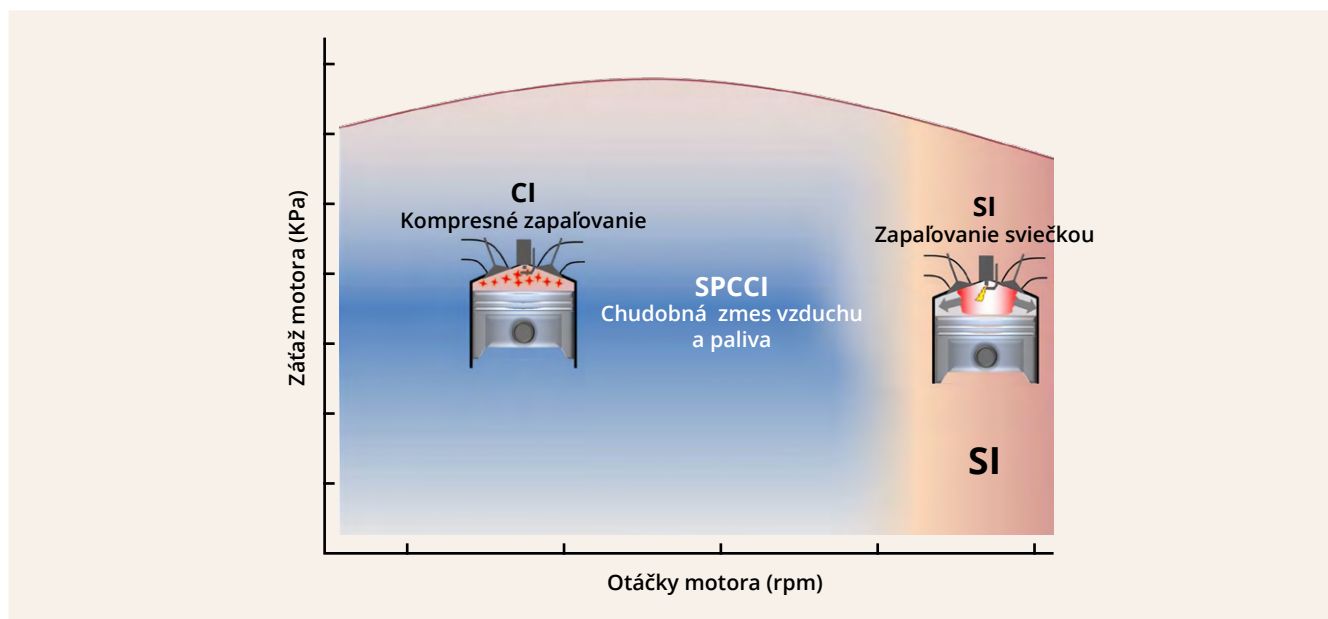
Obrázok 65: Schematické znázornenie princípu piestového motora so štvortaktným cyklom

1.3.1. Možnosti zníženia znečisťovania ovzdušia zo spaľovacích motorov

Už niekoľko rokov sú hlavne v Európe zavádzané prísne emisné normy nielen pre vozidlá, ale aj pre stacionárne spaľovacie motory. Z tohto dôvodu sa hľadajú vhodné spôsoby zníženia zaťaženia životného prostredia zo spaľovacích motorov. Nižšie sú uvedené niektoré spôsoby znižovania znečisťovania životného prostredia zo spaľovacích motorov. Opísané opatrenia môžu byť použité na všetky typy spaľovacích motorov, pokiaľ to technológia a konštrukcia umožňujú.

1.3.1.1. Zmena konštrukcie spaľovacieho motora

Spaľovacie motory sa každým rokom vyvíjajú, pričom sa zvyšuje ich účinnosť a klesá spotreba primárnych zdrojov energie vo forme kvapalného paliva, vyrobeného zvyčajne z ropy. Výrobcovia motorov sa snažia tieto výsledky čo najskôr implementovať do výroby, ale v súčasnosti už vývoj spaľovacích limitov takmer dosahuje limity fyzikálnych zákonov. Aktuálne je relatívne novou technológiou na zníženie produkcie emisií z prevádzky spaľovacích motorov technológia SPCCI, ktorá spája výhody vznetrových a zážihových motorov, pričom dokáže niekoľkonásobne znížiť emisie vyprodukované spaľovacím motorom. SPCCI technológia používa zapalovanie iskrou (SI), kde vznikne rozpínajúca sa ohnivá guľa (sférický plameň) s vlastnosťami vzduchového piestu, ktorý dodatočne stláča veľmi chudobnú zmes paliva s úrovňou kompresie na cca 1 000 K, čo zapríčini vznetrové zapálenie (CI). Cieľom je dosiahnutie HCCI spaľovania, ktoré je riadené časovaním iskry pre kompresné zapalovanie. Ak je spaľovanie CI náročné z dôvodu prevádzkových podmienok, dôjde k prepnutiu na technológiu spaľovania SI. V podmienkach prevádzkovania motora, keď je ľahšie dosiahnuteľné CI spaľovanie, technológia SPCCI oneskoruje spaľovanie CI a aj kompresiu nespáleného plynu. Inými slovami, SI časovanie je riadené na dosiahnutie optimálneho CI spaľovania. Výhodou je, že pri relatívne vysokom výkone sa produkujú nízke emisie oxidov dusíka NO_x (57).

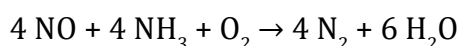


Obrázok 66: Prepínanie medzi oblasťami spaľovania CI a SI (57)

1.3.1.2. Selektívne katalytické redukčné systémy

Selektívna katalytická redukcia (SCR) je spôsob premeny NO_x pomocou katalyzátora na diatomický dusík (N_2) a vodu (H_2O). Emisie oxidov dusíka sa znížia až o 70 %, uhlíkov o 90 % a tuhých častíc o 10 %. Táto technológia má zabezpečiť zníženie objemov oxidov dusíka bez nutnosti ovplyvňovať optimálne nastavenie spaľovacieho cyklu motora (43) (44).

Oxidy dusíka majú až 298-krát väčší vplyv na globálne otepľovanie v porovnaní s CO_2 (45). Základný princíp SCR je jednoduchý. Do spalín sa vstrekuje amoniak a NO_x sa rozkladajú na N_2 a pary H_2O . Katalyzátor SCR účinne uľahčuje priebeh reakcií amoniaku a NO_x . Pri tomto procese nevznikajú žiadne škodlivé vedľajšie látky. Zariadenia využívajúce katalyzátor SCR sa ľahko udržiavajú a sú schopné stabilnej prevádzky. Prebieha nasledujúca chemická reakcia:



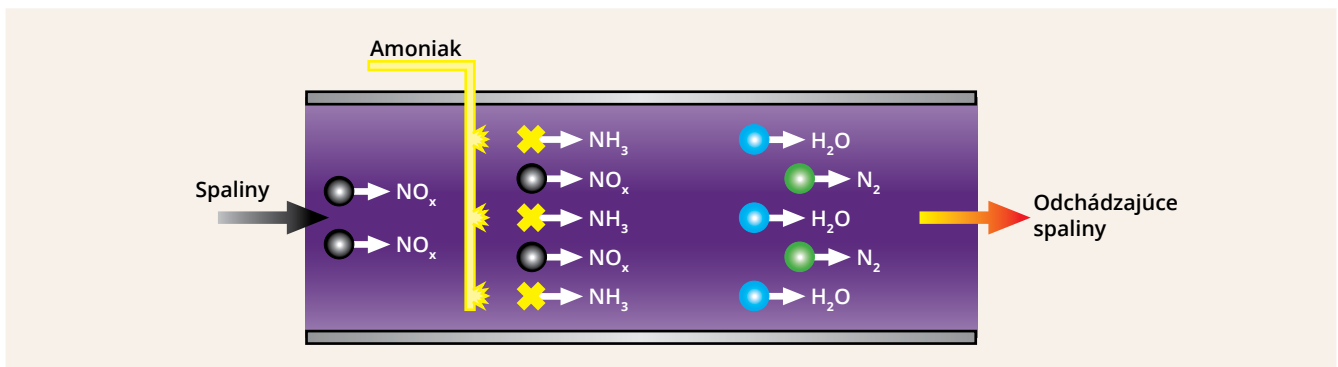
Výfukové plyny z motora prechádzajú cez oxidačný katalyzátor DOC (po angl. diesel oxidation catalyst) a potom cez filtre DPF (po angl. diesel particulate filter), potom nasleduje vstrekovanie močoviny, systém SCR a nakoniec ASC (po angl. ammonia slip catalyst), pričom sú monitorované z hľadiska úrovni a teploty NO_x . Snímač NO_x je umiestnený medzi ASC a výfukovým plynom a medzi DOC a DPF a systémom DPF a SCR sa používajú najmenej dva teplotné snímače. Katalyzátor SCR na báze minerálov má dobrú deNO_x kapacitu v strednej a nízkoteplotnej časti. Fe, Mn, Ce, V a Cu sú väčšinou priaznivé prvky pre SCR katalyzátory s vysokou schopnosťou odľučovania NO_x . Pre katalyzátor s dobrou deNO_x schopnosťou je dôležité:

- dobré rozloženie aktívnych prvkov,
- chemická adsorpcia kyslíka,
- vysoké množstvo povrchových pórov na povrchu katalyzátora.

Technológie SNR výrazne znižujú produkciu NO_x a zlepšujú odstraňovanie nebezpečných častíc. Selektívna nekatalytická redukcia (SNCR) môže byť použitá aj na zníženie emisií oxidov dusíka v konvenčných elektrárnach, ktoré spaľujú biomasu, odpad a uhlie. Je preukázané, že SNCR môže znížiť až o 63 % celkových emisií NO_x . Vo všeobecnosti platí, že sa emisie tvoria najviac v strede

reakčnej nádoby a menej pri stenách, pretože steny majú v porovnaní so stredom nižšiu teplotu a nadbytočný čpavok pri stenách ľahšie preklízne (58) (59).

