



INTERREG V-A
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA
SPOLOČNE BEZ HRANÍC

doc. Ing. Michal Holubčík, PhD.
prof. Ing. Radovan Nosek, PhD.
Ing. Patrik Nemeč, PhD.

Inovatívne riešenia pre zdroje tepla

Vytvorené v rámci projektu „Inovace pro zdroje energie“ (INOZE) č. 304011Y352, ktorý je realizovaný v rámci Operačného programu INTERREG V-A Slovenská republika – Česká republika, ktorý je spolufinancovaný z Európskeho fondu pre regionálny rozvoj.



INTERREG V-A
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA
SPOLOČNE BEZ HRANÍC

Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore projektu „Inovace pro zdroje energie“ (INOZE) č. 304011Y352, ktorý je realizovaný v rámci Operačného programu INTERREG V-A Slovenská republika – Česká republika.

© M. Holubčík, R. Nosek, P. Nemeč, 2022

Recenzenti: prof. Ing. Peter Tauš, PhD.
dr hab. inž. Łukasz Orman
doc. Ing. Andrej Kapjor, PhD.

Za odbornú, jazykovú a technickú úroveň publikácie zodpovedajú autori.
Uvedené informácie nie sú stanoviskom Európskej únie.

Vydavateľ: EQUILIBRIA, s.r.o.

ISBN 978-80-8143-316-0

PREDSLOV

Vážení čitatelia,

Predložená publikácia *Inovatívne riešenia pre zdroje tepla* je vedeckou monografiou, ktorá podáva podrobné informácie o možnostiach zefektívnenia prevádzkovania zdrojov tepla, najmä malých zdrojov tepla na tuhé palivá. Táto publikácia vznikla na základe dlhodobej vedeckovýskumnej činnosti v oblasti zdrojov tepla na Katedre energetickej techniky, Strojníckej fakulty, Žilinskej univerzity v Žiline.

Predkladané vedecké dielo pojednáva o rôznych typoch zdrojov tepla, ich vlastnostiach, používaných technológiách a moderných systémoch. Nosnou časťou monografie je analýza rôznych vplyvov na výkonové a emisné parametre zdrojov tepla pri ich prevádzkovaní v rôznych stavoch, po rôznych konštrukčných úpravách a nastaveniach, ktoré ovplyvňujú spaľovací proces.

Uvedené analýzy sú realizované na základe veľmi veľkého množstva experimentálnych meraní, ktoré boli uskutočnené jednak na lokálnych, ako aj na centrálnych zdrojoch tepla, v zmysle príslušných noriem. Z predkladaných analýz a výsledkov experimentálnych meraní vyplýva jedinečnosť tejto publikácie, ktorá predostiera nové pohľady na procesy počas transformácie energie z chemickej formy energie na teplo s čo najvyššou efektivitou a s minimalizáciou negatívneho dopadu na životné prostredie. Táto publikácia je určená predovšetkým vedcom a odborníkom z oblasti zdrojov tepla.

Autori ďakujú za podporu Operačnému programu INTERREG V-A Slovenská republika – Česká republika v rámci projektu „Inovace pro zdroje energie“ (INOZE) č. 304011Y352, ktorý prispel k vzniku tohto diela.

Záverom autori ďakujú za cenné rady a pripomienky recenzentom prof. Ing. Petrovi Taušovi, PhD. a doc. Ing. Andrejovi Kapjorovi, PhD.

autori

OBSAH

Predslov.....	3
Úvod	9
1 ZDROJE TEPLA.....	11
1.1 Rozdelenie zdrojov tepla	11
1.1.1 Rozdelenie zdrojov tepla podľa ich umiestnenia	11
Miestne zdroje tepla	11
Ústredné zdroje tepla.....	12
Centralizované zásobovanie teplom.....	12
1.1.2 Rozdelenie zdrojov tepla podľa veľkosti tepelného výkonu.....	12
Malé zdroje tepla.....	13
Stredné zdroje tepla.....	14
Veľké zdroje tepla	14
1.1.3 Rozdelenie zdrojov tepla podľa paliva.....	14
1.1.4 Rozdelenie zdrojov tepla podľa materiálu	15
1.1.5 Rozdelenie zdrojov tepla podľa teplonosného média	15
1.2 Zdroje tepla na tuhé palivá	16
1.2.1 Krby.....	16
1.2.2 Krbové kachle.....	19
1.2.3 Kachľové pece.....	20
1.2.4 Kuchynské sporáky	23
1.2.5 Kotly na tuhé palivá	24
1.2.6 Rozdelenie kotlov na tuhé palivá podľa dodávania paliva.....	26
1.2.7 Kotly s ručnou obsluhou.....	26
1.2.8 Kotly s automatickým riadením	27
Kotly spaľujúce drevné pelety	28
Kotly spaľujúce drevnú štiepku	29
Kotly spaľujúce balíky slamy	29
1.2.9 Kotly na spaľovanie uhlia	30
Kotly na spaľovanie uhlia s automatickým prikladaním	31
1.3 Zdroje tepla na kvapalné palivá.....	32
1.4 Zdroje tepla spaľujúce plynne palivá	33
1.4.1 Plynové zdroje tepla s výkonom do 50 kW.....	33
Nízkoteplotné kotly.....	34
Kondenzačné kotly.....	34

1.4.2	Kotolne pre plynové zdroje tepla s výkonom nad 50 kW	35
1.5	Zdroje tepla na elektrickú energiu	36
1.5.1	Elektródové elektrokotly	37
1.5.2	Odporové elektrokotly.....	38
1.6	Tepelné čerpadla	38
1.6.1	Princíp tepelných čerpadiel	40
1.6.2	Rozdelenie tepelných čerpadiel.....	41
	Tepelné čerpadlá vzduch – voda	41
	Tepelné čerpadlá voda – voda	41
	Tepelné čerpadlá zem - voda.....	42
1.6.3	Spôsoby získavania nízopotenciálneho tepla	44
	Tepelné čerpadlá vzduch – vzduch	46
2	PALIVÁ	47
2.1	Rozdelenie palív	47
2.2	Fosílna palivá.....	47
2.2.1	Tuhé fosílna palivá	48
2.2.2	Kvapalná fosílna palivá	50
2.2.3	Plynná fosílna palivá	52
2.3	Biogénna palivá	53
2.4	Energetické využívanie palív.....	58
2.4.1	Spaľovanie palív.....	58
2.4.2	Splyňovanie palív	61
2.4.3	Pyrolýza palív	62
2.4.4	Skvapalňovanie palív	64
3	EMISIE ZO ZDROJOV TEPLA.....	65
3.1	Plynné emisie vznikajúce pri spaľovaní palív	68
3.1.1	Oxid uhoľnatý	68
3.1.2	Oxidy dusíka.....	69
3.1.3	Oxidy síry	71
3.1.4	Celkový organický uhlík	72
3.2	Tuhé znečisťujúce látky vznikajúce pri spaľovaní tuhých palív	74
3.2.1	Mechanizmus tvorby TZL pri spaľovaní tuhých palív	75
3.2.2	Vplyv rôznych aspektov na tvorbu TZL.....	77

4	PREVÁDZKOVANIE ZDROJOV TEPLA A VPLYV NA ŽIVOTNÉ PROSTREDIE.....	81
4.1	Skleníkový efekt.....	81
4.2	Ozónová diera.....	82
4.3	Kyslé dažde.....	83
4.4	Smog	84
4.4.1	Vplyv smogu na životné prostredie.....	85
4.4.2	Smogová situácia na Slovensku	87
5	MERANIE ZDROJOV TEPLA.....	89
5.1	Meranie výkonových parametrov zdrojov tepla.....	89
5.1.1	Metodika stanovenia výkonových parametrov centrálnych zdrojov tepla	90
5.1.2	Metodika stanovenia výkonových parametrov lokálnych zdrojov tepla	91
5.2	Stanovenie emisných parametrov	92
6	INOVÁCIE V PREVÁDZKOVANÍ ZDROJOV TEPLA	95
6.1	Úprava vlastností tuhých palív	95
6.1.1	Úprava vlastností tuhých palív zvýšením obsahu horľaviny	95
6.1.2	Úprava vlastností tuhých palív zúšľachtovaním.....	96
6.1.3	Úprava vlastností tuhých palív pridaním aditív	98
6.2	Využitie vhodnej konštrukcie malého zdroja tepla.....	100
6.3	Konštrukčné úpravy malých zdrojov tepla.....	101
6.4	Zmena spôsobu prevádzkovania malých zdrojov tepla.....	102
7	EXPERIMENTÁLNE VÝVOJOVÉ MERANIA PRE INOVÁCIU ZDROJOV TEPLA.....	105
7.1	Experimentálne vývojové merania pre inováciu krbovej vložky A.....	105
7.1.1	Parametre krbovej vložky A	105
7.1.2	Výsledky experimentálnych vývojových meraní krbovej vložky A ..	106
7.2	Experimentálne vývojové merania pre inováciu krbovej vložky B	108
7.2.1	Parametre krbovej vložky B	108
7.2.2	Výsledky experimentálnych vývojových meraní krbovej vložky B ..	108
7.3	Experimentálne vývojové merania kotla na tuhé palivo	110
7.3.1	Parametre kotla na tuhé palivo	110
7.3.2	Výsledky experimentálnych vývojových meraní kotla na tuhé palivo	111

7.4 Experimentálne vývojové merania kachľovej pece.....	113
7.4.1 Parametre kachľovej pece	113
7.4.2 Výsledky experimentálnych vývojových meraní kachľovej pece.....	114
7.5 Experimentálne vývojové merania kuchynského sporáku	116
7.5.1 Parametre kuchynského sporáku	116
7.5.2 Výsledky experimentálnych vývojových meraní kachľovej pece	117
Záver	119
Použitá literatúra	121
PRÍLOHA - Vzorový príklad Správy z merania zdroja tepla	132

ÚVOD

Nakoľko človek trávi minimálne polovicu svojho života doma, teda v interiéri, a je pochopiteľné, že požaduje určitý stupeň komfortu a pohody, zdroje tepla sú súčasťou takmer všetkých domácností a sú aj súčasťou mnohých odvetví priemyslu. Medzi najviac pociťované, ale aj sledované faktory obytného priestoru patrí tepelná pohoda. Tepelná pohoda je jednou zo základných potrieb človeka. Zabezpečuje sa pomocou vykurovania tak, aby sa vytvorilo také vnútorné životné prostredie pre človeka, ktoré by najviac vyhovovalo jeho organizmu. Využívajú sa pritom lokálne spaľovacie zariadenia ako sú krby, krbové kachle, sporáky a centrálné spaľovacie zariadenia, ktoré odovzdávajú teplo uvoľnené spaľovaním teplotnému médiu. Výber konkrétneho zdroja tepla závisí od viacerých faktorov, ako sú množstvo potrebnej požadovaného tepla, umiestnenie spaľovacieho zariadenia (lokálny alebo centrálny zdroj tepla), vhodné palivo a podobne. Prevádzkovaním zdrojov tepla vzniká užitočné teplo, ale popri ňom dochádza aj v rôznej miere a rôznym spôsobom k znečisťovaniu životného prostredia. Už pri samotnej výrobe zdrojov tepla dochádza k rôznym procesom, ktoré majú negatívny dopad na životné prostredie. Pri samotnom prevádzkovaní zdrojov tepla dochádza v závislosti na druhu najmä k znečisťovaniu ovzdušia emisiami a vody a pôdy popolom a inými odpadmi vznikajúcimi pri prevádzke zdrojov tepla.

V súčasnosti s rastúcimi cenami energií a s rastúcou rýchlosťou negatívneho pôsobenia ľudskej činnosti na životné prostredie je potrebné sa čoraz viac venovať problematike inovácií zdrojov tepla. Táto publikácia pojednáva o možnostiach zvýšenia efektívnosti spaľovacích zariadení so zameraním sa na malé zdroje tepla prevažne využívané bežnými občanmi Slovenskej republiky v domácnostiach. V súčasnosti je energetická náročnosť Slovenska jednou z najvyšších v rámci členských štátov Európskej únie. Podobne je to aj s produkciou škodlivín, najmä pri malých nekontrolovaných zdrojoch tepla na tuhé palivá, ktoré sa používajú v domácnostiach. Pri neustálom raste cien za energie sa ľudia snažia hľadať spôsoby ako ušetriť prevádzkové náklady pri používaní zdrojov tepla. Preto často siahajú po menej kvalitnom palive, napr. vlhké drevo a odpadky. Zároveň nedostatočnou údržbou zdrojov tepla a ich nesprávnym prevádzkovaním výrazne zvyšujú produkciu emisií a tým znečisťovanie životného prostredia. To je v rozpore so snahou výrobcov zdrojov tepla o znižovanie produkcie emisií vytváraním nových konštrukčných riešení. Nové, moderné a inteligentné vykurované objekty vyžadujú na zabezpečenie vysokého komfortu užívateľov také technické vybavenie, ktoré je vysoko účinné, prevádzkovo spoľahlivé, schopné reagovať na individuálne požiadavky v prostredí.

Cieľom tejto publikácie je prezentovanie najnovších inovatívnych spôsobov na optimalizovanie prevádzkovania malých zdrojov tepla na tuhé palivá, čím sa zlepšia výkonové parametre a zároveň zníži produkcia plyných emisií a tuhých

znečisťujúcich látok. Jednotlivé inovácie boli experimentálne analyzované na viacerých zdrojoch tepla, pričom pre každý testovaný zdroj tepla boli navrhnuté optimálne prevádzkové nastavenia, pri ktorých dosahujú najvyššiu účinnosť spaľovania v kombinácii s minimálnym zaťažením životného prostredia.

Táto publikácia vznikla vďaka podpore projektu „Inovace pro zdroje energie“ (INOZE) č. 304011Y352, ktorý je realizovaný v rámci Operačného programu INTERREG V-A Slovenská republika – Česká republika.

1 ZDROJE TEPLA

Zdroj tepla je zariadenie, v ktorom sa získava teplo pre celú tepelnú sústavu. Prebieha v ňom proces premeny chemickej energie obsiahnutej v palive na tepelnú energiu, schopnú odovzdať sa prostredníctvom teplonosnej látky do miesta spotreby. Zdrojom tepla môže byť kotol, tepelné čerpadlo, kogeneračná jednotka a pod. (PETRÁŠ, 2005). Zdroje tepla sa môžu odlišovať druhom spaľovaného paliva, konštrukciou spaľovacieho zariadenia, spôsobom spaľovania, svojím umiestnením, veľkosťou tepelného výkonu atď.

1.1 Rozdelenie zdrojov tepla

Zdroje tepla je možné rozdeliť na základe mnohých kritérií. Tie najzákladnejšie rozdelenia sú podľa ich umiestnenia, podľa veľkosti tepelného výkonu, na základe použitého paliva, podľa materiálu a podľa použitého teplonosného média.

1.1.1 Rozdelenie zdrojov tepla podľa ich umiestnenia

Zdroje tepla je možné rozdeliť na základe ich umiestnenia na:

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

Miestne zdroje tepla

Lokálne vykurovanie je charakteristické tým, že zdroj tepla sa umiestňuje priamo do vykurovanej miestnosti. Tento spôsob vykurovania je vhodný pre objekty s malým počtom miestností určených spravidla na krátkodobé využívanie. Do tejto skupiny patria kachľové pece vyznačujúce sa schopnosťou akumulácie tepla a postupného uvoľňovania do priestoru, krby s otvoreným ohniskom a krby s uzatvoreným ohniskom, krbové kachle, kuchynské sporáky. Používajú sa vo väčšine prípadov ako doplnkové zdroje tepla, ktoré sú i zaujímavým estetickým doplnkom vykurovaného priestoru. Vo väčšine prípadov sa ako palivo používa kusové drevo.



Obr. 1.1 Lokálny zdroj tepla (www.krbykzp.sk)

Ústredné zdroje tepla

Pri ústrednom vykurovaní je zdrojom tepla kotol spaľujúci ušľachtilé palivá (zemný plyn, propán – bután, ľahký vykurovací olej), ktorý je umiestnený v samostatnej, tomuto účelu vyhradenej miestnosti (suterén, prízemie) v prípade stacionárneho kotla, alebo priamo vo vykurovanej miestnosti rodinného domu (predsieň, chodba, kúpeľňa alebo kuchyňa) pri nástennom type kotla. V kotle sa ohrieva teplotonosná látka, ktorá prostredníctvom potrubného rozvodu dopravuje teplo do vykurovaných interiérov a odovzdáva ho cez vykurovacie plochy a telesá. Tieto ohrievajú vzduch v interiéri a zabezpečujú tepelnú rovnováhu medzi tepelnými stratami jednotlivých stavebných konštrukcií a teplom odvedeným človekom v ňom. Obeh teplotonosnej látky je prirodzený tzv. gravitačný alebo nútený, ktorý sa zabezpečuje vradením obehového čerpadla do potrubného rozvodu vykurovacej sústavy. (JANDAČKA, 2011)

Centralizované zásobovanie teplom

Pri centralizovanom zásobovaní teplom – tzv. diaľkovom vykurovaní sú zdroje tepla umiestnené v dostatočnej vzdialenosti od zásobovaných území (teplárne a výhrevne), ktoré dodávajú teplo do podružných zdrojov tepla (odovzdávacie stanice tepla), na ktoré sa potom pripájajú sekundárnymi tepelnými sieťami vykurovacie sústavy jednotlivých objektov. Tepelný výkon zdroja tepla daný súčtom tepelných strát jednotlivých objektov, ktoré sú z centrálného zdroja tepla vykurované. Pre centrálné zásobovanie teplom sa využívajú výlučne zdroje tepla s automatickou prevádzkou, prípadne s prevádzkou automatizovanou. Využívané veľké zdroje tepla na biomasu v Slovenskej republike najčastejšie spaľujú drevnú štiepku a balíky slamy.