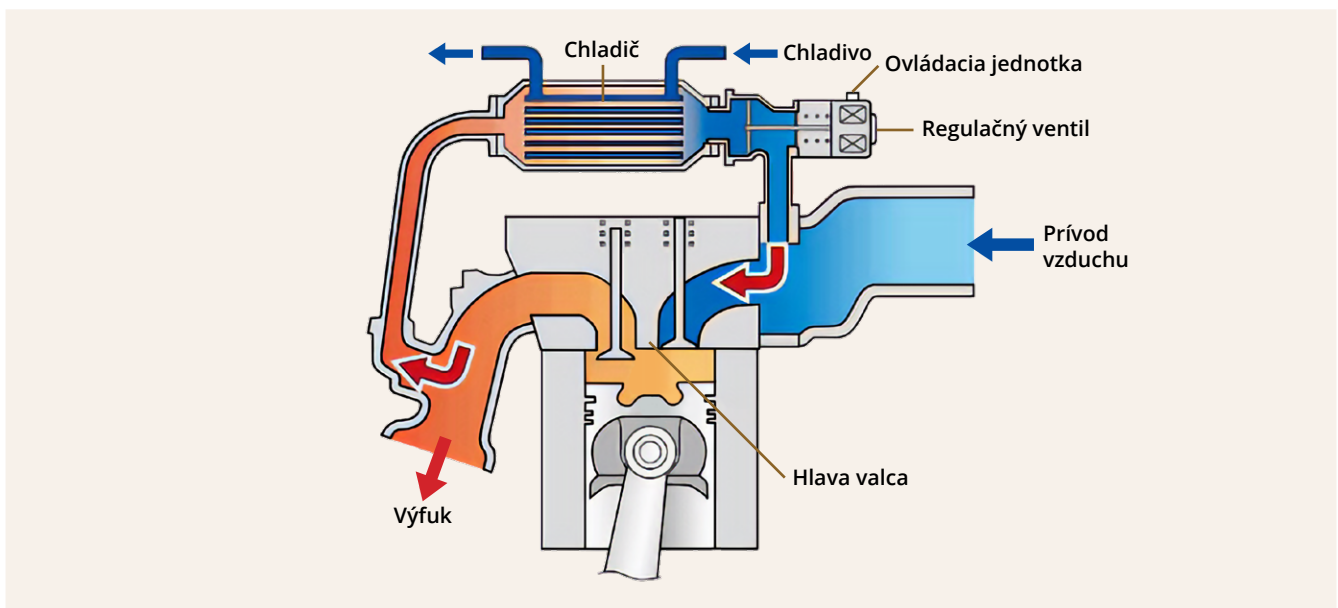
SNCR je alternatívna metóda na zníženie NO_x , ktorá sa bežne používa v elektrárnach, ktoré spaľujú uhlie, ropu, odpad a biomasu. Technika SNCR zahŕňa vstrekovanie činidla do spalín pri vysokej teplote bez pomoci katalyzátora. V SNCR sa vodný amoniak/močovina vstrekuje do spalín pochádzajúcich zo spaľovacieho procesu pri teplotách medzi $870\text{ }^\circ\text{C}$ až $1150\text{ }^\circ\text{C}$ tak, aby sa NO_x pretransformovali na plynný dusík (N_2), oxid uhličitý (CO_2) a vodu (H_2O). Základným chemickým princípom tohto procesu je, že pri vysokej teplote amoniak alebo močovina reaguje s NO_x zo spálených plynov za vzniku plynného dusíka (N_2) a vodnej pary (H_2O). SNCR sa môže použiť na zníženie NO_x približne o 30 – 70 %. Nižšie sú uvedené zjednodušené rovnice reakcie s použitím amoniaku ako činidla (60):



Obrázok 67: Schéma SNCR (60)

1.3.1.3. Recirkulácia výfukových plynov

V spaľovacích motoroch je recirkulácia výfukových plynov (EGR) technikou znižovania emisií oxidov dusíka (NO_x), ktorá sa používa v benzínových, naftových motoroch a taktiež v niektorých vodíkových motoroch. Princípom EGR je recirkulácia časti výfukových plynov z motora späť do valcov motora. Hlavnými výhodami tejto technológie sú výrazná úspora prevádzkových nákladov a redukcia emisií výfukových plynov v každom prevádzkovom režime vozidla (61).

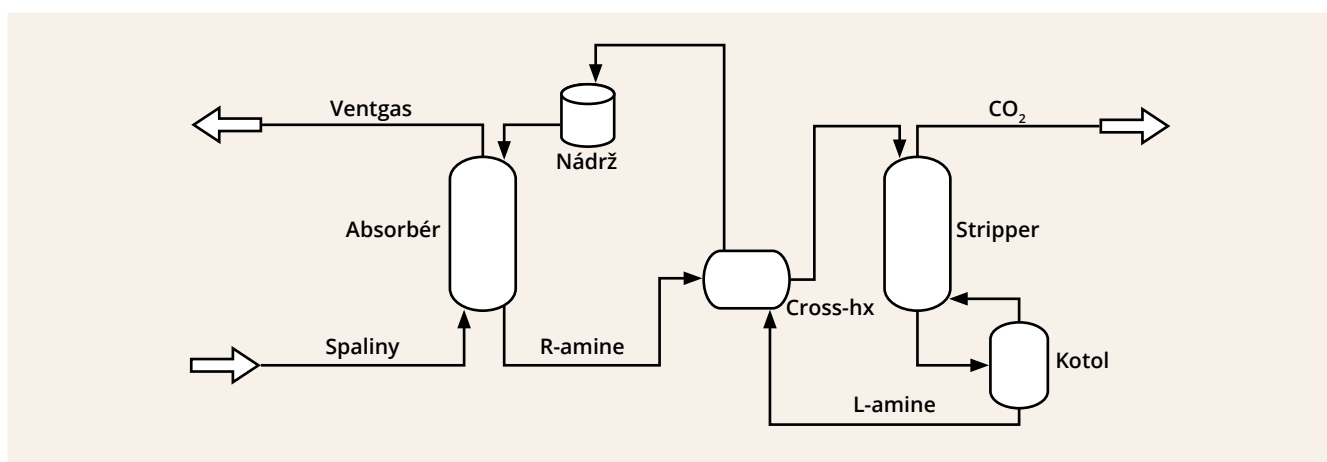


Obrázok 68: Schéma technológie EGR (61)

Pokroky v systémoch dodatočnej úpravy močoviny a SCR umožnili výrobu motorov s nízkym obsahom NO_x bez použitia EGR. Táto technika si vyžaduje účinnosť konverzie SCR vyššiu ako 94 – 96 %, aby sa dosiahli obmedzenia NO_x na úrovni 0,4 g/kWh s NO_x bez motora až do 7 g/kWh. Od uvedenia pôvodných produktových radov Euro VI na trh boli vyvinuté systémy s konverziou NO_x na viac ako 99,5 %, ktoré by mohli umožniť, aby emisie NO_x z motora vyššie ako 12 g/kWh prekročili obmedzenia normy Euro VI. Medzi výhody odstránenia EGR patria znížená hmotnosť, náklady a zložitosť (62).

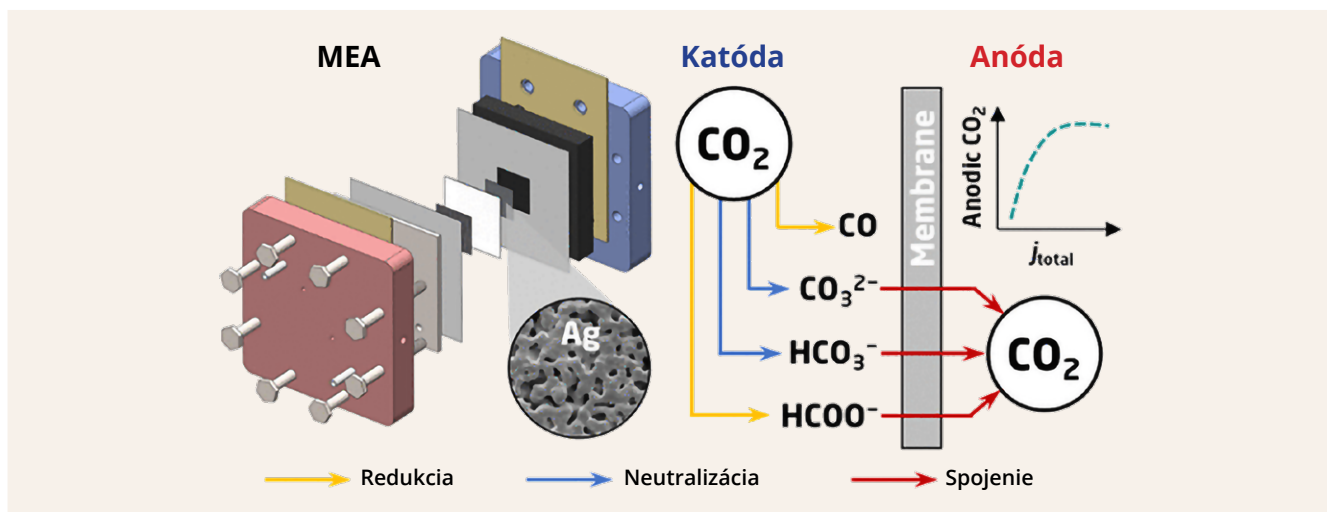
1.3.1.4. Absorpcia etanolamínom (MEA)

Etanolamín (vodný monoetanolamín) sa bežne používa v priemyselných prevádzkach na odstránenie CO_2 . Základná konštrukcia absorpcie amínov, ako je znázornené na obr. 69, zahŕňa prepravu spalín z fosílnych palív cez absorpčnú vežu. Pred absorpčnú kolónu sa umiestni akumulčná nádrž, aby sa znížili zmeny v absorpčnej jednotke spôsobené rýchlymi zmenami v časti odizolovača zariadenia. Teoreticky táto technika umožňuje kontinuálnu regeneráciu rozpúšťadla (63).



Obrázok 69: Vývojový diagram procesu absorpcie amínu (63)

Schopnosť udržania CO_2 v látke, resp. odlučovania sa pohybuje s účinnosťou od 85 % do 95 % a „čistota“ CO_2 je 99,5 %. V roku 2021 bolo univerzitou MIT zistené, že metódou MEA sa zníži účinnosť prevádzky zariadení o 25 – 28 % pri novej konštrukcii a 36 – 42 % pri rekonštrukciách (montáž jednotky) v starších budovách (64).