1.1.2 Rozdelenie zdrojov tepla podľa veľkosti tepelného výkonu

Zdroje tepla je možné klasifikovať podľa veľkosti na (PETRÁŠ, 2005):

- malé zdroje tepla, ktoré zásobujú teplom jednu bytovú jednotku, kanceláriu, nájomný priestor, celé podlažie a pod.,

- stredné zdroje tepla, so stredným tepelným výkonom – ide o domové alebo okrskové kotolne, ktoré zásobujú teplom celý objekt alebo skupinu objektov,
- veľké zdroje tepla, ktoré vyrábajú tepelnú energiu v dostatočnej vzdialenosti od spotrebiteľskej sústavy a zásobujú teplom veľké územné celky. Nazývajú sa výhrevne alebo teplárne.

Malé zdroje tepla

Najčastejšie ide o kotly s výkonom do 50 až 70 kW, ktoré spaľujú tuhé, kvapalné alebo plynné palivá. V rodinných domoch a bytoch sa zvyčajne kombinujú aj s prípravou teplej úžitkovej vody. V zdroji tepla sa mení energia z paliva na teplo, ktoré sa odovzdáva teplotonosnej látke, napríklad vode. Prostredníctvom potrubného rozvodu sa toto médium ďalej distribuuje do vykurovacích telies.

Za malé zdroje tepla sa považujú kotolne so súčtovým výkonom:

- Do 50 kW, ktoré ak spaľujú plyné palivo, sa považujú za spotrebiče a navrhujú sa v súlade s PTN 100 12 a TPP 704 01. Kombinované plynové kotly s ohrevom teplej vody môžu mať tepelný výkon najviac 70 kW a navrhujú sa podľa STN EN 625. Zdroje na tuhé a kvapalné palivá sa navrhujú podľa požiadaviek STN 07 0245.
- Od 50 do 500 kW, zaraďujú sa do kategórie domových nízkotlakových kotolní a navrhujú sa rozdielne vzhľadom na druh spaľovaného paliva na základe požiadaviek STN 07 0240, STN 07 0703 a vyhlášky ÚBP č. 75/1996 Z. z.



Obr. 1.2 Malé zdroje tepla (HOLUBČÍK, 2020)

U majiteľov rodinných domov sa pre vyššiu životnosť a odolnosť voči korózii uplatňujú liatinové kotly, napriek ich vyššej hmotnosti a nižšiemu mernému tepelnému výkonu. Pre staršie kotly je charakteristická ich nižšia tepelná účinnosť, jednoduchá dvojpolohová regulácia, nevyhnutnosť komínového telesa a samostatného priestoru, oddelená príprava teplej vody a prevádzka vykurovacej sústavy s konštantnou teplotou teplotonosného média.

Stredné zdroje tepla

Stredné zdroje tepla sú zdroje s tepelným výkonom od 500 do 3500 kW a definujú sa ako domové zdroje tepla pre jeden alebo viac objektov. Väčší počet objektov (obytný celok, polyfunkčné centrum, nákupné stredisko a pod.) môžu zásobovať teplom tzv. blokové zdroje tepla. Zdroj tepla môže byť umiestnený priamo v zásobovanom objekte, v jeho blízkosti alebo priamo v jednom zo zásobovaných objektov. Na potreby ústredného vykurovania obytných budov sa navrhujú nízkotlakové teplovodné domové zdroje tepla.

Veľké zdroje tepla

Tieto zdroje sa delia obdobne ako stredné zdroje tepla podľa druhu spaľovaného paliva, prevádzkového tlaku a druhu teplotonosnej látky v primárnom okruhu. Veľké zdroje tepla môžu dodávať okrem tepelnej energie aj elektrickú energiu. (PETRÁŠ, 2005)

Veľké zdroje tepla s tepelným výkonom nad 3500 kW sú:

- Okrskové zdroje tepla s menovitým tepelným výkonom od 2 do 20 MW, zásobujú teplom väčšie obytné celky alebo okrsky s polyfunkčnými objektmi, kde si spotrebiteľské sústavy vyžadujú rôzne parametre teplotonosnej látky a rozdielne podmienky na prevádzku počas pracovných dní a dní pracovného pokoja.
- Výhrevne, kde sa vyrába iba tepelná energia a súčet výkonov kotlov je od 20 do 35 MW.
- Teplárne vyrábajú spoločne tepelnú a elektrickú energiu a ich menovitý tepelný výkon je od 20 do 60 MW.

Tepelnú energiu z centrálného zdroja tepla je možné dodávať cez hlavný napájač primárnymi dvojvrúrkovými a viacvrúrkovými tepelnými sieťami buď priamo do spotrebiteľských sústav (tlakovo závislé pripojenie), alebo do tlakovo nezávislých odovzdávacích staníc tepla (tlakovo nezávislé pripojenie prostredníctvom výmenníkov tepla). Z odovzdávacích staníc tepla po úprave parametrov teplotonosnej látky sa teplo ďalej dopravuje do spotrebiteľských sústav sekundárnymi tepelnými sieťami. Odovzdávacie stanice tepla tvoria spojovací článok medzi tepelnou sieťou a spotrebiteľskou sústavou. Najdôležitejšou úlohou odovzdávacích staníc tepla je prispôsobiť parametre teplotonosnej látky spotrebiteľskej sústave odberateľov tepla.

1.1.3 Rozdelenie zdrojov tepla podľa paliva

Širokú skupinu zdrojov tepla je možné rozdeliť podľa paliva, ktoré spaľuje, na:

- Zdroje tepla na tuhé palivá – v závislosti od konštrukcie kotla sa ako palivo využíva uhlie, dendromasa vo forme kusového dreva, drevného odpadu, drevných peliet, drevných brikiet, fytomasa vo forme rýchlorastúcich rastlín, slamených balíkov, brikiet, peliet a pod.

- Zdroje tepla na kvapalné palivá – ako palivo sa využívajú destiláty ropy (benzín, nafta, petrolej, vykurovací olej a pod.), palivá vznikajúce pri spracúvaní dechtov a uhlia, etylalkohol a pod.
- Zdroje tepla na plynne palivá – palivom sú zmesi horľavých a nehorľavých plynov, zemný plyn, svietiplyn, propán – bután, bioplyn a pod.
- Zdroje tepla na elektrickú energiu – transformujú elektrickú energiu na tepelnú energiu (elektrokotly) alebo využívajú elektrickú energiu na zvýšenie potenciálu tepelnej energie (tepelné čerpadlá).

1.1.4 Rozdelenie zdrojov tepla podľa materiálu

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

1.1.5 Rozdelenie zdrojov tepla podľa teplonosného média

Vo väčšine prevádzok so zdrojom tepla sa väčšinou využíva nepriamy transport tepla. Výhodou toho spôsobu prenosu tepla je rovnomerný, veľkoplošný prenos tepla, možnosť centrálného usporiadanie zdroja tepla a súčasná obsluha viac 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 80 – 90 °C v prírodnom a 60 – 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.

1.2 Zdroje tepla na tuhé palivá

Zdroje tepla na tuhé palivá využívajú všetky druhy uhlia a biomasu, z ktorých na vykurovanie sa predovšetkým využíva drevo a z neho vyrobené umelé palivá ako drevné pelety, brikety a pod. Pri najjednoduchšom energetickom hodnotení tuhých palív vychádzame z predpokladu, že sú zložené z horľaviny, popola a vody. Horľavina predstavuje aktívnu zložku, pretože je nositeľom chemicky viazanej energie a je tvorená najmä uhlíkom, vodíkom a sírou. Z praktického hľadiska sa do horľaviny zahrnuje tiež dusík a kyslík. Popol a voda sú zložky pasívne, nie sú nositelia energie, naopak energetickú hodnotu paliva znižujú. Rozdiel medzi nimi je vtom, že zatiaľ čo obsah popola, ktorý je z časti rozptýlený v uhoľnej hmote, nemožno jednoduchým spôsobom ovplyvniť, obsah vody možno pomerne ľahko znížiť sušením. Je logické, že vysušenie paliva má za následok zvýšenie jeho výhrevnosti, čo má veľký praktický význam najmä v prípade dreva. (*www.biomasa-info.cz*)

1.2.1 Krby

Za tie roky, čo sa krby využívajú, sa ich účel čiastočne menil. V minulosti to bol prakticky jediný možný zdroj tepla. S postupom času mal v dome svoje miesto len kvôli vzhľadu a pre rekreačné využitie. Dnes krby a kachle naďalej poskytujú tieto výhody, navyše však pomáhajú znižovať náklady za teplo, a tým zvyšovať energetickú efektívnosť domácností.

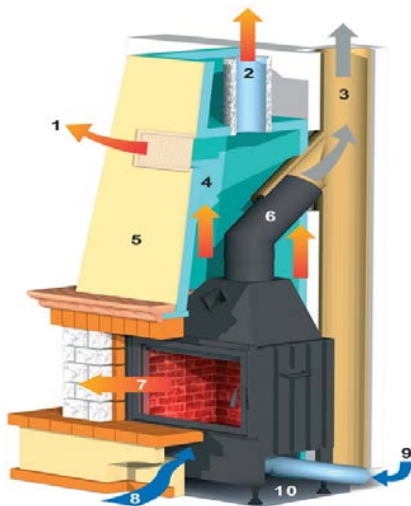
Správna funkcia krbu je daná základnými fyzikálnymi zákonmi. Funkčné časti krbu a jeho rozmery musia byť navrhnuté vzhľadom na požiadavky správneho horenia a odvodu spalín. Všetky dané podmienky sa musia vzájomne zladíť a usporiadať pre návrh krbu, pričom sa nesmie zabudnúť, že neslúži len ako zdroj tepla, ale aj esteticky skrášľuje priestor, v ktorom sa nachádza.

Podľa umiestnenia sú krby vonkajšie – pristavané k budove alebo voľne stojaci záhradný a vnútorné – v priestore budovy slúžia ako zdroje tepla na vykurovanie. Podľa úpravy čelnej steny ohniska sa krby delia na otvorené – s otvoreným portálom, ohnisko do vnútorného alebo vonkajšieho priestoru a uzatvárateľne – s uzatvárateľným portálom, väčšinou priehľadnými dvierkami. Niekedy sa tiež označujú ako krbové kachle alebo krbová vložka. (*JELÍNEK, 2010*)

Otvorené krby sú historicky najstaršie krby, ktoré sú ešte rozšírené aj v dnešnej dobe. Otvorený krb nenahrádza vykurovací systém priestoru. Tepelné rozdiely medzi teplou a studenou zónou v miestnosti, ktoré sú dôsledkom prevádzky krbu ako jediného zdroja tepla v miestnosti, nepomáhajú správnej tepelnej pohode. Aj upravené otvorené krby so základnými výmenníkmi tepla budú vždy plniť viac estetickú ako funkčnú úlohu. V praxi sa otvorený krb využíva v miestnostiach, ktoré sú vykurované iným zdrojom tepla. Len vo výnimočných prípadoch sa využíva ako jediný zdroj tepla, napr. počas chladných dní v lete, pri poruche hlavného zdroja

tepla. Otvorený krb musí spĺňať základné prevádzkové vlastnosti. Musí dodávať produkované teplo a zbytočne neodsávať vzduch z miestnosti, hlavne vzduch, ktorý je už ohriaty. V komíne sa v dôsledku horúcich a teda ľahších dymových plynov vytvára podtlak, ktorý je tým väčší, čím je väčší rozdiel medzi teplotou plynov a teplotou vonkajšieho prostredia.

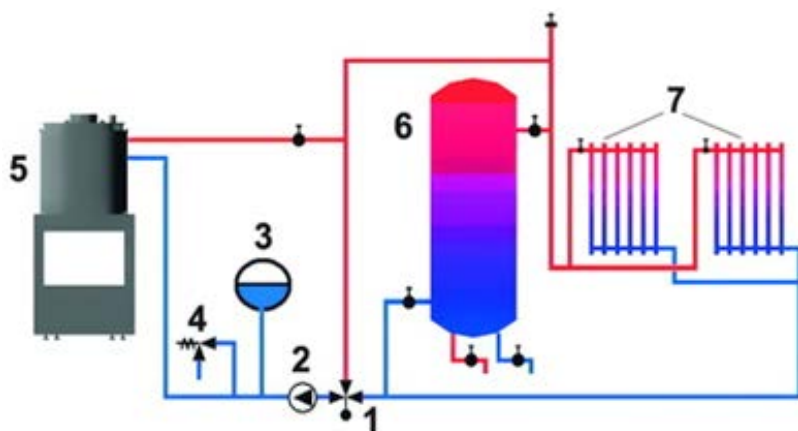
Teplovzdušný krb (obr. 1.3) je voľne stojace presklené ohnisko na spaľovanie dreva (krbová vložka) umiestnené v otvorenej obstavbe, okolo ktorej vplyvom tepla uvoľňovaného počas horenia prúdi teplý vzduch. Tento ohriaty vzduch je následne vháňaný späť do miestnosti, ktorú veľmi rýchlo ohreje. Moderné dvojplášťové krby umožňujú vďaka výkonným a tichým ventilátorom rozvádzať ohriaty vzduch aj do ďalších miestností a z jedného miesta vykurovať celý dom. Na rýchlosť vykurovania má veľký vplyv materiál, z ktorého je vložka a jej obmurovka vyrobená.



Obr. 1.3 Schéma teplovzdušného krbu (1 – teplý vzduch, 2 – rozvod teplého vzduchu do príslušných priestorov, 3 – spaliny, 4 – izolácia, 5 – kachliarska omietka, 6 – dymovod, 7 – sálanie, 8 – prívod studeného vzduchu na ohrev, 9 – prívod primárneho vzduchu na horenie, 10 – nehorľavá podlaha (JANDAČKA, 2011)

V tomto teplovzdušnom zariadení je podstatná kvalita krbovej vložky, ona rozhoduje, koľko tepla krb vyprodukuje. Či sa už krbová vložka obloží kachľami, alebo kameňom, nemá až taký veľký vplyv na výkon, ani na dĺžku udržiavania tepla v plášti krbu, či v miestnosti. Pri spaľovaní dreva v teplovzdušnom krbe vzniká cirkulácia – rýchla výmena vzduchu. Krb zohreje vzduch pomocou rozpálenej kovovej vložky. Ten potom prúdi hore, ku stropu miestnosti, a po ochladení klesá k podlahe. Tak vznikajú prúdy teplého vzduchu – z toho pochádza aj ich označenie. Teplovzdušné typy ohnísk vykúria priestor okolo seba pomerne rýchlo, teplotný spád medzi stropom a podlahou však býva veľký. Ich užívatelia sa zvyknú sťažovať na teplý suchý vzduch v oblasti hlavy a súčasne studené nohy. Nezanedbateľná je aj vyššia spotreba paliva a nutnosť častého prikladania oproti kachľovým krbom.

Účinnosť teplovzdušných krbov možno zvýšiť aj zabudovaním teplovodného výmenníka, pomocou ktorého sa dá vyhrievať aj voda v ústrednom kúrení a ohrievači na teplú vodu. Teplovodné krby obsahujú teplovodný výmenník tepla, pomocou ktorého je možné ohrievať vodu v ústrednom vykurovaní, prípadne teplú pitnú vodu. Zvyčajne sa využíva krbová vložka s výmenníkom tepla spaliny – voda. Vzhľadom na to, tieto krby dokážu vykurovať priestor nielen sálavým teplom, ale aj teplom z vykurovacích telies. Vďaka odovzdávaniu tepla do ústredného kúrenia je možné si nastaviť tepelnú pohodu v jednotlivých miestnostiach zvlášť. Oveľa výhodnejšie z hľadiska tepelnej regulácie a úspor je však teplo z krbu ukladať a podľa teploty média vrstviť do dostatočne veľkej akumuláčnej nádoby s teplou vodou a odtiaľ ho podľa potreby neskôr odobrať (obr. 1.4).



Obr. 1.4 Schéma ohrevu vody v teplovodnom krbe (1 – zmiešavací ventil, 2 – čerpadlo, 3 – expanzná nádoba, 4 – poistný ventil, 5 – krbová vložka, 6 – vyrovnávací zásobník, 7 – spotrebiče tepla) (JANDAČKA, 2011)

Pre spriemnenie atmosféry vonkajších posedení ako aj pre pohodlnú prípravu určitých druhov jedál sa používajú záhradné krby (obr. 1.5). Pre tento účel bol u mnohých z nich špeciálne vyvinutý ich roštovací systém. Krby majú dômyselne skonštruovanú spaľovaciu komoru, chránenú šamotovými tehliami, ktoré umožňujú trvalé horenie dreva bez poškodenia telesa vysokou teplotou. To zaručuje aj ich vysokú životnosť. Najčastejšie sa záhradné krby stavajú na terasách. Kvôli svojej pomerne vysokej hmotnosti totiž potrebujú dostatočne pevný podklad, aby bola zabezpečená ich stabilita.