Obrázok 70: Schéma MEA (64)

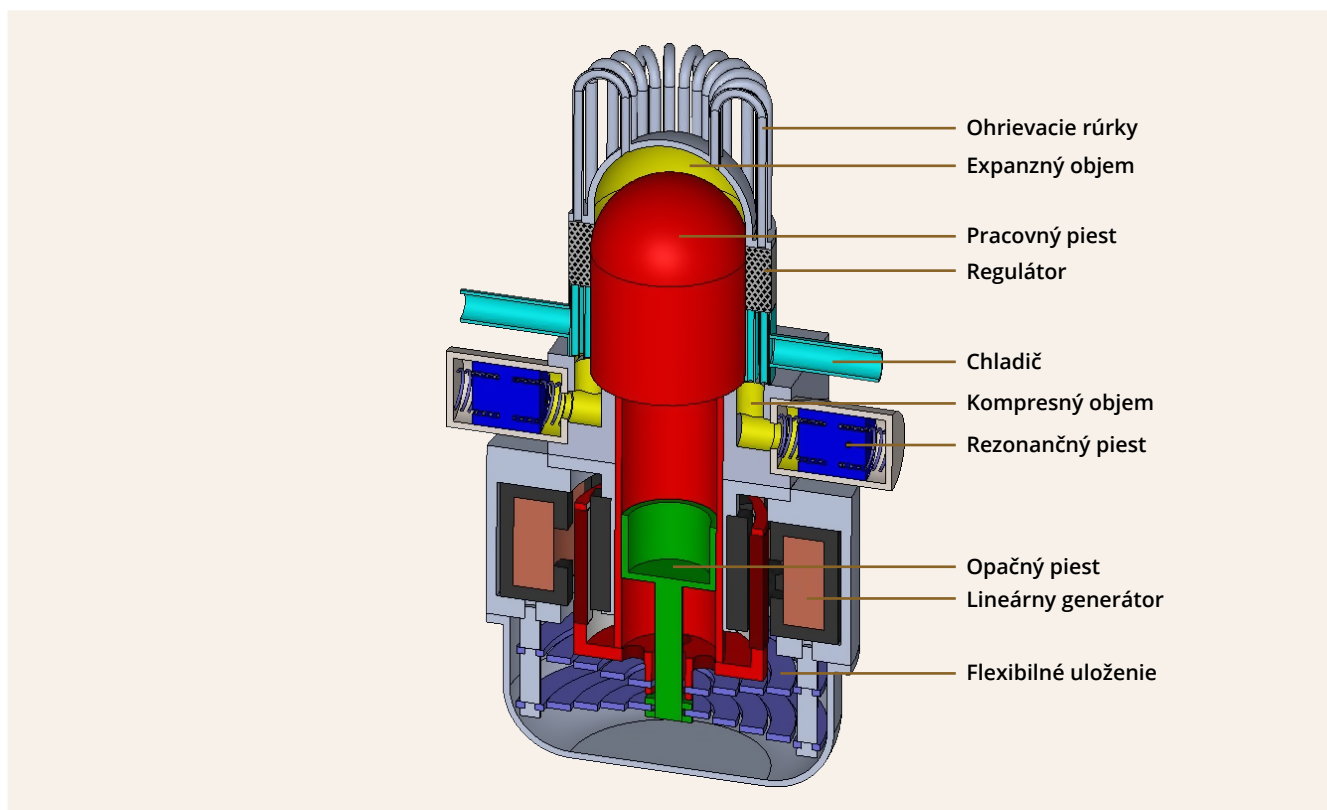
1.4. Iné druhy spaľovacích jednotiek

1.4.1. Stirlingov motor

Patent Stirlingovho motora bol udelený škótskemu farárovi Robertovi Stirlingovi už v roku 1816. V tom čase to bol vynález, ktorý predbiehal vtedajšie vedecké poznanie. Stirlingov motor má mnohé prednosti oproti tradičným piestovým motorom, v širokom spektre kogeneračných a iných zariadení. Stirlingov motor je pre svoje náročné konštrukčné riešenie (či už z pohľadu materiálov, alebo tesnosti – vyvinutie spoľahlivého a dlhodobo prevádzkovateľného tesnenia je jedným z hlavných problémov) stále vo vývoji a na trhu je ťažké nájsť skutočne spoľahlivo pracujúci Stirlingov motor.

Stirlingov motor (obr. 71) je teplovzdušný regeneratívny motor s uzatvoreným obehom, ktorý premieňa teplo na mechanickú prácu. Dá sa tiež označiť ako piestový spaľovací motor s vonkajším spaľovaním, najvhodnejším zdrojom energie je kontinuálne horiaci zdroj tepla, môže sa dokonca využívať aj teplo, ktoré nie je viazané na spaľovanie (solárna energia, odpadové teplo z technologických procesov a pod.). Kontinuálne spaľovanie paliva má výrazný vplyv na fakt, že počas spaľovania je produkované oveľa menšie množstvo znečisťujúcich látok oproti diskontinuálnemu spaľovaniu. Stirlingov motor pracuje na princípe rozťažnosti plynu (pracovného média, ktoré je trvalo uzavreté v pracovnom priestore motora) – keď sa plyn ohrieva, rozťahuje sa, keď sa ochladzuje, svoj objem znižuje. Tento princíp dáva piesty do pohybu. Každý Stirlingov motor sa skladá z:

- piestovej skupiny Stirlingovho motora (modifikácia alfa, beta, gama alebo Stirlingov motor s voľným piestom);
- ohrievača – povrchový tepelný výmenník, ktorým sa do motora privádza teplo, najčastejšie zo spalín; ohrievač v ideálnom prípade tvorí väčšinu škodlivého priestoru teplej strany motora;
- regenerátora (nemusí sa nachádzať, no zvyšuje účinnosť) – prebieha v ňom regenerácia tepla využitím teplotného rozdielu medzi teplou a studenou stranou. Pri prechode plynu z teplej strany na studenú stranu sa plyn ochladzuje o studenú hmotu (matrice regenerátora), ktorú regenerátor obsahuje. Ide prevažne o objem vyplnený veľmi jemnými drôtikmi z ocele. Pri prúde plynu zo studenej strany na teplú stranu sa plyn ohrieva o matricu regenerátora;
- chladiča – podobne ako ohrievač je to povrchový tepelný výmenník motora, ktorým sa z motora odvádza teplo, a to najčastejšie pomocou chladiacej kvapaliny alebo vzduchu. Chladič v ideálnom prípade tvorí väčšinu škodlivého priestoru studenej strany motora.



Obrázok 71: Konštrukcia Stirlingovho motora (65)

V súčasnosti si Stirlingov motor našiel uplatnenie najmä v solárnych elektrárňach, kde predstavuje jediný piestový motor premieňajúci slnečnú energiu na mechanickú a následne elektrickú s pomerne vysokou účinnosťou. Stirlingov motor sa javí ako vhodný aj na rekuperáciu odpadového tepla, najmä v ťažkom priemysle. Výsledky experimentov ukázali, že tento druh motora je schopný rekuperovať a využiť teplo nad 300 °C, čo predurčuje jeho možné využitie so slnečnou energiou (66).

2. Výpočty pri spaľovacích procesoch

Spaľovanie palív je možné definovať ako „zložitý termický proces pozostávajúci z viacerých fyzikálnych a chemických dejov tepelného rozkladu a oxidácie horľavých zložiek paliva, prebiehajúci vo vymedzenom priestore a konkrétnom čase“. Nižšie sú uvedené optimálne parametre spaľovacieho procesu a výpočty na určenie rôznych veličín súvisiacich so spaľovaním palív. Uvedené výpočty sú platné prednostne pre spaľovanie tuhých palív.

2.1. Parametre spaľovacieho vzduchu

Pre spaľovací proces sú charakteristické určité parametre, ktoré vypovedajú o priebehu a kvalite spaľovacieho procesu. Na ich základe je možné zhodnotiť účinnosť výroby tepla.

2.2. Teplota spalín

Spalovanie paliva v ohnisku kotla prebieha prakticky pri konštantnom tlaku. Tepelnú bilanciu spaľovacieho procesu v spaľovacích zariadeniach možno pri zohľadnení predpokladov

- spaľovací priestor je otvorený stacionárny termodynamický systém,
- spaľovanie je s prebytkom vzduchu,
- zmena kinetickej a potenciálnej energie počas spaľovania je nulová,
- teplo odvádzané v tuhých zvyškoch je v porovnaní s produkovaným zanedbateľné

vyjadriť vzťahom:

$$m_p h_p + \lambda m_{vzs} h_{vzs} + m_p Q_i = Q + m_{spv} h_{spv}$$

Keďže entalpia paliva h_p je v porovnaní s výhrevnosťou Q_i malá, pri bilancovaní sa zanedbáva. Najvyššiu hodnotu entalpie spalín h_{spv} dosahuje adiabatické ohnisko, pretože všetko teplo uvoľnené pri spaľovaní sa odovzdá spalínám. Reálnu teplotu spalín vyjadruje nasledujúci vzťah a podobne, ale bez zarátania strát by sa vypočítala adiabatická teplota spalín.

$$t_{sp} = \frac{Q_i [1 - (\xi_{mn} + \xi_{cn} + \varepsilon) + \lambda m_{vzs} c_{vzs} t_{vzs}]}{m_{spv} c_{spv}} \quad (^\circ\text{C})$$

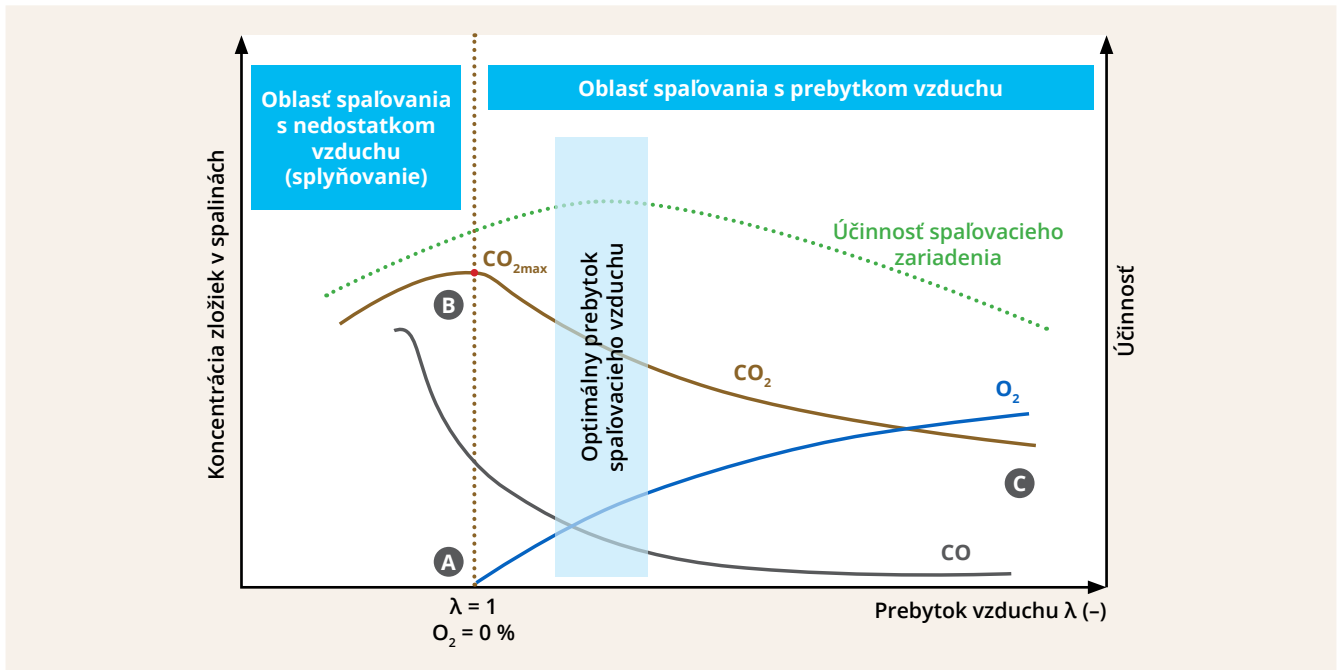
Teplota vlhkých spalín na výstupe z kotlovej časti sa väčšinou pohybuje v rozmedzí 110 – 800 °C. Pri odvode spalín prirodzeným ťahom komína v malých zdrojoch tepla nesmie teplota v komíne klesnúť pod 250 °C, obvykle býva 300 °C. Pri nútenom odvode spalín je teplota obmedzená rosným bodom spalín. Limitná teplota pre bežný kotol, keď ešte pri väčšine komínov nedochádza ku kondenzácii spalín, je asi 145 °C.