Obr. 1.5 Záhradný krb (www.pixabay.com)

1.2.2 Krbové kachle

V dnešnej dobe vzhľadom na dokonalejšie stavby (nie náročné na vykurovací výkon) idú do popredia jednoduchšie formy vykurovacích telies vo forme krbových kachlí (obr. 1.6). Krbové kachle sú moderným doplnkom dnešných domácností, zaznamenávame v poslednom desaťročí obrovský záujem spotrebiteľov. Na trhu existujú stovky typov ako od slovenských, tak zahraničných výrobcov.

Krbové kachle sú lokálnym zdrojom kúrenia, ktoré primárne prehrievajú priestor v ktorom sú osadené, avšak zároveň spĺňajú estetickú dekoráciu v priestore podľa vyhotovenia. Ako palivo sa výhradne používa drevo, drevné brikety alebo drevné pelety. S briketami a peletami nebýva problém, ale kusové drevo by malo byť riadne vyschnuté. Mäkké drevo aspoň rok a tvrdé drevo najmenej dva roky. Spaľovacia komora je vykladaná vyberateľnými šamotovými doskami, pričom dno ohniska tvorí spravidla vyberateľný rošt. Spaľovacia komora je pevne uzatvárateľná presklenými dvierkami s tepelne odolným sklom. Toto zvyšuje estetický pôžitok pohľadom na plápolajúci oheň pri posedení pri kachliach a zároveň zabraňuje vypadávaní iskier a unikaniu dymu do miestnosti.



Obr. 1.6 Krbové kachle (www.pixabay.com)

Horný priestor nad spaľovacou komorou je možné použiť na udržovanie jedál a nápojov teplých. Povrchová úprava krbových kachlí môže byť v rôznych materiálových vyhotoveniach (liatinová, oceľová, keramická, z prírodného kameňa) a v rôznych farebných modifikáciách. Ich veľkosť a jednoduchá montáž umožňuje osadiť ich do akéhokoľvek priestoru a vždy si vychutnávať krásne chvíle pri ohni, ktorý vytvára to pravé teplo domova. Ak po rokoch používateľ chce zmeniť dizajn interiéru a už do jeho koncepcie kachle nezapadajú, bez najmenších stavebných úprav, je možné teleso vymeniť. (www.stavstroj.sk)

Liatinové krbové kachle majú regulovateľné sekundárne spaľovanie, postcombustion system, oplach skla, možnosť priameho napojenia čerstvého vzduchu z exteriéru a iné moderné technológie, vďaka ktorým dosahujú účinnosť až 80 %. V niektorých je možnosť napojenia dymovodu zvrchu aj zozadu. Pri krbových kachliach nie je možnosť inštalácie teplovzdušných rozvodov do okolitých miestností, ale práve dymovod môže zohriať aj miestnosť umiestnenú nad priestorom, kde sú krbové kachle, samozrejme pokiaľ je dymovod napájaný do komína v podkrovnej časti domu.

1.2.3 Kachľové pece

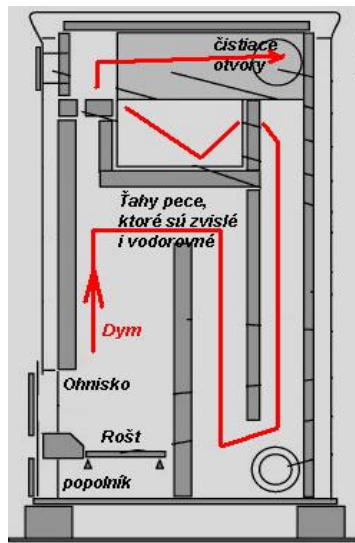
Kachľová pec je vykurovacie zariadenie s plášťom zhotoveným z kachlíc, alebo kombinovaním kachlíc a omietnutých častí. Tieto zariadenia dokáže postaviť iba skúsený odborník – kachliar, pričom sa musia dodržiavať prísne protipožiarne opatrenia. Medzi základné druhy kachľových pecí patria:

- sálavé bezroštové kachľové pece,
- sálavé kachľové pece s roštom,
- sálavé kachľové pece kombinované s teplovzdušným vykurovaním,
- teplovzdušné kachľové pece,

- hypokaustové kachľové pece.

Sálavé bezroštové kachľové pece sa radia medzi najúspornejšie a najzdravšie vykurovania. Vnútro sálavej pece je z tehál alebo šamotiek, ktoré šíria teplo sálaním. Tepelné žiarenie sálavého tepla vytvára v interiéri relatívne nízku teplotu, nevznikajú tak zvýšené pohyby vzduchu, teplotné spády ostávajú malé a vlhkosť prostredia kolíše okolo hodnoty 30 – 50 %. Vytvára tak príjemnú a zdravú tepelnú pohodu. Sálavé pece vykurojú miestnosť, v ktorej stoja, prídavnými ťahmi – prieduchmi, ktoré sa však môžu viesť aj do iných miestností. Jedným zariadením je tak možné vyhriať celý obytný objekt. Na rozdiel od teplovzdušných typov sprostredkujú v akumuláčnych telesách prestup tepla spaliny z ohňa.

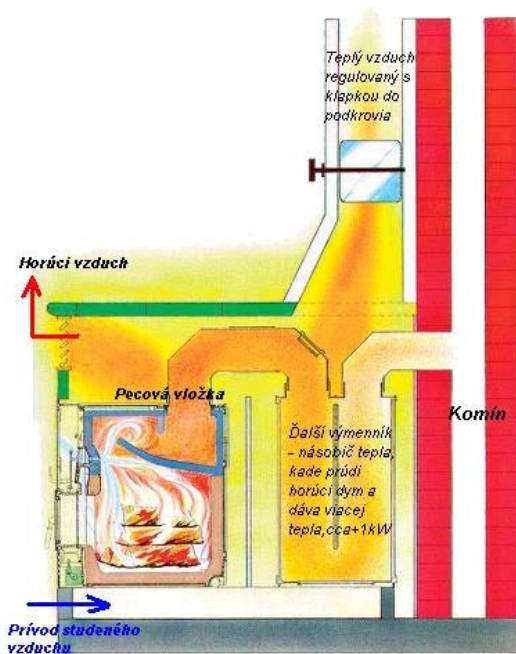
Sálavá kachľová pec s roštom (obr. 1.7) funguje podobne ako kachľová pec bez roštu, akurát v ohnisku je umiestnený rošt a popol sa dá vynášať v tomto prípade v popolníku. Prikladanie do tejto pece je len o málo častejšie ako do bezroštovej, stále sa zaraďuje medzi najúspornejšie a najkvalitnejšie zariadenia. Uvedená pec slúži hlavne na vykurovanie v tej miestnosti, kde je postavená.



Obr. 1.7 Sálavá kachľová pec s roštom (JANDAČKA, 2011)

Kombinované krbové kachle poskytujú viac typov vykurovania, a to sálavé i teplovzdušné. Dá sa zjednodušene povedať, že takéto kachle sú predelené vo vnútri na polovičku. Prvá časť kde je ohnisko pece je teplovzdušná, dym z nej však nejde ihneď do komína, ale prechádza ďalej druhou časťou kachlí – prieduchmi

Teplovzdušná kachľová pec (obr. 1.8) pracuje na podobnom princípe ako teplovzdušný krb, s tým rozdielom, že vzhľadom pripomína kachľovú sálavú pec. Jej vnútro je duté, ako v teplovzdušnom krbe, vložka je však vyššia a užšia. Pracuje na podobnom princípe ako teplovzdušný krb.

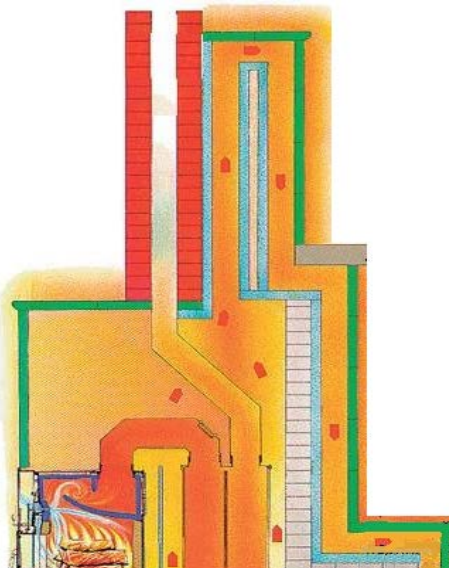


Obr. 1.8 Schéma funkcie teplovzdušnej kachľovej pece (JANDAČKA, 2011)

Medzi ich výhody patrí, že teplo sa vyprodukuje celkom rýchlo, preto sú vhodné do objektov, kde sa nezdržuje dlhší čas, napríklad do chaty či chalupy. Teplo sa dá rozviesť do iných miestností, do miestností v okolí krbu alebo priamo nad ním aj bez ventilátora, do vzdialenejších miestností pomocou krbového ventilátora. Medzi nevýhody teplovzdušnej kachľovej pece patrí nerovnomerne rozložené teplo v miestnosti, vysoká spotreba paliva, je potrebné často prikladať palivo. Po spotrebovaní paliva miestnosť rýchlo vychladne.

Hypokaustová kachľová pec (obr. 1.9) využíva princíp teplého vzduchu v uzatvorenom priestore. Na rozdiel od teplovzdušných telies, pri ktorých horúci vzduch stále cirkuluje v miestnostiach, však pri hypokauste nie sú otvory na vyústenie tohto horúceho vzduchu. Takže horúci vzduch, ktorý vzniká v ocelej, liatinovej vložke, alebo z iného ohniska v hypokaustovej peci, koluje a obmieľa vnútorné steny z kachlíc alebo iného vhodného materiálu, čím ich ohreje. Výhodou tohto zariadenia je tvarová rozmanitosť, členitosť a originálny náročný vzhľad. Ak zasahuje aj do ďalších miestností, ohriaty vzduch z vložky sa dostane do všetkých častí krbu, a tým i ohrieva všetky miestnosti. Firmy, ktoré sa zaoberajú hypokaustovým vykurovaním uvádzajú, že vyprodukované teplo je kvalitné ako pri sálavej peci, ale je medzi nimi zásadný rozdiel. Sálavá pec sa totiž nahrieva prúdením dymu – spalín, ktoré kolujú v ťahoch, ohrieva kachlice a má minimálnu spotrebu paliva. Hypokaustová pec sa nahrieva prúdením horúceho vzduchu, čiže ohnisko je

od kachlíc oddelené vzduchopriestorom. Spotreba paliva v nej závisí od typu použitej vložky a od ťahového systému. Pri porovnávaní hypokaustovej a sálavej pece z hľadiska skúseností sa sálavá pec stále považuje za najkvalitnejšiu, ako po zdravotnej stránke vykurovania, tak i z pohľadu úspory paliva.



Obr. 1.9 Schéma hypokaustovej kachľovej pece (JANDAČKA, 2011)

1.2.4 Kuchynské sporáky

Kuchynský sporák (obr. 1.10) predstavuje lokálny zdroj tepla, ktorý sa používa hlavne pre jeho úžitkové vlastnosti, ako sú varenie a pečenie, až ako druhotný výstup pre potreby vykurovania.



Obr. 1.10 Kuchynský sporák (www.pixabay.com)

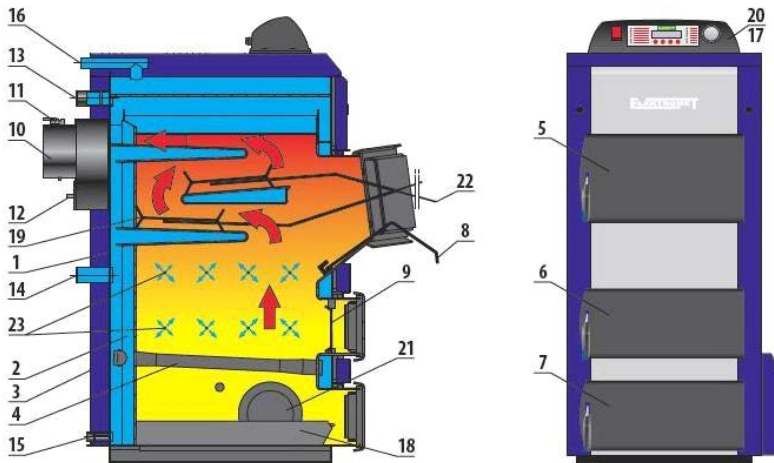
Kuchynské sporáky sú charakteristické liatinovými platňami, ktoré slúžia

na varenie. Tieto sú ohrievané teplom spalín, ktoré vznikajú spaľovaním paliva, vo väčšine prípadov kusového dreva. Spaliny sú vedené popod liatinové platne a následne sú vedené okolo rúry na pečenia a až následne sú odvedené do komína. Pri zakurovaní sa používa tzv. zakurovacía klapka, ktorá umožní priamy vstup spalín do komína. Po zakúrení sa táto klapka uzatvorí. Ich základná konštrukcia je realizovaná z kovového materiálu, do ktorej sú zabudované keramické kachlice rôznych tvarov a farieb. Vnútorne spalínové cesty sú vyšamotované.

1.2.5 Kotly na tuhé palivá

Kotly na tuhé palivá sa konštrukčne odlišujú podľa druhu spaľovaného paliva, ktoré vplýva na vyhotovenie spaľovacieho roštu a odstraňovanie popola z kotla. Medzi základné konštrukčné časti kotlov na pevné palivo patria (*JANDAČKA, 2007*):

- 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 teplotonosná 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,
- spalínové cesty - priestory vo vnútri kotla, ktorými prúdia spaliny,
- výmenník tepla - časť kotla, v ktorej odovzdávajú spaliny teplo teplotonšej látke, zvyčajne rúrkovými, jedno až trojt'ahovými výmenníkmi tepla,
- čistiacie otvory- otvory pre čistenie spalínových ciest a výmenníkov tepla.



Obr. 1.11 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. kominová klapka, 12. revízny otvor, 13, 14. pripojenie vykurovacieho média, 15. výpusť, 16. odvodušenie, 17. termostat, 18. popolník, 19. lapače, 20. ovládací panel, 21. ventilátor, 22. háky na lapače, 23. náduchové dýzy (JANDAČKA, 2011)

Voľba výkonu kotla je závislá od objektu, ktorý sa vykuruje, resp. od technológie, pre ktorú sa vyrába teplo. Tepelný výkon objektov sa určuje na základe výpočtu tepelných strát, ktoré sú dané tepelno-technickými vlastnosťami objektu a klimatickými podmienkami lokality, v ktorých sa vykurovaný objekt nachádza. Pri stanovení tepelného výkonu zdroja tepla na vykurovanie obytných priestorov, je potrebné brať do úvahy aj tepelný výkon potrebný na zabezpečenie ohrevu teplej úžitkovej vody, resp. tepelný výkon pre vzduchotechnické zariadenia. Tepelný výkon kotla pre rôzne technológie je daný súčtom tepelných príkonov jednotlivých odberných zariadení. Pri stanovení tepelného výkonu kotla pre technológiu je potrebné brať do úvahy aj tzv. súčasnosť chodu jednotlivých odberných zariadení. Pre vykurovanie rodinných domov sa používajú kotle o vykurovacom výkone v rozsahu od 10 až 50 kW.

Pri voľbe konkrétneho kotla je potrebné vychádzať zo základných parametrov zdrojov tepla, ktoré sú uvedené v katalógových listoch a medzi ktoré patria:

- Maximálny dovolený pracovný tlak – najvyšší tlak, pri ktorom je prevádzka kotla bezpečná.
- Maximálna dovolená teplota – maximálna teplota, pri ktorej kotol môže pracovať za normálnych prevádzkových podmienok pri nastavení teploty vody na bezpečnostnom zariadení a pri podmienkach stanovených výrobcom.
- Prevádzková teplota – rozsah teploty, pri ktorej kotol môže pracovať za normálnych prevádzkových podmienok pri nastavení teploty vody na bezpečnostnom zariadení a pri podmienkach stanovených výrobcom.

- Tepelný výkon Q – užitočné teplo dodané do vody v kotle za jednotku času.
- Menovitý tepelný výkon Q_N – maximálny kontinuálny výkon uvedený výrobcom pre použité palivo.
- Minimálny tepelný výkon Q_{\min} – minimálny kontinuálny výkon uvedený výrobcom pre každý druh paliva.
- Rozsah tepelného výkonu – rozsah tepelného výkonu od minimálneho po maximálny, na ktorý môže byť kotol nastavený.
- Tepelný príkon Q_B – množstvo tepla za jednotku času vstupujúce do vykurovacieho kotla v palive, ktoré je dané výhrevnosťou paliva.
- Účinnosť kotla K – pomer užitočného tepelného výkonu k tepelnému príkonu.
- Ťah – tlakový rozdiel medzi statickým tlakom vzduchu v mieste inštalácie kotla a statickým tlakom odvádzaných spalín.
- Teplota vystupujúcich spalín t_A – teplota meraná na výstupe spalín z kotla.
- Tlaková strata na strane vody – tlaková strata pri prechode kotlom nameraná na vstupe a výstupe z kotla, pri prietoku teplotonosného média, ktorý zodpovedá menovitému tepelnému výkonu kotla.
- Čas horenia – pri ručnom prikladaní je to čas horenia od maximálnej náplne paliva po základnú úroveň horiaceho paliva na rošte.