2.3. Spaľovacia teplota

Po dosiahnutí zápalnej teploty (napr. pri dreve je to 300 – 600 °C) začne horľavina horieť a teplota rýchlo narastá. Pre drevo je pri nulových tepelných stratách maximálna (adiabatická) teplota okolo 1980 °C. Skutočná teplota sa pri spaľovaní paliva v spaľovacom zariadení pohybuje približne v rozsahu 650 až 1500 °C. Pri spaľovacom procese rozoznávame teoretickú a skutočnú teplotu v ohnisku. Teoretická teplota by sa dosiahla pri spaľovaní za podmienky, že všetko teplo uvoľnené dokonalým spálením paliva sa bez strát prevedie do plyných spalín.

2.4. Prebytok spaľovacieho vzduchu

Narastajúci prebytok spaľovacieho vzduchu na jednej strane prispieva k dokonalému vyhoreniu paliva, vďaka čomu sa zníži, prípadne úplne odstráni únik nevyhorenej prchavej horľaviny v spalínách (obr. 72). V konečnom dôsledku sa tým zvýši efektívnosť výroby tepla a zníži produkcia emisií. Na druhej strane, prebytok spaľovacieho vzduchu vedie k zvýšenému objemu produkovaných spalín a k poklesu teploty plameňa a teploty spalín. Nižšia teplota plameňa a spalín znižuje intenzitu prístupu tepla, a tým narastá tzv. komínová strata.



Obrázok 72: Vplyv prebytku spalovacieho vzduchu na proces spalovania (17) (20)

Každé spaľovacie zariadenie má svoj optimálny prebytok spalovacieho vzduchu, ktorý sa určuje z minimálneho súčtu komínovej tepelnej straty – tepelných strát závislých od prebytku spalovacieho vzduchu a tepelných strát chemickým nedopalom – strát spôsobených únikom prchavej horľaviny. Minimum súčtovej krivky tepelných strát zodpovedá optimálnemu prebytku spalovacieho vzduchu. Optimálny prebytok spalovacieho vzduchu je vo výraznej miere závislý od druhu paliva a spaľovacej teploty. S ohľadom na minimálnu produkciu emisií sa odporúča spaľovať palivo v malých automatických kotloch s prebytkom 1,5 – 2 a 2 – 4 pre kotly a kachle s ručným prikladaním, biomasu odporúčajú viacerí autori spaľovať pri prebytku v intervale 1,8 – 2,2, niektorí autori aj menej, napr. 1,6 – 2,0, ale najčastejšie je prebytok spalovacieho vzduchu okolo 2,0. (17) (20)

Podstatné je, aby konštrukcia spaľovacieho zariadenia zaistila prívod okysličovadla až k horľavine. Ďalším faktorom, ktorý rozhoduje o tom, či bude privedený dostatok spalovacieho vzduchu k horľavine a prebehnú reakcie horenia, je veľkosť častíc paliva (zrornosť). Nestačí len priviesť dostatočné množstvo spalovacieho vzduchu do ohniska, ale aj umožniť, aby kyslík zreagoval s palivom. Je preto potrebné spaľovací vzduch správne prerozdeliť na primárny a sekundárny (obvykle v pomere 1 : 2,5). (20)

Teplota spalovacieho vzduchu je väčšinou podstatne nižšia než teplota plameňa, ktorý tvorí horiacu prchavú horľavinu, zložená prevažne z uhľovodíkov a CO. To znamená, že ich premiešanie je z dôvodu rôznych viskozít problematické. Technicky sa uvedený problém zmierňuje predohrevom spalovacieho vzduchu v konštrukcii spaľovacieho priestoru, vyššou vstupnou rýchlosťou spalovacieho vzduchu a optimalizáciou jeho prúdenia. (17)

2.5. Účinnosť zdroja tepla

2.5.1 Účinnosť spaľovacích zariadení

Tepelná účinnosť spaľovacieho zariadenia (η) je pomer užitočného vyrobeného (využiteľného) tepla ($Q_{už}$) k dodanej energii (Q_d). Dodanú energiu do zariadenia tvoria chemická energia obsiahnutá v palive, tepelná energia vstupných prúdov a energia dodaná externým zdrojom.

$$\eta = \frac{Q_{už}}{Q_d}$$

Rozdiel medzi dodanou energiou (Q_d) a využitelnou energiou ($Q_{už}$) vyjadruje straty tepla.

Množstvo využitelnej energie vyrobené zariadením za jednotku času sa nazýva výkon zariadenia a množstvo dodanej energie za jednotku času sa nazýva príkon zariadenia. Teda účinnosť zariadenia môžeme definovať aj ako pomer výkonu zariadenia k jeho príkonu.

2.5.2. Účinnosť splyňovacích zariadení

Účinnosť splyňovacích zariadení sa udáva viacerými parametrami. Podiel energie obsiahnutej v ochladenom vyrobenom plyne k množstvu energie obsiahnutej v surovine sa nazýva účinnosť ochladeného plynu CGE (Cold Gas Efficiency).

$$CGE (\%) = \frac{LHV \text{ plynu (MJ.Nm}^{-3}\text{).podiel plynu (Nm}^3\text{.kg}^{-1}\text{)}}{LHV \text{ suroviny (MJ.kg}^{-1}\text{)}} \cdot 100$$

Ďalším parametrom vyjadrujúcim účinnosť splyňovania je tzv. účinnosť premeny uhlíka CCE (Carbon Conversion Efficiency). Je to podiel množstva uhlíka vo vyrobenom plyne k množstvu.

$$CGE (\%) = \frac{\text{uhlík v plyne (kg)}}{\text{uhlík v surovine (kg)}} \cdot 100$$

2.6. Rosný bod spalín

Rosný bod spalín predstavuje teplotu, pri ktorej vo vlhkých spalinách začne kondenzovať zmes pár vody (H_2O) a kyseliny sírovej (H_2SO_4). Pokiaľ v spalinách nie sú produkty spaľovania síry, je rosný bod rovný teplote sytej vodnej pary, zodpovedajúcej parciálnemu tlaku vodnej pary v plynných spalinách.

$$p_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_{spn}} \cdot p_{sp} \text{ (Pa)}$$

Teplota rosného bodu spalín zo spaľovania paliva závisí od absolútnej vlhkosti paliva, prebytku spaľovacieho vzduchu a koncentrácie CO_2 v spalinách. Čím je menšia koncentrácia CO_2 , tým nižšia je teplota rosného bodu spalín, pretože spaľovanie prebieha pri prebytku vzduchu, ktorý zrieduje produkty spaľovania horľaviny.

Pre zmes plynov s obsahom vodnej pary do 15 % by pri atmosférickom tlaku bol rosný bod pod 60 °C a materiál zariadenia by mohol byť narušený len bežnou kyslíkovou koróziou. Prítomnosť SO_3 v spalinách rosný bod (rosný bod H_2SO_4) podstatne zvyšuje a pri koncentráciách H_2O a H_2SO_4 , ktoré sa v spalinách vyskytujú, môže dochádzať ku kondenzácii už v pásme okolo 150 – 160 °C. Vylúčený kondenzát pôsobí v styku s oceľou a aj nekovovými materiálmi (betón, murivo, izolácia) veľmi agresívne. Nízkoteplotná korózia prebieha v teplotnej oblasti pod rosným bodom kyseliny sírovej, ale nad rosným bodom vodných pár. Pri spaľovaní tuhých palív sa teplota rosného bodu pohybuje od 40 do 70 °C.

2.7. Kontrola spaľovania a účinnosť

Aby bolo palivo ekonomicky spaľované, je potrebné priebeh spaľovania trvalo kontrolovať tak, aby spaľovanie prebiehalo pri optimálnom prebytku spaľovacieho vzduchu. Najjednoduchšie posúdenie spaľovacieho procesu sa uskutočňuje prostredníctvom farby spalín vystupujúcich z komína. Pri optimálnom spaľovaní je farba dymu zo spaľovania palív, najmä tuhých palív, biela až sivobiela. Čím sú spaliny tmavšie, tým obsahujú viac nespáleného uhlíka vo forme sadzí a dechtových látok.

Automatickým prikladaním paliva je možné zabezpečiť iba čiastočnú reguláciu výkonu. Preto sa regulácia výkonu realizuje v kombinácii reguláciou a prerozdelením spaľovacieho vzduchu. Okrem toho sa využíva optimalizácia spaľovania na základe aplikácie tzv. lambda sondy, ktorou sa meria prebytok vzduchu v spalinách, prostredníctvom analýzy množstva CO₂ a O₂ v spalinách. Regulácia spaľovania predstavuje dodatočnú regulačnú funkciu k regulácii výkonu a jej úlohou je zabezpečiť vysokú kvalitu spaľovania a vysokú účinnosť (20).

Účinnosť vo všeobecnosti udáva mieru využitia potenciálu čohokoľvek, čo je k dispozícii. V prípade spaľovania predstavuje pomer energie získanej a privedenej v palive. Energia je pri spaľovaní v automatických kotloch dodávaná rôznymi spôsobmi. Je preto nevyhnutné presne definovať, čo sa považuje za dodanú energiu:

- energia privedená palivom – predstavuje chemicky viazanú energiu danú výhrevnosťou a teplotou akumulovanú v palive, ktoré sa bežne neuvažuje;
- energia privedená spaľovacím vzduchom – obvykle nie je vzduch predhrievaný, a preto je nulová;
- pomocná energia – elektrická energia nevyhnutná na prevádzku súčastí kotla (podávač, ventilátor, automatické čistenie výmenníka a popolníka).

2.8. Proces spaľovania tuhého paliva

Proces spaľovania tuhého paliva, resp. uhlia, dreva atď. pozostáva zo štyroch hlavných fáz:

- Fáza 1: sušenie – palivo musí byť skladované v suchom priestore, v ktorom zdroj tepla vypúšťa vnútornú vlhkosť a suší sa. Relatívna vlhkosť má výrazný vplyv na množstvo produkovaných emisných látok (spaľovanie mokrého dreva spôsobuje až niekoľkonásobne väčšie množstvo v porovnaní so suchým, správne skladovaným drevom).
- Fáza 2: termický rozklad – počas termického rozkladu dochádza k premene zložiek dreva na sprievodné látky, počas ktorého sa uvoľňuje teplo. Prívodom primárneho vzduchu sa vypúšťajú horľavé plyny, ako sú CO, HCB (uhľovodíky – Hydrocarbons). Nastáva pri teplote 150 – 500 °C.
- Fáza 3: horenie prchavej horľaviny – pri fáze dochádza k spaľovaniu tzv. prchavých častí paliva v plameni, z čoho sa uvoľňujú spaliny ako napríklad CO pri teplotách približne 800 °C.
- Fáza 4: horenie tuhého zvyšku – pri poslednej fáze dochádza k horeniu uhlíka v neprchavej horľavine. Vytvorené kryštály uhlíka oxidujú pri teplotách 600 – 800 °C.

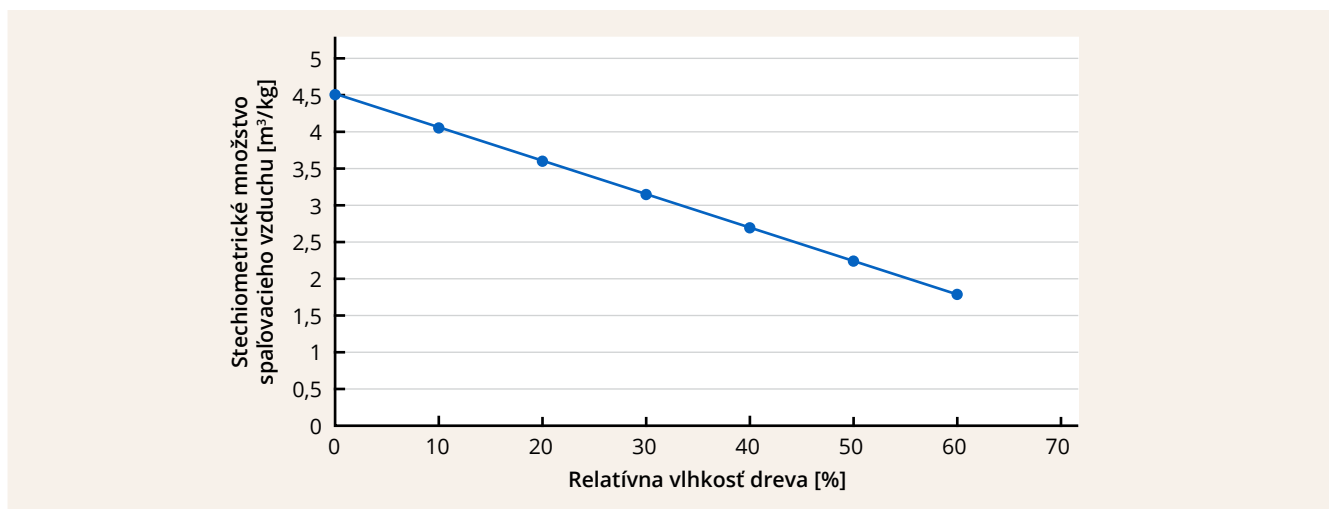
2.9. Stechiometrické množstvo spaľovacieho vzduchu

Stechiometrický výpočet spaľovania určuje množstvo spaľovacieho vzduchu (do kotla), pri ktorom dôjde k tzv. „dokonalému spaľovaniu paliva“, pri ktorom sa v priestore nenachádza voľný kyslík. Inými slovami, je dôležité určiť pomer paliva a vzduchu (po angl. známe ako Air-fuel ratio), pri ktorého množstve pracuje zariadenie s najväčšou tepelnou účinnosťou. Množstvo vzduchu potrebné na spaľovanie 1 kg paliva je možné určiť podľa vzťahu:

$$V_{vzs} = \frac{22,4}{0,21} \cdot \left[\frac{C^r}{12} + \frac{H^r}{4} + \frac{N^r}{28} - \frac{O^r}{32} \right]$$

*r popisuje pomerné hmotnostné zastúpenie látky

Jednoznačne má na spaľovací výpočet vplyv aj vlhkosť paliva (obr. 73).

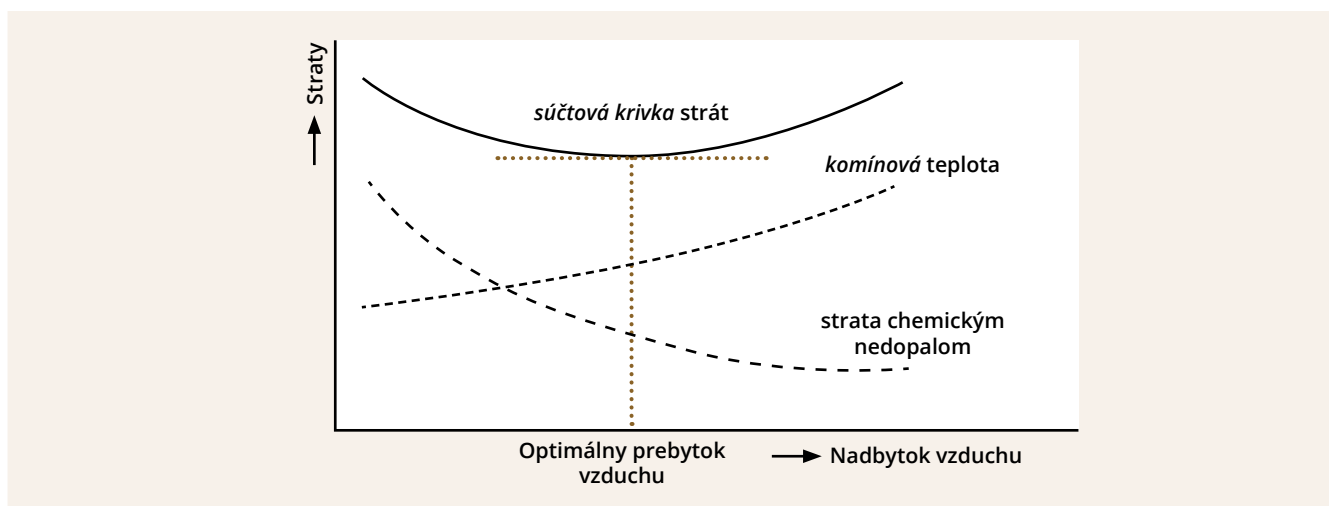


Obrázok 73: Stechiometrické množstvo spaľovacieho vzduchu v závislosti od vlhkosti paliva

Privedením teoretického množstva spaľovacieho vzduchu do kúrenísk tepelných zariadení sa zabezpečí homogénne spaľovanie paliva v celom priestore. Skutočné množstvo vzduchu je definované pomocou „pomery nadbytočného vzduchu“ λ .

- Ak $\lambda < 1$, dochádza k nekompletnému spaľovaniu paliva (nedostatok tepla).
- Ak $\lambda = 1$, dochádza k dokonalému spaľovaniu paliva bez nadbytočných tepelných strát (ideálny stav).
- Ak $\lambda > 1$, prispieva k dokonalému vyhoreniu paliva, zníži sa teplota plameňa a spalín.

Odporúčaná optimálna hodnota nadbytočného spaľovacieho vzduchu na minimálnu produkciu emisií je $\lambda = 2,1$.



Obrázok 74: Závislosť tepelných strát od prebytku vzduchu počas spaľovania

2.10. Výpočet tepelných strát, účinnosti a celkového tepelného výkonu zdroja tepla

Tepelné straty zdroja tepla sú jedným z dôležitých faktorov, ktoré ovplyvňujú to, koľko tepla je schopné vykurovacie zariadenie zužitkovať, a tým zvýšiť svoju účinnosť spaľovania.

Tepelné straty zdroja tepla je možné určiť z priemerných hodnôt teplôt spalín a miestnosti, zloženia spalín a horľavých zložiek v pevných zvyškoch spaľovania. Pri výpočte účinnosti je potrebné poznať hodnoty tepelných strát, ktoré pozostávajú z pomerných strát citelným teplom spalín (q_a), plynným nedopalom (q_b) a mechanickým nedopalom (q_r).

$$\eta = 100 - (q_a + q_b + q_r)$$

kde:

η	účinnosť	[%]
q_a	pomerná strata citelným teplom spalín (Q_a) vo vzťahu k výhrevnosti skúšobného paliva	[%]
q_b	pomerná strata plynným nedopalom (Q_b) vo vzťahu k výhrevnosti skúšobného paliva	[%]
q_r	pomerná strata mechanickým nedopalom (Q_r) vo vzťahu k výhrevnosti skúšobného paliva	[%]

Výpočet pomerných strát citelným teplom spalín (q_a) sa uskutoční podľa nasledujúcich vzťahov:

$$Q_a = (t_a - t_r) \cdot \left[\left[C_{pmd} \cdot (C - C_r) \right] / \left[0,536 \cdot (CO + CO_2) \right] \right] + \left[C_{pmH_2O} \cdot 1,92 \cdot (9H + W) / 100 \right]$$

$$q_a = \frac{100 \cdot Q_a}{H_u}$$

Q_a	straty citelným teplom spalín vo vzťahu k hmotnosti paliva	[kJ.kg ⁻¹]
t_a	teplota spalín	[°C]
t_r	teplota miestnosti	[°C]
C_{pmd}	stredná merná tepelná kapacita suchých spalín pri porovnávacích podmienkach v závislosti od teploty a zloženia spalín	[kJ.K ⁻¹ m ⁻³]
C	hmotnostný podiel uhlíka v skúšobnom palive	[%]
C_r	redukovaný hmotnostný podiel uhlíka v pevných zvyškoch spaľovania prepadnutých roštom v závislosti od množstva spáleného skúšobného paliva ($C_r = R \cdot b \cdot 0,01$)	[%]
CO	objemová koncentrácia oxidu uhľnatého v suchých spalinách	[%]
CO_2	objemová koncentrácia oxidu uhličitého v suchých spalinách	[%]
C_{pmH_2O}	stredná merná tepelná kapacita vodnej pary pri porovnávacích podmienkach v závislosti od teploty	[kJ.K ⁻¹ m ⁻³]
H	hmotnostný podiel vodíka v skúšobnom palive	[%]
W	hmotnostný podiel vody v skúšobnom palive	[%]
H_u	výhrevnosť skúšobného paliva	[kJ.kg ⁻¹]