1.2.6 Rozdelenie kotlov na tuhé paliva podľa dodávania paliva

- kotly s periodickým dávkovaním paliva,
- kotly s ručnou obsluhou,
- kotly s poloautomatickým riadením,
- kotly s automatickým riadením.

1.2.7 Kotly s ručnou obsluhou

Kotly s ručnou obsluhou sú charakteristické tým, že nakladanie paliva do kotla sa uskutočňuje manuálne. Vo väčšine prípadov sa ako palivo používa kusové drevo vo forme polien alebo zriedkavejšie tiež hrubá štiepka. Kotly s ručnou obsluhou sa najviac používajú pre rozsah výkonov do 50 kW. V dôsledku výstavby tzv. nízkoenergetických domov sa v súčasnosti vyrábajú kotly s výkonom nižším ako 15 kW. Pri tepelných výkonoch od 15 do 50 kW predstavuje typické vložené množstvo cca 10 až 60 kg paliva na jednu dávku. Pri malých kotloch sa palivo dodáva do kúreniska cez horné nakladacie dvierka alebo nakladacie dvierka umiestnené z čelnej (prednej) strany kotla, pričom nakladanie paliva cez čelné nakladacie dvierka je menej namáhavé pre obsluhu ako nakladanie cez horné nakladacie dvierka.

Prívod spaľovacieho vzduchu je realizovaný buď na základe prirodzeného ťahu komína alebo pomocou ventilátorov. Súčasťou kotla je výmenník tepla spaliny

- voda, v ktorom sa ohrieva teplonosné médium od prúdiacich spalín. V súčasnosti sa vo väčšine prípadov používajú rúrkové výmenníky tepla, v menšej miere potom doskové výmenníky tepla. Výmenník môže byť situovaný buď horizontálne alebo vertikálne. Pri kotloch s ručnou obsluhou nie je možné regulovať ich tepelný výkon a proces spaľovania dodávkou paliva. Preto pri kotloch s ručnou dodávkou paliva je možné použiť regulovanie tepelného výkonu a procesu spaľovania iba reguláciou množstva primárneho a sekundárneho spaľovacieho vzduchu, resp. ich správne prerozdelenie. Prívod primárneho vzduchu ovplyvňuje uvoľňovanie plynnej zložky paliva, a tým i výkon kotla. Sekundárnym vzduchom sa ovplyvňuje vypálenie horľavých plynov. V praxi sa vyskytujú tieto druhy regulácie kotlov s ručnou obsluhou:

- Kotly s mechanickou reguláciou množstva spaľovacieho vzduchu.
- Kotly s reguláciou tepelného výkonu.
- Kotly s reguláciou tepelného výkonu a s reguláciou procesu spaľovania.

Pri kotloch s mechanickou reguláciou množstva spaľovacieho vzduchu sa používa na zabezpečenie spaľovacieho vzduchu prirodzený ťah komína, ventilátor nie je k dispozícii. Generovaný výkon je závislý od polohy otvorenia prívodu primárneho a sekundárneho vzduchu od termoregulačného ventilu. Táto klapka sa nachádza buď na popolníkových dverkách alebo v spalínovode.

Kotly s reguláciou tepelného výkonu sú vybavené buď ťahovým alebo pretlakovým ventilátorom, ktorý dodáva potrebné množstvo spaľovacieho vzduchu podľa požadovaného tepelného výkonu. Regulácia sa realizuje buď na základe nastavenia otáčok ventilátora, alebo regulačnou klapkou, ktorej nastavením (škrtením) sa reguluje prívod spaľovacieho vzduchu.

Kotly s reguláciou tepelného výkonu a s reguláciou procesu spaľovania disponujú taktiež ťahovým, resp. pretlakovým ventilátorom s reguláciou otáčok alebo s regulačnou klapkou, ktorej nastavením (škrtením) sa nastaví množstvo spaľovacieho vzduchu. Pri týchto typoch kotlov sa okrem regulácie výkonu robí aj regulácia kvality spaľovania. V najjednoduchšom prípade sa regulácia kotla realizuje na základe ďalšej veličiny, a to teploty spalín. Na základe jej veľkosti sa nastaví množstvo primárneho a sekundárneho vzduchu, resp. ich prerozdelenie tak, aby sa zabezpečil zodpovedajúci spôsob spaľovania paliva.

1.2.8 Kotly s automatickým riadením

Kotly s automatickým riadením sa vyznačujú tým, že okrem regulácie tepelného výkonu, resp. i procesu spaľovania, sú schopné riadiť prívod a to paliva, buď kontinuálne alebo stupňovite. Automatickej dodávke paliva musí byť prispôbená i samotná forma paliva. Pre kotly s automatickým riadením sa najčastejšie používa dendromasa vo forme štiepky, peliet, resp. brikiat.

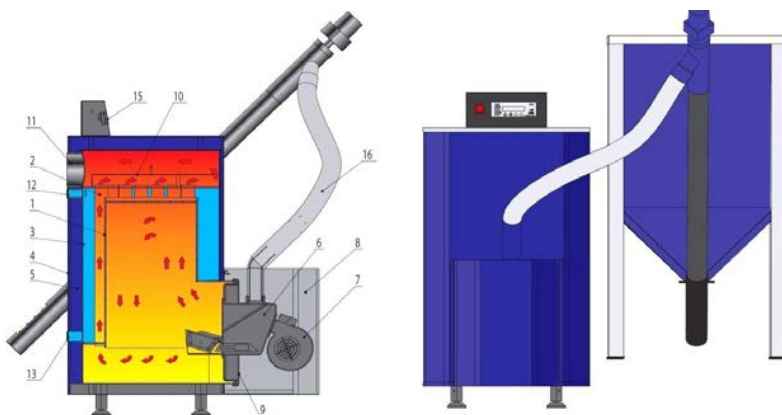
Pri automatických kotloch môže byť zapaľovanie a odstraňovanie popola

realizované buď automaticky, alebo túto činnosť realizuje obsluha - vtedy sa hovorí o kotloch automatizovaných. Automatické zapalovanie sa môže realizovať teplovzdušným zapalovaním. Automatický odvod popola sa realizuje do zásobníka popola. Tu je však taktiež nutný občasný zásah obsluhy, aby v prípade naplnenia zásobníka bol tento zásobník odstránený.

Najčastejšie sa pri automatických kotloch na biomasu pre ústredné vykurovanie objavuje systém spaľovania so spodným, resp. priečnym prívodom paliva a spaľovanie roštové. Uvedené princípy spaľovania môžu byť použité pre rôzne palivá (štiepka, pelety, brikety, zrno), avšak pre každý druh paliva a jeho vlastnosti platia iné podmienky spaľovania.

Kotly spaľujúce drevné pelety

Moderné kotly spaľujúce pelety (obr. 1.12) majú takmer automatickú prevádzku. Vyžaduje sa len minimálny manuálny zásah, a to dopĺňovanie peliet, čistenie spaľovacej komory horáka a vyberanie popola raz za 1 - 30 dní, podľa kvality peliet a veľkosti zásobníka. V prípade potreby môžu byť kotly vybavené automatickým odpopoľňovacím systémom pre komfortné vykurovanie s minimálnou obsluhou.



Obr. 1.12 Kotel na drevné pelety, 1 - teleso kotla, 2, 3 - výmenník tepla, 4 - plášť, 5 - tepelná izolácia, 6 – horák, 7 – ventilátor, 8 – uloženie horáka, 9 – upevnenie horáka, 10 – spalínová cesta, 11 – dymovod, 12,13 – pripojenie vykurovacej vody, 14, 15 – mikroprocesorová regulácia kotla, 16 – prívod peliet (www.kurenie-solar.sk)

Pri zariadeniach na spaľovanie drevných peliet sú dôležité nasledujúce konštrukčné celky:

- teleso zariadenia s výmenníkom tepla, spaľovacia komora s dopravou peliet,
- horák s prívodom peliet, prívod vzduchu pre primárny a sekundárny vzduch, automatické zapálenie,
- bezpečnostné zariadenia,
- dopravníkové systémy pre dopravu peliet zo skladu paliva,

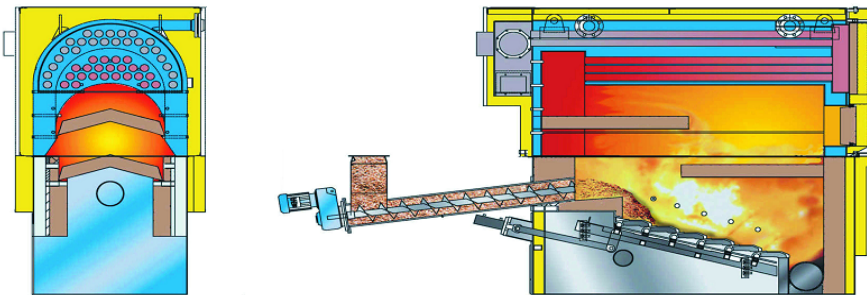
- odstraňovanie popola,
- regulácia spaľovacieho procesu a vykurovania.

V spaľovacej komore je uložený horák. Pri spaľovaní drevných peliet sa používajú:

- Hrncovitý horák sa používa najmä v kozuboch a kotloch s tepelným výkonom do 30 kW. Hrnec horáku má dvojité steny (vnútorná je dierovaná) vyrobené zo žiaruvzdornej ocele. Medzi stenami sa privádza sekundárny vzduch. Pelety sú do horáka privádzané v určitom intervale pomocou spádovanej rúrky. Po prehorení vzniknutý popol prepadáva cez otvory do nádoby na popol.
- Tanierový horák so zápalným diskom sa používa aj v menších aj vo väčších zdrojoch tepla. Horák sa skladá z kruhovitého disku vyrobeného zo silne žiaruvzdornej ušľachtilej ocele, a má množstvo otvorov. Pelety sa plynulo dostávajú popod zápalný disk závitkovým dopravníkom otáčajúcim sa v rúre. Potom sa vytlačia na zápalný disk. Na tomto disku sa počas horenia vytvorí žeravá vrstva peliet, kde dochádza k splyňovaniu paliva.
- Retortový horák sa líši od horáku so zápalným diskom formou ložiska žiaru a spôsobom prísunu paliva. Toto sa dodáva plynulým spôsobom z boku do korýtkovej nádoby (retorty). Tam sa uskutočňuje primárne spaľovanie (splyňovanie).

Kotly spaľujúce drevnú štiepku

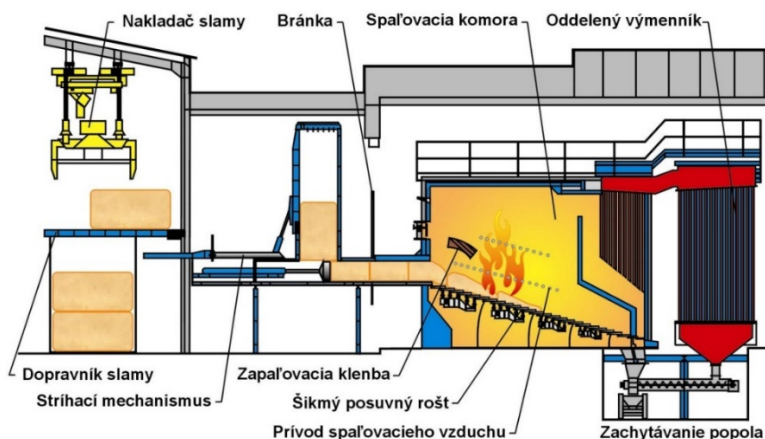
Časť kotlov na spaľovanie biomasy je zameraná na spaľovanie štiepkov s predpísanou veľkosťou frakcie a pilín. Celé zariadenie tvorí celý komplexný systém (obr. 1.13) od dopravy paliva zo zásobníka, cez jeho dopravu do kotla, proces spaľovania, výrobu tepla, odpopolnenie, čistenie spalín až po ich odvod vrátane komína. Celý proces spaľovania je riadený a kontrolovaný vlastným riadiacim systémom tak, aby boli trvale plnené emisné limity platné pre štát, v ktorom je zariadenie inštalované.



Obr. 1.13 Komplexný systém na spaľovanie štiepky (www.herz.sk)

Kotly spaľujúce balíky slamy

Pri kúreniskách na celé balíky slamy – ako je to pri kotloch na spaľovanie dreva s ručnou obsluhou - sa realizuje spaľovanie po dávkach, v nasledujúcich typických fázach odhorievania paliva a následné spaľovanie tuhých zvyškov. 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. V súčasnosti existujú konštrukcie kotlov na spaľovanie slamy s výkonmi rádovo niekoľko kW až po niekoľko MW. Na obr. 1.14 je schematicky uvedený princíp spaľovania balíkov slamy v kotle o výkone cca 5 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.



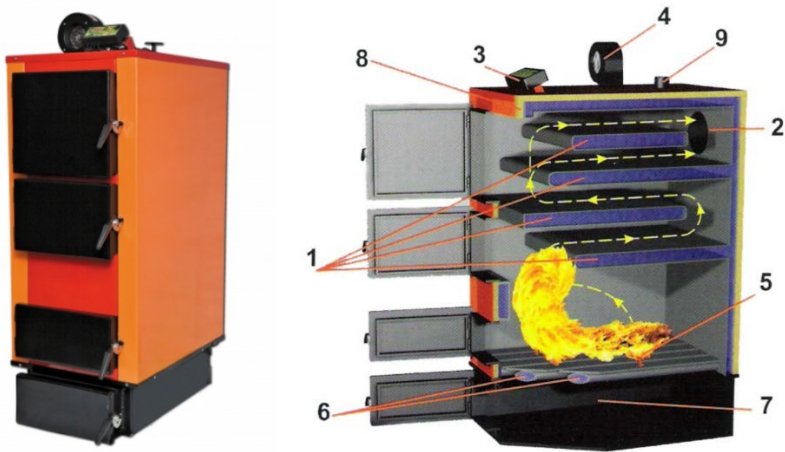
Obr. 1.14 Kotel na spaľovanie balíkov slamy (JANDAČKA, 2011)

1.2.9 Kotly na spaľovanie uhlia

Kotly na spaľovanie uhlia boli v minulosti využívané v prevažnej väčšine domácností a takmer vo všetkých kotolniach, výhrevniach a teplárňach. Dnes sú ešte rozšírené pri výrobe elektrickej energie v teplárňach avšak za plnenia oveľa prísnejších predpisov z hľadiska produkcie látok negatívne pôsobiacich na ľudské zdravie a životné prostredie. Kotly na spaľovanie uhlia sa podobajú kotlom spaľujúcim drevo. Obyčajne sa používajú hybridné kotly (obr. 1.15), ktoré sú schopné spaľovať uhlie aj drevo. Hlavný rozdiel kotlov spaľujúcich uhlie od kotlov na drevo je v systéme nasávania spaľovacieho vzduchu. Uhlie horí lepšie, ak je vzduch privádzaný zospodu. Pri spaľovaní uhlia vzniká viac popola a tak je nutné popolník častejšie vyprázdňovať. Niektoré kotly majú termostatom riadený regulátor, ktorý nastavuje prívod spaľovacieho vzduchu. Vyspelejšie kotly majú dúchadlo, pomocou ktorého sa presne dosiahne požadované množstvo spaľovacieho vzduchu, avšak je

potrebné pripojenie kotla na elektrickú energiu.

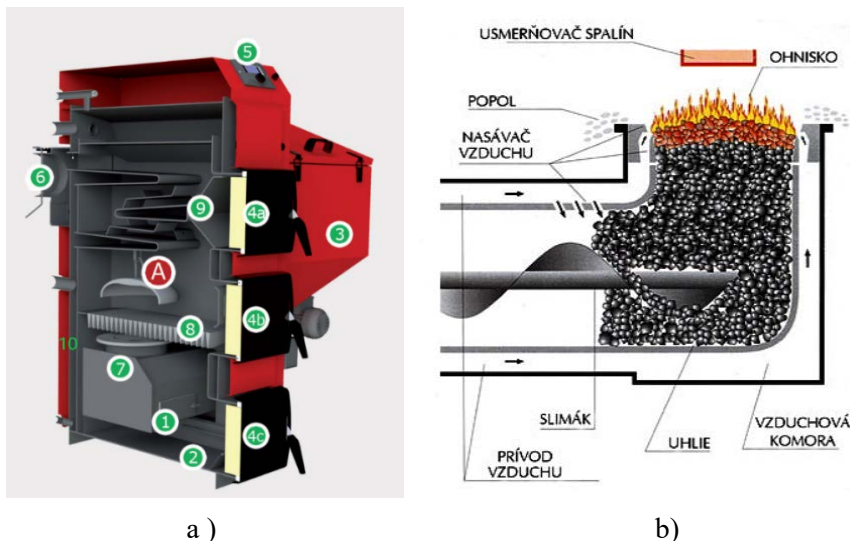
Aj malé kotly na uhlie dosahujú dostatočnú úroveň účinnosti spaľovania a tak je ich možné inštalovať aj v malých domoch, kde zabezpečia teplotný komfort aj počas chladných dní. Môžu slúžiť aj ako záložný zdroj tepla v prípade, ak dôjde k prerušeniu dodávky plynu a elektrickej energie, prípadne sa primárny kotol pokazí. Medzi nevýhody využívania týchto kotlov patrí nutnosť skladových zásob uhlia, nutné časté čistenie kotla a odstraňovanie vzniknutého popola. Ďalej podobne ako pri iných typoch kotlov, v ktorých horí plameň, existuje nebezpečenstvo požiaru a prípadného zadusenía vzniknutými spalinami v prípade vzniku chyby na dymovode. Tieto kotly môžu byť vybavené automatickým dávkovaním paliva a tak zvýšiť komfort obsluhy.