Výpočet pomerných strát plynným nedopalom (q_b) sa uskutoční podľa nasledujúcich vzorcov:

$$Q_b = \frac{12\,644 \cdot CO \cdot (C - C_r)}{5,536 \cdot (CO_2 + CO) \cdot 100}$$

$$q_b = \frac{100 \cdot Q_b}{H}$$

kde:

Q_b	straty plynným nedopalom vo vzťahu k hmotnosti skúšobného paliva	[kJ.kg ⁻¹]
-------	--	------------------------

Výpočet pomerných strát mechanickým nedopalom (q_r) sa uskutoční podľa nasledujúcich vzorcov:

$$Q_r = \frac{335 \cdot b \cdot R}{100}$$

$$q_r = \frac{100 \cdot Q_r}{H_u}$$

kde:

Q_r	straty mechanickým nedopalom vo vzťahu k hmotnosti skúšobného paliva	[kJ.kg ⁻¹]
b	hmotnostný podiel spáliteľných zložiek v pevných zvyškoch spaľovania vo vzťahu k ich hmotnosti	[%]
R	hmotnostný podiel pevných zvyškov spaľovania prepadaných roštom vo vzťahu k hmotnosti spáleného skúšobného paliva	[%]

Celkový tepelný výkon sa vypočíta z hmotnosti paliva spáleného za hodinu, z výhrevnosti paliva a z účinnosti podľa nasledujúceho vzorca:

$$P = \frac{H_u \cdot B \cdot \eta}{100}$$

kde:

B	hmotnostný tok skúšobného paliva	[kg.h ⁻¹]
P	celkový tepelný výkon	[kW]

2.11. Množstvo spotrebovaného vzduchu

Zo známeho chemického zloženia sa podľa nasledujúceho vzťahu vypočíta objem normovaného spaľovacieho vzduchu pri normálnych stavových podmienkach:

$$V_{vzs}^s = \frac{\lambda_{opt}}{0,21} \left[1,867 \frac{C_{daf}^{daf}}{100} + 5,6 \frac{H_{daf}^{daf}}{100} + 0,8 \frac{N_{daf}^{daf}}{100} - 0,7 \frac{O_{daf}^{daf}}{100} \right] \cdot \left[\frac{100 - A_r - W_r}{100} \right]$$

V_{vzs}^s	objem normovaného spaľovacieho vzduchu pri normálnych stavových podmienkach	[m ³ .kg ⁻¹]
λ_{opt}	optimálna hodnota súčiniteľa prebytku vzduchu	[-]
C_{daf}^{daf}	pomerné hmotnostné zastúpenie uhlíka v horľavine	[kg.kg ⁻¹]
H_{daf}^{daf}	pomerné hmotnostné zastúpenie vodíka v horľavine	[kg.kg ⁻¹]
O_{daf}^{daf}	pomerné hmotnostné zastúpenie kyslíka v horľavine	[kg.kg ⁻¹]
N_{daf}^{daf}	pomerné hmotnostné zastúpenie dusíka v horľavine	[kg.kg ⁻¹]
A_r	pomerné hmotnostné zastúpenie popolovín v palive	[kg.kg ⁻¹]
W_r	relatívna vlhkosť paliva	[kg.kg ⁻¹]

Výpočtom podľa predošlého vzťahu dostávame objem vzduchu potrebný pri normálnych stavových podmienkach. Normálne stavové podmienky sú teplota 0 °C a tlak 101,325 kPa.

Prepočet normovaného objemu spaľovacieho vzduchu V_{vzs}^s na skutočný objem privádzaného vzduchu do kúreniska V_{vz} pri teplote t_{pv} a tlaku p_{pv} sa prepočítava na základe vzťahu:

$$V_{vz} = V_{vzs}^s \cdot \frac{273,15 + t_{pv}}{273,15} \cdot \frac{101\,325}{p_{pv}}$$

V_{vz}	skutočný objem privádzaného vzduchu do kúreniska	[m ³ .kg ⁻¹]
V_{vzs}^s	objem normovaného spaľovacieho vzduchu pri normálnych stavových podmienkach	[m ³ .kg ⁻¹]
t_{pv}	teplota privádzaného vzduchu do kúreniska	[°C]
p_{pv}	tlak privádzaného vzduchu do kúreniska	[Pa]

Skutočný objem privádzaného vzduchu do kúreniska je vzťahnutý na hmotnosť 1 kg paliva. Prepočet na skutočný objem vzduchu privádzaného do kúreniska na spaľovanú hmotnosť paliva sa vykoná na základe vzťahu:

$$V_{vzm} = V_{vz} \cdot B_{fl}$$

V_{vzm}	objem vzduchu potrebný na spaľovanú hmotnosť paliva	[m ³]
V_{vz}	skutočný objem privádzaného vzduchu do kúreniska	[m ³ .kg ⁻¹]
B_{fl}	hmotnosť paliva pred spaľovaním	[kg]

2.12. Hmotnosť paliva

Hmotnosť paliva je možné určiť na základe výpočtu podľa nasledujúceho vzorca:

$$B_{\text{pl}} = \frac{360\,000 \cdot P_n \cdot \tau_b}{100}$$

kde:

B_{pl}	hmotnosť dodaného paliva	[kg]
H_u	výhrevnosť skúšobného paliva	[kJ.kg ⁻¹]
η	najmenšia účinnosť stanovená normou alebo výrobcom	[%]
P_n	menovitý tepelný výkon	[kW]
τ_b	najkratší interval dodávky paliva	[hod]

2.13. Výhrevnosť palív

Výhrevnosť je veličina vyjadrujúca, aké množstvo tepla sa uvoľní spálením jednotkového množstva látky alebo zmesi pri tlaku 101,325 kPa. Rozlišujeme:

1. Horná výhrevnosť sa nazýva aj spalovacím teplom (používané značky ΔH_c , H_s , Q_v , Q_c , HHV), vyjadruje uvoľnenú energiu z paliva pri spaľovaní v adiabatických podmienkach za predpokladu, že sa výsledné produkty spaľovania ochladia na pôvodnú teplotu suroviny a voda obsiahnutá v spalinách je v kvapalnom stave.
2. Dolná výhrevnosť sa nazýva aj výhrevnosť (používané značky H_p , Q_n , LHV), ide o výhrevnosť, ktorá zahŕňa uvoľnenú energiu z paliva pri spaľovaní v adiabatických podmienkach za predpokladu, že sa výsledné produkty spaľovania ochladia na pôvodnú teplotu suroviny a voda obsiahnutá v spalinách je v plynnom stave.

Výstupné produkty spaľovania sú zvyčajne v plynnom skupenstve. Ak technické zariadenie nie je vybavené kondenzačným systémom, rozdiel energií medzi dolnou a hornou výhrevnosťou zostáva v odchádzajúcich spalinách. Preto má pri porovnávaní palív väčší význam dolná výhrevnosť.

Výhrevnosť sa udáva v jednotkách podielu energie a množstva palív. V prípade tuhých palív sa výhrevnosť najčastejšie udáva MJ/kg. Napríklad uhlie má výhrevnosť okolo 20 – 30 MJ/kg, biomasu 8 – 18 MJ/kg, plasty okolo 30 MJ/kg, tuhé alternatívne palivo (TAP) 15 – 22 MJ/kg a podobne. V prípade kvapalných palív sa takisto často používa jednotka MJ/kg (benzín okolo 43 MJ/kg, nafta okolo 42 MJ/kg) atď. Ak ide o jednozložkové palivá, používa sa aj jednotka J/mol, kJ/kmol alebo kJ/mol, napr. horná výhrevnosť etanolu je 1367 kJ/mol, metanolu 726 kJ/mol, oktánu 5075 kJ/mol a podobne. Pri plynných palivách sa tiež používajú jednotky MJ/kg, kJ/mol, ale pre zmesné plyny sa najčastejšie používa jednotka MJ/Nm³ alebo kWh/Nm³, teda množstvo energie obsiahnutej v jednom metri kubickom plynu pri štandardných stavových podmienkach (0 °C, 101,3 kPa). Napríklad zemný plyn má hornú výhrevnosť v rozsahu 36 – 48 MJ/Nm³. Prepočet MJ/Nm³ na kWh/Nm³ sa realizuje delením 3,6, pretože 1 [kWh/Nm³] = 1000/3600 [MJ/Nm³]. Teda pre zemný plyn vychádza výhrevnosť 10 – 13 kWh/Nm³.

2.14. Prepočty jednotiek energie

Jednotka energie v SI sústave je joule [J]. V praxi sa však často používajú aj rôzne iné jednotky, a to jednak násobky základnej jednotky kilojoule [kJ], megajoule [MJ], gigajoule [GJ] a podobne a jednak iné jednotky ako kilowatthodina [kWh], kilokalória [kcal] a iné. Nižšie sú uvedené prepočty najčastejšie používaných jednotiek:

1 kilojoule [kJ]	= 1 000 joulov [J]
1 kilowatthodina [kWh]	= 3 600 kilojoulov [kJ]

1 watthodina [Wh]	= 3 600 joulov [J]
1 kalória (cal)	= 4,184 joulu [J]
1 kilokalória (kcal)	= 4 184 joulov [J]
1 British thermal unit [Btu]	= 1 055,05585262 joulu [J]
1 gigajoule [GJ]	= 10 ⁹ joulov [J] = 10 ⁶ kilojoulov [kJ] = 1 000 megajoulov [MJ]
1 elektrónvolt [eV]	= 1,60217733·10 ⁻¹⁹ joulu [J]
1 gigawatthodina [GWh]	= 3 600·10 ⁹ joulov [J] = 3 600·10 ⁶ [kJ] = 3 600·10 ³ [MJ]
1 wattsekunda [Ws]	= 1 joule [J]
1 Newton meter [Nm]	= 1 joule [J]

2.15. Prepočty jednotiek výkonu

Jednotka výkonu v sústave SI je watt [W], ktorá je 1 [J/s] (joule/sekunda).

1 kilowatt [kW]	= 1 kilojoule/sekunda [kJ/s]
1 megawatt [MW]	= 1 [MJ/s] = 1000 [kJ/s] = 3600 [MJ/h] = 36·10 ⁵ [kJ/h]
1 kilowatt [kW]	= 1 kilowatt hodina/hodina [kWh/h], pozor na rozdiel medzi kilowatt hodinou [kWh] a [kW], [kWh] je jednotkou energie, je to 1 [kJ/s]*3600 [s], ale [kW] je jednotkou výkonu, je to [kJ/s]
1 gigawatt [GW]	= 1000 megawattov [MW] = 10 ⁶ kW = 10 ⁹ [W]
1 gigawatt [MW]	= 1 [GJ/s] = 3600 [GJ/h]

2.16. Spôsoby výpočtu množstva emisií

Množstvo emisií zo stacionárnych zdrojov v oblasti energetiky sa môže vypočítať v súlade s prílohou č. 2 dokumentu NEIS V2009, ktorý je verejne dostupný na stránke MŽP SR. (SPIRIT, a. s., MŽP SR, SHMÚ, NEIS V2009, december 2008)

1. Kontinuálne meranie

2. Podľa koncentrácie ZL a objemu spalín

$$E [t] = (1 - \eta/100) \cdot c [mg/m^3] \cdot V [tis.m^3] \cdot 10^{-6}$$

1. Podľa hmotnostného toku a počtu prevádzkových hodín

$$E [t] = (1 - \eta/100) \cdot q [kg/hod] \cdot t [hod] \cdot 10^{-3}$$

2. Podľa emisného faktora a množstva paliva

$$E [t] = (1 - \eta/100) \cdot EF [kg/t] \cdot M [t] \cdot 10^{-3}$$

$$E [t] = (1 - \eta/100) \cdot EF [kg/tis.m^3] \cdot M [tis.m^3] \cdot 10^{-6}$$

3. Podľa emisného faktora a množstva vzťahovej veličiny inej ako palivo

$$E [t] = (1 - \eta/100) \cdot EF [kg/GJ] \cdot Vzt. vel. [GJ] \cdot 10^{-3}$$

$$E [t] = (1 - \eta/100) \cdot EF [kg/kWh] \cdot Vzt. vel. [kWh] \cdot 10^{-3}$$

4. Podľa EF vzťahnutého k obsahu ZL v palive a množstva paliva

$$E [t] = (1 - \eta/100) \cdot EF [kg/t] \cdot ZL[\%] \cdot M [t] \cdot 10^{-3}$$

$$E [t] = (1 - \eta/100) \cdot EF [kg/mil.m^3] \cdot ZL[\%] \cdot M [tis.m^3] \cdot 10^{-6}$$

$$E [t] = (1 - \eta/100) \cdot EF [kg/t] \cdot ZL[mg/kg] \cdot M [t] \cdot 10^{-9}$$

$$E [t] = (1 - \eta/100) \cdot EF [kg/mil.m^3] \cdot ZL[mg/kg] \cdot M [tis.m^3] \cdot 10^{-12}$$

3. Podľa obsahu popola, síry, príp. inej látky v sušine a EF vzťahnutého k obsahu ZL v palive a množstva paliva

$$E [t] = (1 - \eta/100) \cdot EF [kg/t] \cdot ZL[\%v suš.] \cdot (1 - W/100) \cdot M [t] \cdot 10^{-3}$$

4. Podľa emisného faktora vzťahnutého k výhrevnosti

$$E [t] = (1 - \eta/100) \cdot EF [kg/GJ] \cdot VYH [GJ/t] \cdot M [t] \cdot 10^{-3}$$

$$E [t] = (1 - \eta/100) \cdot EF [kg/GJ] \cdot VYH [GJ/tis.m^3] \cdot M [tis.m^3] \cdot 10^{-6}$$

5. Podľa EF vzťahnutého k obsahu ZL v palive a k výhrevnosti a množstva paliva

$$E [t] = (1 - \eta/100) \cdot EF [kg/GJ] \cdot ZL [\%] \cdot VYH [GJ/t] \cdot M [t] \cdot 10^{-3}$$

$$E [t] = (1 - \eta/100) \cdot EF [kg/GJ] \cdot ZL [\%] \cdot VYH [GJ/tis.m^3] \cdot M [tis.m^3] \cdot 10^{-6}$$

$$E [t] = (1 - \eta/100) \cdot EF [kg/GJ] \cdot ZL [mg/kg] \cdot VYH [GJ/t] \cdot M [t] \cdot 10^{-9}$$

$$E [t] = (1 - \eta/100) \cdot EF [kg/GJ] \cdot ZL [mg/kg] \cdot VYH [GJ/tis.m^3] \cdot M [tis.m^3] \cdot 10^{-12}$$

6. Podľa obsahu popola a síry v sušine a EF vzťahnutého k obsahu ZL v palive a k výhrevnosti a množstva paliva

$$E [t] = (1 - \eta/100) \cdot EF [kg/GJ] \cdot ZL [\% \text{ v suš.}] \cdot (1 - W/100) \cdot VYH [GJ/t] \cdot M [t] \cdot 10^{-3}$$

3. ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

1. frontiersin. Transportation Policies and Technologies for Vehicle Emission Reduction and Energy Efficiency. [Online] 14. 10. 2022 [Dátum: 21. 9. 2022] <https://www.frontiersin.org/research-topics/32999/transportation-policies-and-technologies-for-vehicle-emission-reduction-and-energy-efficiency>.
2. Emissions and energy use in large combustion plants in Europe. s.l.: European Union, 2022.
3. JANDAČKA, J. MIKULÍK, M. Technológie pre zvyšovanie energetického potenciálu biomasy. Žilina : EDIS, 2007. ISBN 978-80-969595-4-9.
4. Ing. Alexander Čaja, PhD. , doc. Ing. Andrej Kapjor, PhD., Ing. Ján Tuhovčák, Ph.D. , Ing. Jiří Hejčík, Ph.D. Chladiace obehly a tepelné čerpadlá. [Online] 2020. [Dátum: 14. 10. 2022] http://ket.uniza.sk/images/fotogaleria/projekty/dokumenty/02_Chladiace-obehly-a-tepelne-Cerpadla_skripta_29.1.2020.pdf.
5. Sensoneo. Global Waste Index 2019. [Online] [Dátum: 1. 9. 2022] <https://sensoneo.com/global-waste-index-2019/>.
6. aipalmall.com. [Online] [Dátum: 14. 10. 2022] https://www.aipalmall.com/mobile/goods/goods_info/goods_id/12.html.
7. encyklopediapoznania.sk. Rozvodná elektrická sieť. [Online] [Dátum: 15. 9. 2022] <https://encyklopediapoznania.sk/clanok/8369/rozvodna-elektricka-siet>.
8. EKOFOND plus. Energetické opatrenia. [Online] 2022. <http://platforma.ekofondplus.sk/>.
9. Malcho, M., Jandačka, J., Patsch, M. Využitie mikrokogenerácie pre energeticky a technologicky vyspelé budovy. [Online] 2014. [Dátum: 21. 9. 2022] http://www.enef.eu/pdf/2014_52.pdf.
10. Netradičné zdroje energie. [Online] [Dátum: 14. 10. 2022] <http://158.193.216.40/kvesnew/dokumenty/ELEKTROENERGETIKA/ELEN2007/EENERGETIKA/La-33.htm>.
11. Combustion plasma electrical conductivity model development for oxy-fuel MHD applications. Woodside, Clinton Bedick Lauren Kolczynski C. Rigel Woodside C. Rigel. 10, s.l.: Combustion and Flame, 2017, Zv. 181.
12. Participation du CEA à JET. [Online] [Dátum: 12. 10. 2022] <http://www.fusion-magnetique.cea.fr/cea/jet/jet.htm>.
13. NVAŠ. Všetko o vodíku. [Online] 2019. [Dátum: 14. 10. 2022] <https://nvas.sk/o-vodiku/>.
14. Výroba a použitie vodíku. [Online] [Dátum: 12. 10. 2022] https://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/VODIK_vyroba_a_pouziti.pdf.
15. David Andrews, Anna Krook-Riekkola, Anna Krook-Riekkola, Evangelos Tzimas, Ioulia Papaioannou. Background Report on EU-27 District Heating and Cooling Potentials, Barriers, Best Practice and Measures of Promotion. s.l.: Joint Research Centre, 2012.
16. MALCHO, M. – GAVLAS, S. – PAPUČÍK, Š. – KADUCHOVÁ, K. Spätne získavanie tepla z technologických procesov. ŽU – Žilina: EDIS-vydavateľské centrum, 2018. ISBN 978-80-554-1415-7.
17. JANDAČKA, J., PAPUČÍK, Š., NOSEK, R., HOLUBČÍK, M., KAPJOR, A. Environmentálne a energetické aspekty spaľovania biomasy. Žilina: Juraj Štefúň – GEORG, 2011. ISBN 978-80-89401-40-6.