Obr. 1.15 Kotol spaľujúci uhlie a drevo 1 – spaľovacie kanály, 2 – odťah spalín, 3 – radiacia jednotka, 4 – dýchadlo, 5 – ohnisko, 6 – vodný rošt, 7 – popolník, 8 – izoácia, 9 – napájacia prípojka (www.eurokotol.sk)

Kotly na spaľovanie uhlia s automatickým prikladaním

Uhlie je pomocou závitkového podávača presúvané zo zásobníka do spaľovacej komory, kde obhorieva na tanieri a vzniknutý popol odpadáva na okrajoch (obr. 1.16). Výrobcovia uvádzajú, že vďaka zásobníku paliva a závitkovému podávaciemu mechanizmu (prisúva palivo podľa nastaveného programu do horáka kotla), možno dosiahnuť komfortnú prevádzku vyžadujúcu len 10 minút pozornosti denne. Účinnosť týchto zariadení dosahuje viac ako 85 % a rozsah výkonov najmenších kotloch je 4 až 25 kW.



Obr. 1.16 a) Kotel na spaľovanie uhlia s automatickým prikladaním A – deflektor, 1-čistiaci otvor, 2 – popolník, 3 – zásobník na palivo, 4a – dvierka revízne, 4b – dvierkaohniska, 4c – dvierka popolníka, 5 – regulácia, 6 – dymovod s klapkou, 7 – retortový horák, 8 – liatinový rošt, 9 – regulátor ťahu, 10 – výmenník tepla (www.topmax.sk), b) Spaľovanie uhlia na rošte (www.koscadca.sk)

1.3 Zdroje tepla na kvapalné palivá

Základom olejového vykurovania sú v súčasnosti tzv. unity. Týmto termínom sa rozumie kompletný tepelný zdroj tvorený kotlom, horákom pre spaľovanie vykurovacieho oleja, bojlerom, reguláciou, obehovým čerpadlom atď. Úlohou unity je optimálna a maximálne efektívna výroba tepla pre vykurovanie domu a ohrev teplej úžitkovej vody, a to za podmienky dosiahnutia čo najnižšej úrovne vypúšťaných škodlivín. Výrobcovia 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 nízkotepelnej alebo kondenzačnej technológie. Všetky tieto kotly možno pripojiť k tepelnej sústave tvorenej radiátormi alebo podlahovým vykurovaním, pričom problémom nie je ani kombinácia oboch sústav v dome. (www.tzb-info.cz) Olejové vykurovanie s použitím extra ľahkého oleja je jeden z najkomfortnejších spôsobov vykurovania pre rodinné domy a objekty, kde ostatné energie nie sú k dispozícii. Je to bezobslužné zariadenie, ktoré pri použití nových technológií spaľovania, využívajúcich kondenzačné teplo zo spalín pri nízkotepelnom vykurovaní, dosahuje vysokú účinnosť premeny energie viazanej v palive na energiu tepelnú. 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 domových kotolní nad bodom mrazu. Ťažké vykurovacie oleje vyžadujú

predohrev paliva, a tak sa ťažký vykurovací olej v malých zdrojoch nepoužíva. Horákové kotle sa využívajú pre ústredné vykurovanie budov, pre teplovzdušné vykurovanie hál a dielní.



Obr. 1.17 Rez kotlom spaľujúcim ľahký vykurovací olej (www.hoval.sk)

Olejové vykurovanie s použitím extra ľahkého oleja je jeden z najkomfortnejších spôsobov vykurovania pre rodinné domy a objekty, kde ostatné energie nie sú k dispozícii. Je to bezobslužné zariadenie, ktoré pri použití nových technológií spaľovania, využívajúcich kondenzačné teplo zo spalín pri nízkoteplotnom vykurovaní, dosahuje vysokú účinnosť premeny energie viazanej v palive na energiu tepelnú.

1.4 Zdroje tepla spaľujúce plyné palivá

Na spaľovanie plyných 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 zapáľovanie horákov. Základným konštrukčným prvkom kotlov je liatinové alebo oceľové teleso s kvalitnou tepelnou izoláciou, ktoré je vybavené horákovou súpravou so strážením plameňa, zapáľovaním a ovládaním, zabezpečovacím a regulačným zariadením. Na základe menovitého tepelného výkonu sa kotle na plyné palivá rozdeľujú na zdroje tepla do 50 kW a zdroje tepla nad 50 kW.

1.4.1 Plynové zdroje tepla s výkonom do 50 kW

Zdroje tepla na plyné palivá do 50 kW môžu byť závesné, stacionárne, prípadne turbokotly a poloturbokotly. Tieto plynové kotly musia byť inštalované vo vetraných priestoroch. Pri podlahe by mal byť zriadený neuzatvárateľný otvor. Závesné kotly zaberajú malý priestor v miestnosti, nezaberajú pôdorysný priestor a je možné ich umiestniť takmer kdekoľvek (kúpeľňa, špajza a pod.). Majú malý vodný objem, jednoduchú montáž, vyžadujú nízky stupeň obsluhy a na ich

prevádzku je potrebný nútený odvod spalín. Stacionárne kotly majú obyčajne vyššiu životnosť v dôsledku masívnejšieho prevedenia, pričom však zaberajú pôdorysné miesto. Obyčajne sa využívajú na vykurovanie väčších objektov a na prípravu teplej vody. Najpoužívanejším materiálom pri ich výrobe je liatina, čím dosahujú pomerne vysokú hmotnosť, a tak je potrebné ich umiestňovať na betónový podklad.

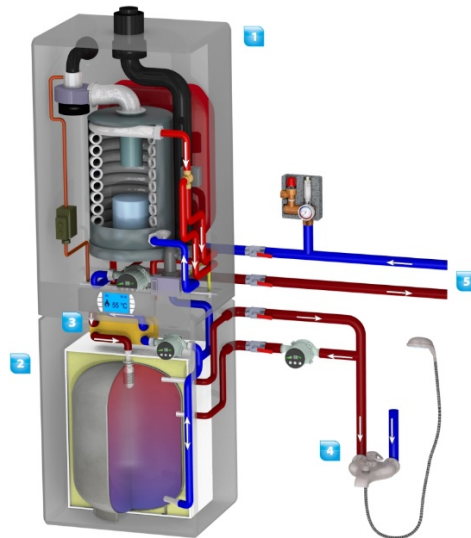
Nízkoteplotné kotly

Nízkoteplotné kotly tzv. druhej generácie, sú konštruované pre stálu prevádzku, kedy sa tvorí kondenzát na stenách výmenníka tepla vzhľadom na nízku teplotu vratnej vykurovacej vody pod 65 °C a teplotu spalín pod 110 °C. Kotly sú vhodné pre nízkoteplotné vykurovacie sústavy. Steny výmenníka tepla sú vyrobené z materiálov vysoko odolných voči korózii. Kotly majú zlepšenú tepelnú izoláciu a minimálne tepelné straty sálaním. Dosahujú nižšie tepelné straty a to hlavne komínovú stratu a vyššiu celkovú tepelnú účinnosť až 94 %. Kotly produkujú spaľovaním plyných palív nižšie emisné škodliviny nielen z dôvodu ich konštrukčného riešenia ale aj z dôvodu vybavenia automatickou reguláciou výkonu horákov a kotlov. Závesné či nástenné nízkoteplotné kotly sa vyrábajú vo výkonoch od 10 do 30 kW. Na rozdiel od stacionárnych disponujú horákmi s modulovaným výkonom, a tým kompenzujú menšiu tepelnú zotrvačnosť a menší vodný objem. Svojimi rozmermi šetria nielen miesto, ale majú v sebe zabudované aj veľké množstvo príslušenstva, napríklad obehové čerpadlo, prepínací ventil na ohrev pitnej vody či expanznú nádobu. Riadiace centrum zaručuje automatickú prevádzku pri vysokom využití.

Kondenzačné 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 a k uvoľneniu kondenzačného tepla. Ich úspornosť teda spočíva v tom, že využívajú aj časť kondenzačného tepla pary obsiahnutej v spalínach. Spotrebujú tak o 15 percent menej energie ako klasické kotly a až o 33 percent menej ako zastarané plynové kotly. Proces kondenzácie prebieha v špeciálnom kotlovom výmenníku, vyrobenom zvyčajne zo zliatin hliníka. Spolu s horákom a ventilátorom tvorí výmenník jadro kotla. Spalinová časť plní rovnakú funkciu ako pri klasických kotloch, výnimočná je ale časť kondenzačná, v ktorej sa ochladzujú (kondenzujú) spaliny. Tým, že spaliny skondenzujú, do ovzdušia sa dostáva už len zvyškové množstvo škodlivín, ktoré je výrazne nižšie ako zákonom stanovené normy na ochranu životného prostredia. S ohľadom na ochladenie spalín sa kondenzačné kotly vyrábajú len v turbo prevedení. Rovnako ako nízkoteplotné kotly, aj kondenzačné sa

vyrábajú v stacionárnej a závesnej verzii. Určitou nevýhodou kondenzačných kotlov je nutnosť odvádzania kondenzátu. Z jedného metra kubického spaľovaného zemného plynu vznikne zhruba 1,5 litra kondenzátu, ktorý musí ísť do kanalizačného systému. Množstvo kondenzovanej vody môže byť na príťaž v domoch, kde splašky putujú do septiku a v kotolniach, ktoré nemajú kanalizačný odtok. (www.mojdom.zoznam.sk)



Obr. 1.18 Schéma vykurovacieho systému s kondenzačným plynovým kotlom: 1 plynový kotol, 2 ohrievač vody, 3 spotreba vody, 4 vykurovanie (www.siea.sk/)

1.4.2 Kotolne pre plynové zdroje tepla s výkonom nad 50 kW

Plynové zdroje tepla s výkonom nad 50 kW sa umiestňujú v samostatných kotolniach. 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.



Obr. 1.19 Příklad plynovej kotolne (www.shutterstock.com)

Pre tieto kategórie platia rôzne požiadavky na umiestnenie kotlov, zaistenie vetrania priestorov kotolne a zabezpečovacie zariadenia. Zmyslom je aktívne zabezpečenie plynových kotolní proti nebezpečenstvu výbuchu plynu a zaistenie bezpečnosti práce obsluhy kotlov. Obecne sú na plynové kotolne kladené tieto požiadavky (*TOPENÁŘSKA PRÍRUČKA, 2001*):

- max. prevádzkový pretlak prívodu plynu 0,3 MPa,
- bezpečnostné vypínanie prívodu elektrickej energie do automatiky horáku na vstupe do kotolne,
- ručne uzatvárateľný hlavný uzáver plynu mimo kotolňu (havarijný uzáver),
- diaľkovo ovládateľný uzáver plynu (pri pretlaku plynu vyššom ako 0,1 MPa),
- kontinuálne indikátory plynu s väzbou na uzatvorenie prívodu plynu (pri pretlaku plynu vyššom ako 0,1 MPa),
- prerušenie prívodu plynu do horáku pri zhasnutí plameňa a ďalších havarijných stavoch,
- 100 % kontrola zvarov plynovej časti (pri pretlaku plynu vyššom ako 0,1 MPa).

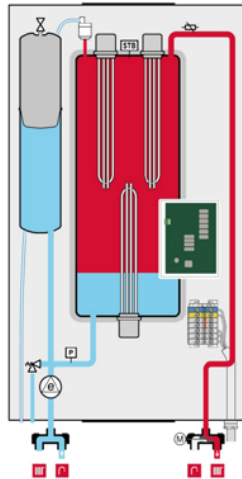
Medzi menej využívané zdroje tepla na plynné palivá patria nízkoteplotné kotly, kondenzačné kotly a plynové tepelné čerpadlá. Rozšírenie kondenzačných a nízkoteplotných kotlov stále rastie, keďže investičné náklady na ne sa približujú cenám tradičných plynových kotlov.

1.5 Zdroje tepla na elektrickú energiu

Elektrická energia je dostupná prakticky všade, dá sa ľahko rozvádzať do všetkých objektov, jednotlivých miestností a veľmi ľahko, s takmer 100 % účinnosťou, sa dá premeniť na teplo. Elektrické vykurovacie systémy môžu preto byť lokálne (pre každú miestnosť zvlášť), malé, lacné a ľahko regulovateľné, prípadne využité na ústredné vykurovanie. Zásadnou nevýhodou elektrickej energie

je však jej relatívne vysoká cena. Dôvodom sú drahé výrobné zariadenia a malá účinnosť výroby z hľadiska spotreby primárneho paliva. Kúrenie elektrinou by teda malo byť vyhradené len pre tie objekty, ktoré majú malé tepelné straty alebo v nich nemožno použiť iný, výhodnejší zdroj energie. Vykurovanie pomocou elektrickej energie môže byť:

- Priamovýhrevné – vykurovacie zariadenie je zapojené po dobu minimálne 20 hodín za deň a pomocou diaľkového ovládania je vypínané na maximálne 2 hodiny. V tomto prípade možno vykurovať elektrickými konvektormi, sálavými panelmi, podlahovým vykurovaním či elektrokotlom, kedy nie je potrebné teplo akumulovať.
- Akumulačné - vykurovacie zariadenie je zapnuté minimálne po dobu 8 hodín denne, spravidla v dvoch časových intervaloch. Takto sa využíva lacnejšia mimošpičková elektrická energia. Získané teplo sa musí vhodným spôsobom akumulovať, aby sa zabezpečilo vykurovanie na dobu zostávajúcich 16 hodín (buď sa používajú akumuláčn é nádrže s vodou alebo akumuláčn é kachle s keramikou tepelno - akumuláčnou hmotou).
- Hybridné – Ide o kombináciu predchádzajúcich spôsobov, kedy základom je akumuláčn é vykurovanie doplnené pre dobu najnižších vonkajších teplôt priamovýhrevným vykurovaním.



Obr. 1.20 Elektrokotol – schéma (www.protherm.sk)

Elektrokotly môžu byť napojené priamo na vykurovaciu sústavu alebo cez akumuláčn ú nádobu, v ktorej sa akumuluje (ukladá) tepelná energia. Elektrokotly sa rozdeľujú podľa prevedenia na elektródové a odporové.

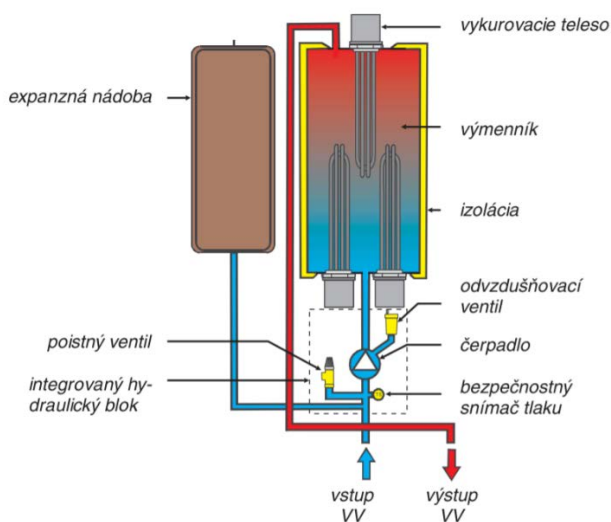
1.5.1 Elektródové elektrokotly

Elektródové kotly je možné použiť len na vykurovanie. Zdrojom tepla je elektrická energia, ktorá je privádzaná do vodného priestoru komory kotla. Vykurovacím odporom je tu samotný vodný roztok, ktorý musí mať presné zloženie.

Výkon kotla je závislý od vodivosti vody, ktorá sa musí pravidelne kontrolovať a v prípade potreby upravovať. Taktiež je výkon kotla závislý na teplote výstupnej vody. Čím je jej teplota vyššia, tým väčší je výkon. To je pomerne nevýhodné pri zakúrení a pri prerušení výkonu pri použití dvojtarifných sadziieb (denná a nočná tarifa), pretože po hodinovej odstavke elektrokotla je potrebné, najmä v chladnom období, čo najskôr plný výkon (JANDAČKA, 2011). Elektródové elektrokotle sú vhodné najmä pre veľké výkony, pretože vyžadujú vysokú odbornosť obsluhy pri prevádzke (dôvodom je nutnosť merať a upravovať vodivosť vody). Ich účinnosť môže dosahovať až 99 % a často sa využívajú na produkciu pary, pričom sú výhodnejšie v prevádzkach s prerušovanými alebo cyklickými operáciami.

1.5.2 Odporové elektrokotly

Odporové elektrokotly sa využívajú najmä pre menšie výkony. Zdrojom tepla je taktiež elektrická energia, ktorá je prevádzaná na tepelnú energiu pomocou odporových telies. Tieto telesá s výkonom 3 – 6 kW sú zasunuté priamo do vykurovacieho média, pričom v dôsledku prechodu elektrického prúdu sa odporové teleso rozžeraví. Následne sa teplo prenáša so vykurovacieho média a jeho teplota sa zvýši na požadovanú úroveň. Termostat riadi tok elektrického prúdu, čím sa ovplyvňuje aj vykurovanie. Termostat obsahuje bimetalový pásik a je prepojený s elektrickým relé. Ak teplota klesne pod určitý bod, relé sa zopne a odporovým telesom začne prúdiť elektrický prúd.

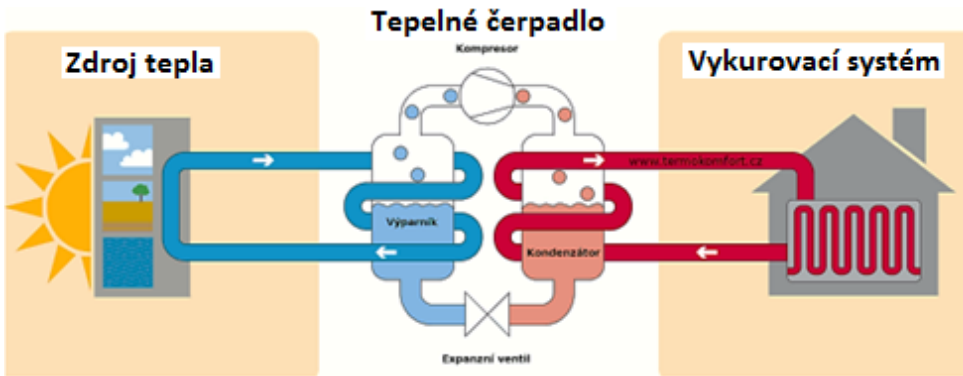


Obr. 1.21 Schéma odporového elektrokotla (www.protherm.sk)

1.6 Tepelné čerpadlá

Tepelné čerpadlá ako transformátory nízkoenergetického tepla na teplo úžitkové sa začali v ostatnom čase veľmi výrazne nasadzovať do vykurovacích

systémov hlavne nízkoenergetických stavieb aj na Slovensku. Rozvoj použitia tepelných čerpadiel v Slovenskej republike v porovnaní s ostatnými európskymi krajinami je zatiaľ minimálny, čo je zapríčinené nielen malou a často nesprávnou informovanosťou potenciálnych užívateľov o možnostiach tejto technológie výroby tepla a chladu, ale hlavne absenciou významnejších štátnych finančných alebo iných stimulácií pre využitie tepelných čerpadiel. Systémy tepelných čerpadiel sú zariadenia, ktoré generujú teplo z nízkopotenciálneho zdroja na vyššiu teplotnú hladinu a používajú sa buď na účely prípravy teplej vody alebo na vykurovanie vnútorných priestorov. Tepelné čerpadlá všeobecne používajú cyklus kompresie pár alebo absorpčný cyklus. Hoci cyklus parnej kompresie siaha až do roku 1834 a prvý komerčný stroj bol vyrobený v 1850, TČ neboli tak populárne, vzhľadom na ich vysoké investičné náklady. (ČENDEL, 2006)



Obr. 1.22 Princíp kompresorového tepelného čerpadla (www.termokomfort.cz)

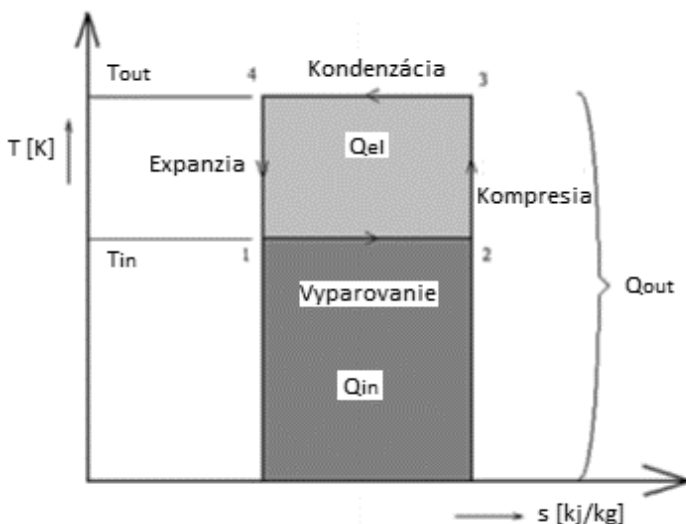
Vo veľkej miere nasadenia tepelných čerpadiel ide o tepelné čerpadlá s kompresorovým chladiacim obhom. Tepelné čerpadlá s kompresorovým chladiacim obhom s pohonom kompresora elektromotorom dokážu na základe termodynamickej transformácie nízkopotenciálnej energie (zadarmo z prírody) získať 100 % úžitkovej tepelnej energie spotrebou cca 80 – 85 % primárnej energie. I keď tepelné čerpadlá majú vykurovací faktor 3 až 4, elektrická energia sa vyrába s účinnosťou cca 34 – 37 %, a tak celková transformácia primárnej energie je potom na úrovni cca 85 %. Ako ukazujú niektoré doterajšie analýzy, účinnejšia transformácia primárnej energie na teplo sa dá dosiahnuť použitím tepelných čerpadiel s kompresorovým chladiacim obhom s pohonom kompresora spaľovacím motorom na zemný plyn. V tomto prípade je možné zo získanej mechanickej energie cez kompresorový chladiaci obch a z jalovej nízkopotenciálnej energie okolia získať 2/3 potrebného tepla teploty cca 55 °C a 1/3 tepla úrovne cca 70 - 80 °C z chladienia spaľovacieho motora. Takže v tomto prípade na získanie 100 % úžitkovej tepelnej energie sa spotrebuje len cca 65 – 70 % primárnej energie. Kým využívanie kogeneračných jednotiek s motorom na zemný plyn je na Slovensku už pomaly bežné, aplikácia plynových tepelných čerpadiel pre potreby vykurovania je ešte len

v štádiu pilotných projektov. A to je úroveň plynofikácie na Slovensku druhá najvyššia v Európskej únii a distribučná sieť pokrýva 92 % územia Slovenskej republiky.

1.6.1 Princíp tepelných čerpadiel

Tepelné čerpadlo potrebuje na svoj pohon určité množstvo energie. Na jeho pohon môže slúžiť naftový, plynový, spaľovací motor alebo elektromotor. Zariadenie možno rozdeliť na dva okruhy: primárny a sekundárny.

V primárnej časti je vždy umiestnený výmenník, ktorý predstavuje výparník. Do výparníka pomocou média prestupuje teplo zo zdroja (voda, zem, vzduch) a do jeho druhej strany sa pomocou trysky expanzného ventilu vstrekuje chladivo. Chladivo sa rýchlo odparuje, pretože tlak v termostatickom ventile je nižší. Celý výparník sa podchladzuje na teplotu nižšiu, ako je teplota zdroja. Platí tu druhá termodynamická veta. Keď kompresor chladivo stlačí, rýchlo sa zohreje a dosiahne na výtlaku teplotu vyššiu, než voda vo vykurovacom systéme. Chladivo je vedené do druhej časti výmenníka, alebo takzvaného kondenzátora, kde skondenzuje. Teplo, ktoré chladivo obsahovalo, odovzdá do vykurovania. Tento cyklus sa stále dookola opakuje. (ŽERAVÍK, 2003)



Obr. 1.23 Teoretický pracovný cyklus tepelného čerpadla, T – teplota [K], S – entropia [kJ/kg], T_{in} – teplota zdroja [K], T_{out} – teplota na výstupe [K], Q_{in} – energia získaná zo zdroja pri teplote T_{in} , Q_{el} – energia dodaná do pracovného zdroja pri teplote T_{in} , Q_{out} – súčet energií Q_{in} a Q_{el} , výsledná energia, ktorá je pri teplote T_{out} dodávaná do vykurovacieho systému. (ŽERAVÍK, 2003)

Pracovný cyklus je zložený z niekoľkých fáz: 1 – 2 Izotermické vyparovanie, plyn sa izotermicky rozpína, 2 – 3 Adiabatická kompresia, dochádza k stlačovaniu plynu, ktorý je dokonale tepelne izolovaný. Nedochádza k výmene tepla s okolím. 3

- 4 Izotermická kondenzácia, stlačovanie plynu za konštantnej teploty. 4 – 1
Adiabatická expanzia, dochádza k expanzii plynu, ktorý je dokonale tepelne izolovaný. Nedochádza k výmene tepla s okolím. (ŽERAVÍK, 2003)

1.6.2 Rozdelenie tepelných čerpadiel

Tepelné čerpadlá sa rozdeľujú do niekoľkých skupín, podľa spôsobu získavania tepla. Voľba primárneho zdroja tepla má zásadný vplyv na ich konštrukciu a vlastnosti. Pri tepelných čerpadlách, vždy prvé slovo znamená zdroj nízkopotenciálneho tepla a druhé slovo médium, ktorému je teplo odovzdávané. (ŽERAVÍK, 2003)

Tepelné čerpadlá vzduch – voda

Tepelné čerpadlo nasáva vzduch okolitého prostredia, z ktorého odoberá tepelnú energiu. Výparník s ventilátorom sú umiestnené vonku a vnútorná jednotka zase v interiéri. Tepelné čerpadlá sa skladajú z dvoch častí, ktoré sú spojené medenými rúrkami, v ktorých koluje chladivo. Zariadenia tohto typu sú ľahko inštalovateľné a nemusia sa robiť žiadne výkopové práce (*obr. 1.24*). Uplatňujú sa najmä pri vyhrievaní bazénov. Ich nevýhodou je kolísava vonkajšia teplota. S klesajúcou teplotou klesá tiež účinnosť čerpadla. Keď účinnosť čerpadla klesne pod určitú hranicu, tak sa musí zapnúť iný zdroj tepla. V súčasnosti sú tepelné čerpadlá systému vzduch - voda schopné pracovať až do $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pri teplotách nižších ako $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ výrazne klesá efektívnosť týchto čerpadiel a tým aj faktor COP. (ŽERAVÍK, 2003, SRDEČNÝ, 2005)

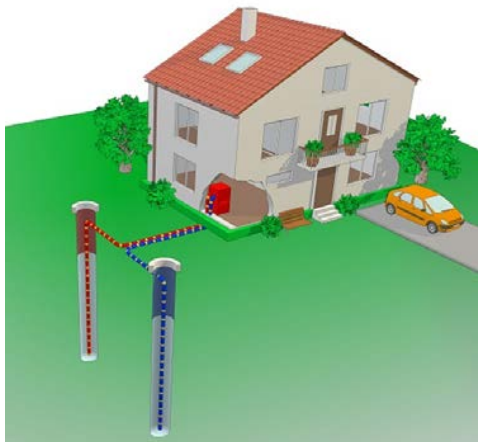


Obr. 1.24 Tepelné čerpadlo vzduch – voda (vytapani.tzb-info.cz)

Tepelné čerpadlá voda – voda

Voda, ako zdroj nízkopotenciálneho tepla je často hodnotená ako najlepšia. Toto hodnotenie získava najmä vďaka svojim fyzikálnym vlastnostiam, medzi ktoré patrí vysoká tepelná kapacita a teplotná stabilita. Je to ideálne médium na prenos tepla. Teplo môže byť čerpané z povrchových tokov, stojatých povrchových vôd

alebo z podpovrchových vôd. (MEČARIK a kol. 1988)



Obr. 1.25 Tepelné čerpadlo voda - voda, studňa (vytapani.tzb-info.cz)

K tepelného čerpadla s využitím podzemnej vody sú potrebné dve studne, a to jedna zdrojová a druhá vsakovacia. Mali by byť od seba vzdialené minimálne 15 m. Odber tepla z podzemnej vody patrí k problematickejším systémom. Na jednej strane ponúka zdroj tepla s relatívne vysokou teplotou 7 až 12 °C, na druhej strane je toto riešenie spojené s niekoľkými rizikami. V prvom rade je treba mať k dispozícii dostatočné množstvo podzemnej vody (cca 180 l/h na jeden kW výkonu tepelného čerpadla). Druhou podmienkou je čistota vody, v ktorej by sa nemalo nachádzať nadmerné množstvo nečistôt. Overenie výdatnosti serióznymi, dostatočne dlhými čerpacími skúškami by sa rozhodne nemalo podceňovať. Realizačná cena týchto štúdií býva nižšia než u geotermálnych vrtov, ale prevádzkové náklady sú vďaka spotrebe elektriny na pohon ponorného čerpadla vyššie.

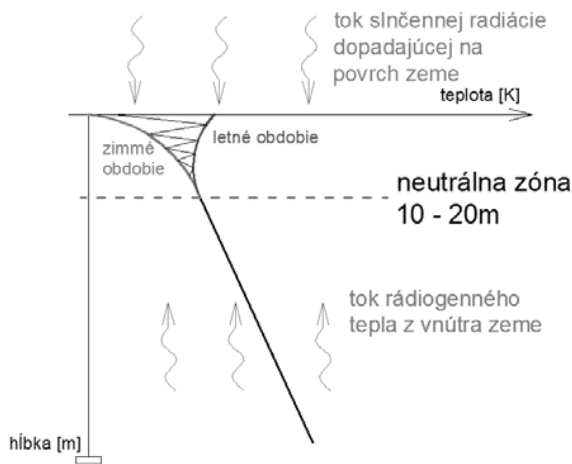
Rieky, rybníky a iné vodné plochy sú v inštaláciách tepelných čerpadiel skôr raritou. Ich využívanie je spojené s náročnou administratívou a predovšetkým so súhlasom ich majiteľa alebo správcu. Okrem toho teplota vody v povrchových tokoch je kolísajúca. Pri takýchto inštaláciách sa nečerpá priamo voda, ale na dno sa inštalujú hadice ako v prípade plošného kolektora. Dôvodom sú nízke teploty vody v zimnom období, kedy by mohla voda pri ochladení v tepelnom čerpadle zamrzieť. Do jazera alebo rybníka je možné uložiť plošný kolektor (hadica z PE s rozstupom 1 m), ktorý sa zaťažený ukladá na dno. Tepelné čerpadlo je napájané obdobným spôsobom ako systém zem/voda. (www.abeceda-cerpadel.cz)

Tepelné čerpadlá zem - voda

Ďalšou možnosťou získavania tepla pomocou tepelných čerpadiel je možnosť využiť nízkopotenciálne teplo zeme. Pod pojmom nízkopotenciálne teplo zeme rozumieme tepelný tok v zemskej kôre s relatívne nízkym potenciálom. Tento tok možno rozdeliť do dvoch základných skupín:

- tepelný tok slnečnej radiácie dopadajúcej na povrch Zeme,
- tok rádiogenného tepla z vnútra Zeme.

Teplo dopadajúce na povrch zeme pôsobením slnečnej radiácie je veľmi nestabilné a ovplyvňuje tepelný tok v zemskej hornine do hĺbky 10-20 metrov (neutrálna zóna). Sezónne a denné zmeny intenzity slnečnej radiácie a teploty vonkajšieho vzduchu vyvolávajú kolísanie teploty povrchových vrstiev Zeme (obr. 1.26). Tepelný režim vo väčšej hĺbke ako je hĺbka neutrálnej zóny sa formuje účinkom tepelných vlastností zemského jadra. Tok rádiogenného tepla z vnútra zeme je prakticky stabilný a nedochádza k jeho ovplyvňovaniu žiadnymi faktormi, či už sezónnymi alebo inými zmenami počasia a teploty. Teplota zeme s hĺbkou narastá podľa geotermického gradientu (približne $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ na každých 100 m). Veľkosť toku rádiogenného tepla z vnútra Zeme pre rôzne oblasti sa odlišuje. Pre centrálnu Európu táto veľkosť predstavuje približne $0,05\text{--}0,12\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.



Obr. 1.26 Tepelné toky prenikajúce na zemský povrch

Priestor medzi pevnými časticami v hornine môže byť zaplnený mineralizovanou vodou, plynom, parou, ľadom alebo súčasne niekoľkými zložkami. Modelovanie procesov prenosu tepla vytvárajúcich tepelný režim viackomponentného systému je celkom náročnou úlohou, nakoľko je potrebný matematický popis rôznych mechanizmov ich realizácie:

- tepelnej vodivosti v jednotlivých častici,
- odovzdanie tepla od jednej častice druhej pri ich styku,
- molekulárnej tepelnej vodivosti v prostredí, ktoré vyplňa vzdialenosť medzi časticami,
- prúdenia pary a vody v pórovitom priestore a mnoho ďalších.