18. M., Holubčík. Možnosti zefektívnenia využívania energie tuhých palív v malých zdrojoch tepla. s.l.: Žilinská univerzita v Žiline, 2018.
19. arcakotle.sk. [Online] [Dátum: 14. 9. 2022] <http://www.arcakotle.sk/kotol-aspiro.xhtml>.
20. Dzurenda L., Jandačka J. Energetické využitie dendromasy. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2010. 978-80-228-2082-0.
21. Svet Kotlov s.r.o. Tuhé palivo. [Online] 2020. [Dátum: 14. 10. 2022] www.svetkotlov.sk.
22. LULKOVIČOVÁ, O. a kol. Zdroje tepla a domové kotolne. Bratislava : Jaga group, s.r.o., 2004. ISBN 80-8076-001-2 .
23. Hoval. [Online] [Dátum: 10. 10. 2022] https://pdf.archiexpo.it/pdf/hoval-italia/uno-3/66161-64121-_3.html.
24. Ohrievacia technika s.r.o. profesionálny partner pre kúrenie. [Online] 2022. [Dátum: 14. 10. 2022] www.tabulky.sk.
25. SPP. Plynové turbínové čerpadlo. [Online] 2022. [Dátum: 14. 10. 2022] www.spp.sk.
26. Gurbakhash Bhandar, Wojciech Jozewicz. Analysis of emission reduction strategies for power boilers in the US pulp and paper industry. Energy Emiss Control Technol. 4. 8. 2017, s. 27-37.
27. YAPING YANG. CN102537945A Burning system and flue gas system for circulating fluidized bed boiler. F23C10/18;. [Online] 2012. [Dátum: 04. 10. 2022] <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/046345512/publication/CN102537945A?q=pn%3DCN102537945A>.
28. Žilina, Žilinská univerzita v. Viacpalivový rotačný horák so zvýšenou samočistiacou funkciou a spôsob jeho čistenia . 8272 2021. Úžitkový vzor.
29. Process Efficiency Ultra Low NOx Gas Burner For Heating Boiler , Power Customized. [Online] 2022. [Dátum: 14. 9. 2022] <https://www.elevatedflaresystem.com/sale-10888294-process-efficiency-ultra-low-nox-gas-burner-for-heating-boiler-power-customized.html>.
30. K., Sulovcová. Zníženie emisie tuhých častíc optimalizáciou spalínového traktu v malých zdrojoch tepla. s.l. : Žilinská univerzita v Žiline, 2015.
31. Žilina, Žilinská univerzita v. Kozubové priečky na redukciu úletu tuhých znečisťujúcich látok . 9501 2022. úžitkový vzor .
32. Komínový odlučovač v tvare písmena U. 9611 2022. úžitkový vzor.
33. Komínový filter so zvýšenou účinnosťou. 9138 2021. úžitkový vzor.
34. Pavel, Ondříšek. Optimalizátor ťahu komína. 7798 2017. úžitkový vzor.
35. Košiciach, Technická univerzita v. Komínový výmenník tepla spalínových plynov. 8590 2019. úžitkový vzor.
36. boiler efficiency improvement. [Online] [Dátum: 8. 10. 2022] <http://cleanboiler.org/learn-about/boiler-efficiency-improvement/efficiency-index/turbulators/>.
37. Insulation of Boiler to Save Energy. Mehmet Ali Topçu, Aydın Rusen. 2016.
38. Flue Gas Desulfurization Systems: Scrubbers. [Online] [Dátum: 5. 10. 2022] <https://www.howden.com/en-gb/articles/flue-gas-desulfurization-acid-rain>.
39. DUSTEXTM DRY SORBENT INJECTION (DSI) SYSTEM. [Online] [Dátum: 2. 10. 2022] <https://www.ldxsolutions.com/dry-sorbent-injection-dsi-system/>.

40. Chapter Three – Key technologies for ultra-low emissions from coal-fired power plants. Carlos E.Romero, Xingchao Wang. s.l. : Science Direct, 2019, Zv. 1.
41. Direct, Science. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/fabric-filter>. [Online] 2022. [Dátum: 24. 9. 2022] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/fabric-filter>.
42. EU. Nariadenie komií č. 440/2008. [Online] 2022. [Dátum: 10. 10. 2022] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/HTML/?uri=CELEX:02008R0440-20170518&from=PL>.
43. Ladislav, Závodský. Technológie na zníženie obsahu emisií vo výfukových plynch. RNO. [Online] 19. 10 2021. [Dátum: 28. 8. 2022] <https://rno.sk/technologie-na-znizenie-obsahu-emisii-vo-vyfukovych-plynoch/>.
44. Mitsubishi. Selective Catalytic Reduction (SCR) System. Power. [Online] Mitsubishi Power, 2022. [Dátum: 24. 8. 2022] <https://power.mhi.com/products/aqcs/lineup/flue-gas-denitration>.
45. Climate Change Connection. CO₂ equivalents. climatechangeconnection.org. [Online] 2022. [Dátum: 04. 9. 2022] <https://climatechangeconnection.org/emissions/co2-equivalents/>.
46. Francisco Posada, Sarah Chambliss, and Kate Blumberg. Costs of emission reduction technologies for heavy-duty diesel vehicles. The international council on clean transportation. 2016.
47. Waste heat recovery technologies and applications. Jouhara, Hussam, a iní. 1, s.l.: Elsevier, 2018, Thermal Science and Engineering Progress, Zv. 6, s. 268 – 269.
48. Aerzen. SPÄTNÉ ZÍSKAVANIE TEPLA. [Online] 2022. [Dátum: 28. 9. 2022] <https://www.aerzen.com/sk/aplikacie/uprava-vody-a-cistenie-odpadovej-vody/vykon-odpadovych-vod/spaetne-ziskavanie-tepla.html>.
49. GE. GE 7F gas turbine. [Online] 2022. [Dátum: 14. 10. 2022] <https://www.ge.com/gas-power/products/gas-turbines/7f>.
50. engineeringlearn. Gas Turbine Components and Principle. [Online] 2022. [Dátum: 23. 9. 2022] <https://engineeringlearn.com/gas-turbine-components-and-principle/>.
51. Combined Heat and Power Technology Fact Sheet Series. Gas Turbines. 2022.
52. o., EKOL spol. s r. Kruhový horák pre spaľovacie turbíny s nízkymi emisiami škodlivín . 5733 2011. úžitkový vzor.
53. Gas Turbine Emissions. [Online] [Dátum: 10. 10. 2022] https://www.ge.com/content/dam/gepower-new/global/en_US/downloads/gas-new-site/resources/reference/ger-4211-gas-turbine-emissions-and-control.pdf.
54. Aerospacenotes. Gas Turbines. [Online] 2022. [Dátum: 10. 9. 2022] <https://aerospacenotes.com/propulsion-1/gas-turbine/>.
55. EKOL, spol. s r. o. Zariadenie na regeneráciu tepla pri spaľovacích turbínach . 2988 2001. úžitkový vzor.
56. Reiz, Severin Maximilian. Water Injection in Gas Turbines – Kinetic Modeling with Cantera. [Bachelor thesis] Munich: Technische Universität München, 2015.
57. Pokročile technologie spalovania motorov. [Online] [Dátum: 14. 10. 2022] <https://www.engineering.sk/clanky2/automobilovy-priemysel/23623-pokrocile-technologie-spalovania-motorov>.
58. Numerical simulation of SNCR (selective non-catalytic reduction) process in coal fired grate boiler. NorbertModliński. 1, s.l.: ScienceDirect, 2015, Energy, Zv. 92 Part 1.

59. Numerical study of the combustion and application of SNCR for NO_x reduction in a lab-scale biomass boiler. Seyed Morteza Mousavi, Hesameddin Fatehi, Xue-Song Bai. s.l.: ScienceDirect, 1. 6. 2021, Zv. 293.
60. fsolutions. Power Plant NO_x Reduction – SCR vs SNCR Technology Which is better? DXP. [Online] 20. 12. 2018. [Dátum: 07. 9. 2022] <https://ifsolutions.com/power-plant-nox-reduction-scr-vs-sncr/>.
61. Agroinštitút Nitra. Technológie na zníženie obsahu emisií vo výfukových plynoch. <http://agroporadenstvo.sk/>. [Online] 22. 11. 2021. [Dátum: 25. 8. 2022] <http://agroporadenstvo.sk/index.php?pl=101&article=2383&start>.
62. Hannu Jääskeläinen, Magdi K. Khair. Exhaust Gas Recirculation. Diesel Net. 1, 05 2022, Zv. 1, 1.
63. Dynamic simulation of MEA absorption process for CO₂ capture from power plants. Noorlisa Harun, Thanita Nittaya, Peter L. Douglas, Eric Croiset, Luis A. Ricardez-Sandoval. 1, Waterloo: Elsevier, 9 2012, International Journal of Greenhouse Gas Control, Zv. 10. ISSN 1750-5836.
64. Analysis of Mass Flows and Membrane Cross-over in CO₂ Reduction at High Current Densities in an MEA-Type Electrolyzer. [Online] [Dátum: 5. 10 2022.] <https://v-sustain.dtu.dk/publications/nyhed?id=d2f16b88-5d5b-41ee-9f5d-ed83df9371f9>.
65. Vorteile im Vergleich mit bisher bekannten Konzepten. [Online] [Dátum: 12. 10. 2022] <https://www.stirling.ch/vorteile/>.
66. Nové spôsoby premeny tepla z obnoviteľných zdrojov energie na elektrickú energiu. Nosek, R., Jandačka, J., Ďurčanský, P., Holubčík, M., Gavlas, S. 1, s.l.: Životné prostredie, 2015, Zv. 49.
67. Our World In Data. CO₂ emissions. [Online] 2022. [Dátum: 5. 10. 2022] <https://ourworldindata.org/co2-emissions>.
68. Our World in Data. CO₂ and green house gas emissions. [Online] 2022. [Dátum: 06. 10 2022.] <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>.
69. Policies for increasing the share of biomass in energy production. Nely Georgieva, Darina Zaimova. s.l.: International Conference on Technics Technologies and Education, 2019.
70. wasser-abwasser-technik. Wärmerückgewinnung als Teil des Gebläsesystems. [Online] wasser-abwasser-technik., 16. 9. 2017. [Dátum: 29. 9. 2022] <https://wasser-abwasser-technik.com/waermerueckgewinnung-als-teil-des-geblaesesystems/>.
71. ŠUSR. ŠUSR – Dáta. [Online] https://slovak.statistics.sk/wps/portal/ext/home/!ut/p/z1/04_Sj-9CPykssy0xPLMnMz0vMAfljo8ziA809LZycDB0NLPyCXA08QxwD3IO8TAwNTEz1wwkpiAJ-KG-AAjgZA_VFgJc7ujh4m5j4GBhY-7qYGno4eoUGWgcbGBo7GUAV4zCjIjTDIdFRUBADse0bP/dz/d5/L2dBIS9nQSEh/.
72. ÚRSO. Aktuálna analýza regulovaných cien energií – ÚRSO uvádza navrhované a pripravované možnosti minimalizácie dopadov zdražovania na odberateľov. [Online] 2022. [Dátum: 14. 10. 2022] <https://www.urso.gov.sk/aktualna-analyza-regulovanych-cien-energiei-urso-uvadza-navrhovane-a-pripravovane-moznosti-minimalizacie-dopadov-zdrazovania-na-odberatelov/>.
73. Energie-portal. [Online] [Dátum: 10. 12. 2022] https://www.energie-portal.sk/files/Priloha2/instal_vykon_2020.jpg.

ISBN: 978-80-8213-114-0



9 788082 131140

Aktivita je realizovaná v rámci národného projektu

Zlepšovanie informovanosti a poskytovanie poradenstva v oblasti zlepšovania kvality životného prostredia na Slovensku.
Projekt je spolufinancovaný z Kohézneho fondu v rámci Operačného programu Kvalita životného prostredia.