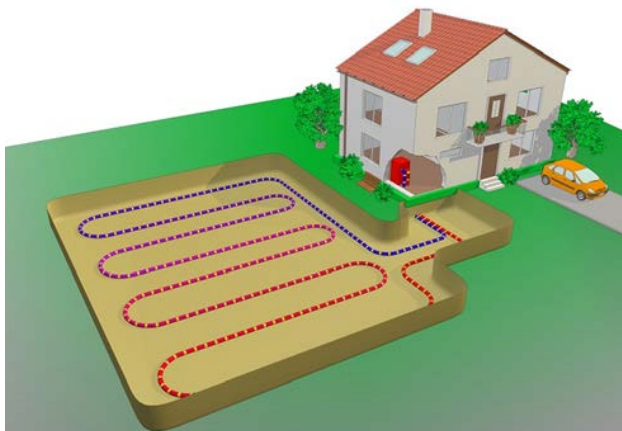
Zvlášť je potrebné pozastaviť sa nad pôsobením vlhkosti pôdneho komplexu a migrácie vody v pórovitom priestore na tepelné procesy, ktoré určujú charakteristiky pôdy ako zdroja nízkopotenciálnej tepelnej energie.

V kapilárnom poréznom systéme akým je pôdny komplex systému tepelného zberu, má prítomnosť vlhkosti v pórovitom priestore veľký vplyv na priebeh šírenia tepla. To môže byť spojené s veľkými ťažkosťami, ktoré v prvom rade súvisia s nedostatkom jasnej predstavy o charaktere rozmiestnenia pevnej, tekutej a plynnej fázy vlhkosti v štruktúre systému. Doteraz nie je vyjasnený charakter väzby vlhkosti s časticami skeletu systému, závislosť foriem väzby vlhkosti s podkladom na rôznych stupňoch zvlhčovania, mechanizmus premiestňovania vlhkosti v pórovitom priestore.

Pri výskyte teplotného gradientu v komplexe pôdy sa molekuly pary premiestňujú na miesta so zníženým teplotným potenciálom, ale zároveň pri pôsobení tiažových síl vzniká opačne nasmerovaný tok vody v kvapalnej fáze. Okrem toho, na teplotný režim povrchových vrstiev Zeme vplýva voda atmosférických zrážok a tiež podzemné vody. (SIDOROVÁ, 2006)

1.6.3 Spôsoby získavania nízkopotenciálneho tepla

Horizontálne výmenníky tepla – známe tiež pod pojmom plošné kolektory (výmenníky), kedy sa potrubný systém polyetylénových alebo polyuretánových hadíc umiestňuje do vopred vykovaných kanálov v hĺbke od 1,5 do 2 metrov na ploche pozemku. Čím väčšia dĺžka potrubia na väčšiu plochu, tým vyšší získaný výkon zo zeme. Systém pracuje pri nútenom obehu pracovnej látky.

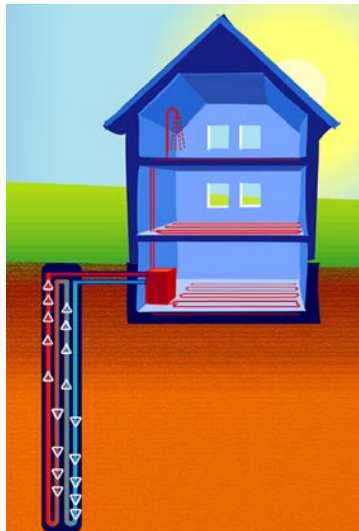


Obr. 1.27 Tepelné čerpadlo zem - voda, plošný kolektor (vytapani.tzb-info.cz)

Inovatívnu metódou tohto princípu pri získavaní tepla je metóda šikmého, resp. horizontálneho suchého vrtu. Táto technológia je veľmi šetrná k životnému prostrediu, výhodná z hľadiska nákladov a predstavuje ekvivalentnú alternatívu k zvislej vrtnej technike. Môže sa realizovať s malým vrtacím zariadením, dopraviteľným prakticky kdekoľvek. Samotný vrt predstavuje alternatívne riešenie medzi kolmým vrtom a horizontálnym kolektorom. Jeho dĺžka sa pohybuje od 15 m do 1 km. Systém využíva obeh s núteným obehom tepelného nosiča s využitím

najmä soľankového média. Teplo je čerpané z pôdy, ale najnovšie technológie umožňujú využiť tento systém pri čerpaní tepla akumulovaného v jazere. Celý proces prebieha pod jeho samotným dnom v pôde, kde vytvorený vrt s aplikovaným potrubím tepelného obehu média zaliatym v bentonitovej zmesi odoberá teplo z pôdy pod jazerom. S najnovšími technológiami sa môžeme dostať až do vzdialenosti 2,1 km šírky jazera. V potrubí uzavretého obehu prebieha fáza ohrevu soľankového média, čím dochádza k prenosu tepla k výmenníku tepelného čerpadla. Je to veľmi efektívny spôsob využitia veľkého zdroja tepelnej energie s minimálnym dopadom na životné prostredie. (BAYER, 2007)

Vertikálne zemné výmenníky tepla - (z anglického BHE – borehole heat exchanger) dovoľujú využiť nízkopotenciálnu tepelnú energiu pôdneho komplexu, ktorý sa nachádza hlbšie ako neutrálna zóna (10 – 20 m od úrovne povrchu zeme). Systémy s vertikálnymi výmenníkmi tepla si nevyžadujú veľké plochy a nezávisia od intenzity slnečnej radiácie, ktorá dopadá na povrch zeme. Vertikálne výmenníky tepla efektívne pracujú prakticky vo všetkých geologických prostrediach, okrem pôd s nízkou tepelnou vodivosťou, napríklad v suchom piesku alebo suchom štrku. Systémy s vertikálnymi výmenníkmi tepla majú veľmi široké využitie.

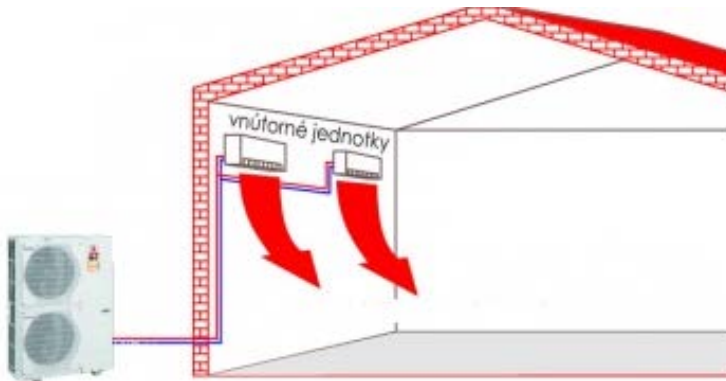


Obr. 1.28 Tepelné čerpadlo zem - voda, zemný vrt (www.vse.sk)

Celková dĺžka suchého vrtu je daná druhom podložia a výkonom tepelného čerpadla. Čím je dom väčší, tým je väčší výkon čerpadla, a tým je potrebná väčšia hĺbka vrtu. Dĺžku vrtu ovplyvňuje kvalita zemského podložia, lebo nie každé podložie dokáže rovnako efektívne odovzdať teplo (energiu) kvapaline v potrubí. Najlepšiu tepelnú výdatnosť má kompaktná skala až 70 W/m. Najhoršiu tepelnú výdatnosť majú íly, piesky a suty, tie majú tepelnú výdatnosť 30 až 40 W/m. Oproti kompaktnej skale to môže znamenať aj dvojnásobok hĺbky vrtu. Ak je dĺžka vrtu poddimenzovaná, môže byť teplota teplotnosného média nižšia.

Tepelné čerpadlá vzduch – vzduch

Tepelné čerpadlá typu vzduch – vzduch sú veľmi využívané, ich princíp spočíva v odobratí tepla z vonkajšieho prostredia, teda vzduchu a následne jeho odovzdania pomocou vnútornej jednotky (klimatizačné zariadenie) okolitému vzduchu v objekte. Ak je tepelné čerpadlo v režime chladenia, pracuje presne naopak, teda teplo odberá z interiéru a odovzdáva ho do vonkajšieho prostredia. Veľkou výhodou je ich rýchly nábeh vykurovania, preto sú využívané v objektoch s veľkým objemom vzduchu. Ich nevýhodou je, že nemajú akumuláciu funkciu a ohrev teplej vody je obmedzený.



Obr. 1.29 Tepelné čerpadlo vzduch - vzduch (www.vykuruj.sk)

2 PALIVÁ

Palivo je každá látka, ktorá pri chemických alebo jadrových reakciách uvoľňuje značné množstvo energie vo forme tepla. Palivá využiteľné na energetické a technologické účely by mali spĺňať nasledujúce požiadavky:

- musia sa vyskytovať v dostatočnom množstve,
- pri skladovaní by sa nemali podstatne meniť ich vlastnosti,
- pomerne jednoduchá úprava pred samotným procesom uvoľňovania tepla z paliva,
- dostatočne rýchle a pritom ovládateľné uvoľnenie tepla,
- ekonomická prijateľnosť ich využívania,
- čo najmenší vplyv na znečisťovanie životného prostredia.

2.1 Rozdelenie palív

Palivá, z ktorých sa energia uvoľňuje vo forme tepla v dôsledku chemických reakcií, sa rozdeľujú podľa :

- Skupenstva – tuhé, kvapalné alebo plynné.
- Pôvodu – prírodné a umelé.
- Geologického veku – fosílné a recentné.
- Stupňa úpravy – surové, zušľachtené a prepracované.
- Použitia – technologické a energetické.

2.2 Fosílné palivá

Fosílné palivá sú nerastné suroviny, ktoré vznikli premenou odumretých zvyškov rastlín a tel živočíchov bez prístupu vzduchu. Považujú sa za vyčerpatel'ny neobnovitel'ny zdroj energie, pretože vhodné podmienky pre ich vznik, ako boli v dávnej minulosti, sa už nemusia opakovať. Podľa skupenstiev rozlišujeme pevné palivá (uhlie – premenou rastlín), kvapalné palivá (ropa – premenou živočíchov) a plynné fosílné palivá (zemný plyn – premenou živočíchov). (www.kekule.science.upjs.sk) Výhrevnosť niektorých fosílnych palív je uvedená v Tab. 2.1.

Tab. 2.1 Výhrevnosť fosílnych palív

Druh paliva	Výhrevnosť [MJ.kg ⁻¹]
Hnedé uhlie	11,0 ÷ 18,0
Čierne uhlie	20,9 ÷ 31,4
Koks	30,7
Benzín	42,7
Metán	49,6

2.2.1 Tuhé fosílné palivá

Tuhým fosílnym palivom je uhlie. Uhlie je horľavá hornina, ktorá vznikla z prvohorných prasičiek a plavúňov (odumretých rastlín) zložitými biochemickými a geochemickými procesmi počas desiatok miliónov rokov. Proces vzniku uhlia je znázornený na obr. 2.1.



Obr. 2.1 Proces vzniku uhlia (www.kekule.science.upjs.sk)

Uhlie je zložitá zmes tuhých látok, ktorých obsah závisí od veku a pôvodu uhlia. Obsahuje látky s vysokou relatívnou molekulovou hmotnosťou. Okrem uhlia (70 až 90 %) obsahuje aj ďalšie prvky: vodík, kyslík, dusík, síru a anorganické soli. Chemické zloženie uhlia je zobrazené v Tab. 2.2. (www.kekule.science.upjs.sk)

Tab. 2.2 Chemické zloženie uhlia

Typ uhlia	Prvok [%]			
	C	H	O	N
Hnedé uhlie	60 ÷ 70	5 ÷ 6	20 ÷ 30	0,5 ÷ 1,5
Čierne uhlie	75 ÷ 90	4,5 ÷ 5,5	5 ÷ 15	1 ÷ 1,5
Antracit	90 ÷ 95	2 ÷ 3	2 ÷ 3	0,1 ÷ 0,5

Dôkazom prítomnosti minerálnych látok v uhlí je popol, ktorý vzniká po spálení uhlia. Kvalita uhlia ako paliva závisí od obsahu uhlíka. Okrem paliva sa uhlie využíva ako surovina v chemickom priemysle. Rozlišuje sa niekoľko druhov uhlia, ale v zásade rozoznávame uhlie hnedé, čierne a antracit.

Geologicky najstaršie uhlie s vyššou výhrevnosťou (asi nad 24 MJ.kg^{-1}) nazývame čierne, s nižšou hnedé uhlie. Najmladšie tuhé fosílné palivo sa nazýva lignit, ktoré má najmenšiu výhrevnosť v porovnaní s čiernym a hnedým uhlím. Antracit je najkvalitnejšie uhlie a je energeticky najhodnotnejší. Charakteristickým

znakom hnedého uhlia je nižší stupeň preuhoľnenia. Podľa stupňa preuhoľnenia môžeme všetky druhy hnedého uhlia rozdeliť na fosílné drevo, xylit a metaxylit. Charakteristickým znakom čierneho uhlia je značné preuhoľnenie. Antracit je produktom najvyššej formy preuhoľnenia rastlinných zvyškov. Ide o vysoko lesklé, veľmi tvrdé uhlie, ktoré sa veľmi ťažko zapáľuje a na horenie potrebuje veľký prebytok vzduchu. Na Slovensku (obr. 2.2) sa najväčšie náleziská hnedého uhlia nachádzajú v hornonitrianskej a handlovskej kotline (Prievidza, Cigelf, Lehota pod Vtáčnikom, Nováky a Handlová), v okolí Veľkého Krtíša (baňa Dolina) a pri Obyciach (ložisko bolo ťažené v minulosti). Hnedé uhlie s najnižšou výhrevnosťou, lignit, sa ťaží na Záhorí v okolí obce Čáry. Malé ložiská čierneho uhlia, konkrétne antracitu, sú v Zemplínskych vrchoch, ťažba je však nerentabilná, a preto sa čierne uhlie dováža z Česka.



Obr. 2.2 Náleziská uhlia na Slovensku (www.uzviem.blogspot.com)

Významnými producentmi uhlia sú Čína, USA, India, Austrália, Južná Afrika, Rusko, Indonézia, Kazachstan, Poľsko, Kolumbia. Z toho 3 krajiny sveta USA, Rusko a Čína majú približne 2/3 svetových zásob uhlia. (GADONNEI, 2010)

V súčasnosti v celosvetovej výrobe uhlia dominuje Čína a tvorí takmer polovicu celkovej produkcie. Zdá sa však, že čínska produkcia uhlia dosiahla svoj vrchol a pokračuje miernym poklesom v posledných rokoch. (BP REVIEW, 2018)

Vrstvy uhlia sú uložené pod zemou v slojoch. Niektoré vrstvy uhlia sa nachádzajú v blízkosti povrchu a dajú sa ťažiť rýpadlami. Povrchovo sa ťaží najmä hnedé uhlie. Väčšina vrstiev je však uložená oveľa hlbšie. Musia ich dolovať baníci, ktorí používajú ťažké stroje. Hlbinným spôsobom sa ťaží najmä čierne uhlie. Ťažbu možno vykonávať hlbinne - vykopením štôlní (horizontálnych tunelov) v tzv. hlbinných baniach alebo povrchovým spôsobom v lomoch, tento spôsob je ekonomicky menej náročný a lacnejší.

Výber ťažobného spôsobu závisí od mnohých technologických,

ekonomických a sociálnych faktorov, napr. minimálny počet spojov, hrúbka a strmosť každej žily, povaha a hrúbka vrstvy pokrývajúcej žilu, kvalita uhľových slojov, topografia povrchu, povrchové vlastnosti, dopravné siete, dopyt po energii a jej rast, dodávky a náklady na stavbu, kvalita uhlia a náklady na úpravy uhlia, predajné ceny uhlia, pokroky v technológii, dostupnosť pracovnej sily, miestna alebo regionálna podpora vlády.

2.2.2 Kvapalné fosilné palivá

Do kategórie kvapalné palivá, patria palivá, ktorých základom býva obyčajne ropa. Ropa je najuniverzálnejšie kvapalné palivo, v prírodnom stave sa ako palivo nepoužíva. Tvoria ju zmesi rôznych druhov uhľovodíkov a menšieho množstva kyslíkových, dusíkových a sírových zlúčenín. Ako energetické palivo sú najvhodnejšie umelé palivá (napr. vykurovacie oleje), ktoré vznikajú ako zvyšky po destilácii ropy, pri spracúvaní dechtov alebo ako produkty priameho spracovania uhlia. Podľa kvality sa kvapalné palivá rozdeľujú do podskupín:

- ťažké kvapalné palivá – mazuty,
- ľahké kvapalné palivá – ľahké vykurovacie oleje,
- extraľahké kvapalné palivá, ktoré tvoria podskupinu moderných a ekologických vykurovacích olejov s obsahom síry do 0,3 %.

Ľahký vykurovací olej sa vykazuje nízkym obsahom síry, pretože síra sa z neho odstráni pri rafinačnom procese. V porovnaní s ťažkým, veľmi hustým vykurovacím olejom má nižšiu viskozitu. Pre obsah parafínov nesmie jeho teplota klesnúť pod 10 °C, pretože začína tuhnúť. Svojimi vlastnosťami sa výrazne približuje motorovej naftě a pre rozlíšenie od motorovej nafty sa do ľahkých vykurovacích olejov pridáva farbivo a značkovacie látky. Ešte nižšiu viskozitu, akou sa vyznačuje ľahký vykurovací olej má extra ľahký vykurovací olej. Jedná sa o zmes kvapalných uhľovodíkov získavaných z ropy destiláciou. Ťažké oleje sú produktmi, ktoré pochádzajú z rôznych druhov surovej nafty. Skladajú sa prevažne zo zvyškov po rafinácii nafty. (MIKULÍK, 2009)

Medzi nevýhody ťažkých vykurovacích olejov patrí tvorenie usadenín z olejov v potrubíach a nádržiac, vo filtroch, na výhrevných plochách ohrievača oleja a ďalej nutnosť predohrievať ťažké vykurovacie oleje na pomerne vysoké teploty 130 až 145 °C, čo si vyžaduje určitú spotrebu tepla. Palivo sa musí predohrievať preto, aby získalo vhodnú viskozitu pre dokonalé rozprašenie. Z týchto dôvodov musí byť potrubie vykurovacieho oleja ohrievané až k horáku, a to má za následok radu konštrukčných komplikácií. (RYBÍN, 1985)

Ropa je charakterizovaná ako hnedočierna olejovitá fosilná kvapalina ľahšia ako voda, s charakteristickým zápachom. Ropa je zmes uhľovodíkov, zvyčajne zložená z alkánov, cykloalkánov a arénov. Neobsahuje alkény. Pomer uhľovodíkov sa mení podľa náleziska (ruská a tumunská ropa obsahuje aj cyklické uhľovodíky, ropa z Bornea aj arény). Okrem uhľovodíkov sa v rope nachádzajú v malom

množstve aj kyslíkaté, dusíkaté a sírne organické zlúčeniny, ktoré spôsobujú jej nepríjemný zápach. (*kekule.science.upjs.sk*) Chemické zloženie ropy je uvedené v Tab. 2.4.

Tab. 2.3 Chemické zloženie ropy

Prvok	Percentuálne zastúpenie [%]
C	83 ÷ 87
H	10 ÷ 14
N	0,1 ÷ 2
O	0,1 ÷ 1,5
S	0,5 ÷ 6
Kovy	menej ako 0,1

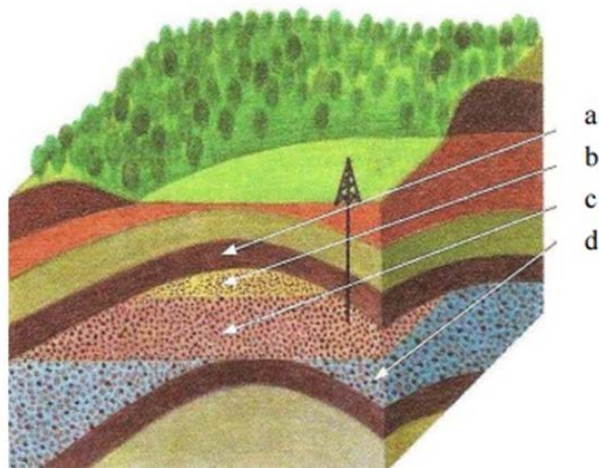
Z chemického hľadiska je ropa heterogénna zmes kvapalných, tuhých a plynných uhl'ovodíkových a neuhl'ovodíkových zložiek. V rope sa rozpúšťajú takmer všetky tuhé uhl'ovodíky a tuky.

Medzi základné technologické charakteristiky ropy patrí hustota stanovená pri teplote 20 °C a atmosférickom tlaku, s korekciou na teplotu 4 °C (kvôli zmenám hustoty vody). V závislosti od obsahu rozpustených látok sa pohybuje v rozmedzí od 0,61 – 0,85 g.cm⁻³ pre ľahké ropy, 0,85 – 0,93 g.cm⁻³ pre stredne ťažké až 0,93 – 1,05 a viac g.cm⁻³ pre veľmi ťažké ropy. Index lomu ropy je 1,39 až 1,60. Výhrevnosť ropy sa pohybuje v rozmedzí 43 – 47 MJ.kg⁻¹. Jej teplota tuhnutia býva už pri 15 °C.

Medzi najdôležitejšie vlastnosti ropy patria:

- Vôňa ropy, ktorá závisí od jej zloženia. Príjemnou vôňou sa vyznačujú ropy metánové a nafténové, kým ropy s obsahom nenasýtených uhl'ovodíkov, dusíkatých a sírnych zložiek, napr. H₂S, majú nepríjemný zápach.
- Farba ropy, ktorá závisí od jej zloženia. Čierna, hnedá, do zelena alebo do červena, môže mať aj bielu farbu a napr. nafta ťažená pri Surachanoch (bývalé ZSSR) fluoreskuje.
- Viskozita ropy, ktorá je dôležitou vlastnosťou pri transporte ropy. Závisí od chemického zloženia. Veľmi viskózne ropy sú tmavé. (KLENOVČANOVÁ, 2008)

Ložisko ropy a zemného plynu je znázornené na obr. 2.3.



Obr. 2.3 Ložisko ropy a zemného plynu: a) vrstva ilovca, b) zemný plyn, c) ropa, d) voda
(www.kekule.science.upjs.sk)

2.2.3 Plynné fosílné palivá

Plynným fosílnym palivom je zemný plyn. Zemný plyn je zmes plyných uhlíkovdík, ktorých najväčšie zastúpenie má metán, ďalej sú tam alkány, s malým počtom uhlíkových atómov – etán, propán, izobután. Zemný plyn často sprevádza ropu, ale vyskytuje sa aj samostatne. Ak je tvorený takmer čistým metánom, hovoríme o tzv. suchom zemnom plyne. V prípade, že obsahuje väčšie množstvo uhlíkovdík, ktoré sa dajú za zvýšeného tlaku skvapalniť (C_3 a C_4), ide o tzv. mokry zemný plyn. Zemný plyn často obsahuje prímеси, ktoré sa musia pred jeho ďalším spracovaním odstrániť. K najbežnejším patrí sulfán, oxid uhličitý, prípadne dusík a hélium. (www.kekule.science.upjs.sk)

Zemný plyn je bezfarebný, horľavý a výbušný plyn, ktorý nie je jedovatý a má zanedbateľné toxické vlastnosti. Je ľahší ako vzduch a je bez chuti a zápachu. Zloženie a výhrevnosť plynu výrazne závisí od jeho pôvodu (náleziska). (ROJKOVIČ, 2006) Podľa percentuálneho zastúpenia látok v zmesi sa delí zemný plyn na dva druhy:

- Zemný plyn H (high – vysoký energetický obsah) je plyn, ktorého spaľovacie teplo ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $101\ 325\ \text{Pa}$) leží v rozmedzí 40 až $46\ \text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ ($11,1$ až $12,8\ \text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$). Podiel nehorľavých zložiek ($\text{N}_2 + \text{CO}_2$) je nižší ako 5% obj.
- Zemný plyn L (low – nízky energetický obsah) je plyn, ktorého spaľovacie teplo ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $101\ 325\ \text{Pa}$) leží v rozmedzí 33 až $38\ \text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ ($9,15$ až $10,5\ \text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$). Podiel nehorľavých zložiek ($\text{N}_2 + \text{CO}_2$) je nižší ako 5% obj.

Zásoby zemného plynu sa členia do troch kategórií:

- Preukázateľné zásoby, ktoré sú v súčasnej dobe technologicky i ekonomicky ťažiteľné. Skoro tri štvrtiny týchto zásob sa nachádzajú na pevnine, zvyšok

v morských šelfoch.

- Pravdepodobné zásoby, ktoré sú objavené, ale ložiská nie sú doposiaľ technicky vybavené. Neskôr by sa tieto zásoby s najväčšou pravdepodobnosťou mali premeniť na zásoby preukázateľné.
- Potenciálne zásoby, ktoré by mohli byť v budúcnosti ťažené, ale zatiaľ sa nevyvinuli technológie, pomocou ktorých by sa dal zemný plyn z týchto zásob ťažiť (napr. hydráty v zemskej kôre). (www.vyhodna.energia.sk)

Zemný plyn spravidla obsahuje látky, ktoré by mohli negatívne pôsobiť na distribučné systémy. Sú to v prvom rade voda a sírne látky, ktoré by mohli spôsobovať koróziu zariadení. Vysoký obsah vlhkosti môže byť príčinou upchávania plynovodov, pretože s metánom môže voda za určitého tlaku a teploty tvoriť pevné hydráty. Vyťažovaný zemný plyn ďalej obsahuje prach, ktorý by mohol byť príčinou porúch kompresorových a regulačných staníc. Každý zemný plyn sa po ťažbe suší a zbavuje pevných častíc (prachu), prípadne sa odstraňujú vyššie uhl'ovodíky a sírne látky, ak sú prítomné.

Zemný plyn sa používa ako palivo na vykurovanie, vo forme stlačeného zemného plynu (CNG) ako palivo pre motory vozidiel a tiež ako zdroj vodíka pri výrobe dusíkatých hnojív.

Vďaka tomu, že obsahuje predovšetkým metán, má v porovnaní s ostatnými fosílnymi palivami pri spaľovaní najmenší podiel CO₂ na jednotku uvoľnenej energie. Ako plynné palivo má všeobecnú schopnosť dobre vytvárať zápalnú zmes, spaľovanie preto prebieha s vysokým využitím kyslíka aj paliva. Spaľovanie je čisté a bezzápachové. Spaľovanie plynu je rýchly a jednoduchý spôsob, ako získať teplo potrebné na vykurovanie domácností alebo na varenie. Plyn sa využíva aj v priemysle, a to na výrobu alebo ako surovina. V mnohých elektrárňach sa jeho spaľovaním vyrába elektrina.

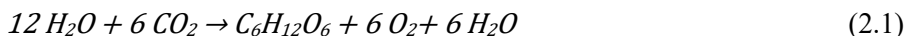
Skvapalnená zmes propánu a butánu je LPG (Liquified Petroleum Gas). LPG je bez farby, chuti a pridaním „odorizantu“ získava typickú vôňu, aby ho naše orgány zaregistrovali. Je nejedovatý, nedýchateľný a má mierne toxické účinky. V plynnom skupenstve je ťažší ako vzduch a v kvapalnom zasa ľahší ako voda, a preto pri úniku vždy sadá na najnižšie miesta. LPG vzniká pri spracovaní ropnej suroviny. Jeho vlastnosti sú veľmi podobné benzínu, a to ho predurčuje na pohon motorových vozidiel. Je to palivo s veľmi priaznivými vlastnosťami, s oktánovým číslom približne 101 ÷ 111.

2.3 Biogénne palivá

Najpoužívanejším obnoviteľným palivom je biomasa. Biomasa je biologický materiál vhodný na energetické využitie, ktorý sa tvorí vo voľnej prírode alebo je vyprodukovaný činnosťou človeka. Biologickým materiálom môže byť napríklad drevo, rastliny, poľnohospodárske zvyšky, exkrementy živočíchov a podobne.

Rastliny na svoj rast využívajú oxid uhličitý z atmosféry a vodu zo zeme, ktoré vďaka fotosyntéze pretvárajú na uhľovodíky - stavebné články biomasy. Slnecná energia, ktorá je hybnou silou fotosyntézy, je v skutočnosti uskladnená v chemických väzbách tohto organického materiálu. Pri spaľovaní biomasy späť získavame energiu uskladnenú v chemických väzbách. Kyslík zo vzduchu sa spája s uhlíkom v rastline, pričom vzniká oxid uhličitý a voda. Tento proces je cyklicky uzatvorený (obnoviteľný), pretože vznikajúci oxid uhličitý je vstupnou látkou pre novú biomasu.

Z chemického hľadiska sa fotosyntéza vyjadruje všeobecnou rovnicou:



Definícií, špecifikujúcich biomasu je viac, ale všetky vychádzajú z jedného základu, a to, že biomasu je hmota organického pôvodu. Následne sa uvádzajú dve definície. Biomasu je látka biologického pôvodu, ktorá zahŕňa rastlinnú biomasu pestovanú v pôde a vode, živočíšnu biomasu, produkciu živočíšneho pôvodu a organické odpady. Biomasu podľa definície smernice 2001/77/ES „O podpore elektrickej energie vyrábanej z obnoviteľných zdrojov energie“ znamená biologicky rozložiteľné frakcie výrobkov, odpadu a zvyškov z poľnohospodárstva (vrátane rastlinných a živočíšnych látok), lesníctva a príbuzných odvetví, ako aj biologicky rozložiteľné frakcie priemyselného a komunálneho odpadu.

Biomasu z hľadiska pôvodu delíme na:

- rastlinnú biomasu, ktorú môžeme ďalej deliť na:
 - a) dendromasu - drevná biomasu,
 - b) fytomasu - jednoročné rastliny,
- živočíšnu biomasu – zoomasu,
- komunálne a priemyselné odpady.

Podľa zdroja vzniku biomasy môžeme biomasu rozdeliť na:

- lesnú biomasu - palivové drevo, konáre, pne, korene, kôra, piliny,
- poľnohospodársku biomasu,
 - a) fytomasa – napr. obilná slama, obilie, konope, atď.,
 - b) živočíšnu biomasu – (zoomasu) – napr. exkrementy, odpady,
- priemyselné a komunálne odpady.

Z hľadiska energetického využitia sa biomasu rozdeľuje na:

- Biomasu zámernu pestovanú na tento účel
 - a) rýchlorastúce dreviny (topoľ, vrbu, jelšu)
 - b) energetické rastliny s vysokým obsahom cukru na výrobu alkoholu (cukrová repa, zemiaky, obilie, atď.) a bionafta (repka olejná).
- Biomasu odpadovú

a) drevo a drevný odpad z lesného hospodárstva (palivové drevo, kôra, haluzovina, šišky, pne atď.) a drevospracujúceho priemyslu (odrezky, stružliny, piliny),

b) rastlinné odpady z poľnohospodárskej prvovýroby a údržby krajiny (kukuričná a obilná slama, repková slama, ostatky po likvidácii krovín, seno, ostatky z viníc a sádov atď.),

c) odpady zo živočíšnej výroby (exkrementy z chovu hospodárskych zvierat, ostatky krmív atď.),

d) komunálne organické odpady (kaly z odpadových vôd, organický podiel z tuhých komunálnych odpadov atď.),

e) organické odpady z potravinárskych výrob (odpady z mliekarní, mäsokombinátov, liehovarov a konzervární).

Využitie tuhej biomasy ako paliva je určené jej chemickými a fyzikálnymi vlastnosťami. Z hľadiska chemického zloženia rastlinnej biomasy predstavujú najväčší podiel uhlík (C), vodík (H₂) a kyslík (O₂). Oxidáciou uhlíka a vodíka dochádza k uvoľňovaniu tepelnej energie. Najpodstatnejšou zložkou pri uvoľňovaní tepelnej energie je uhlík. Kyslík pri chemických reakciách teplo neuvoľňuje.

Biomasa okrem základných chemických prvkov obsahuje aj prvky, ktoré majú značný vplyv na produkciu škodlivých látok pri jej spaľovaní. Medzi ne patrí síra (S), chlór (Cl) a dusík (N₂). K prvkom, ktoré zaťažujú životné prostredie, patrí aj popol. Vo všeobecnosti platí, že zvýšené množstvo týchto prvkov v palive sa prejavuje zvýšeným obsahom škodlivých látok v spalinách. Prvkové zloženie biomasy sa príliš nelíši. Z toho dôvodu sa príliš nelíšia ani jej energetické vlastnosti. Pri biomase sa na rozdiel od fosílnych palív objavuje približne dvojnásobné množstvo kyslíka a menšie množstvo uhlíka. Obsah vodíka je pri fosílnych palivách a biomase približne rovnaký. Jednotlivé palivá sa odlišujú obsahom látok s vplyvom na produkciu emisii.

Popol vzniká v dôsledku reakcií minerálnych látok prítomných v biomase s kyslíkom. Je to pevný zvyšok, ktorý vznikne po dokonalom laboratórnom spálení paliva. Tvorený je minerálnymi látkami, ktoré sa v palive nachádzajú. Z chemického hľadiska popol z biomasy je hlavne tvorený zmesou oxidov anorganických prvkov K₂O, Na₂O, CaO, MgO, Fe₂O₃, Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅. Množstvo popola je závislé od podmienok, pri ktorých prebieha proces spaľovania.

Hlavnými zdrojmi drevnej biomasy (dendromasy) sú lesné hospodárstva, kde časť vyťaženej suroviny je nevhodná na použitie v drevospracujúcom priemysle. Ďalším zdrojom je drevospracujúci priemysel, ktorý vo výrobnom procese produkuje odpady dreva vhodné na energetické využitie. Perspektívnym zdrojom je drevná hmota, ktorú možno produkovať na málo produktívnych poľnohospodárskych pôdach, resp. iných nelesných pozemkoch pestovaním tzv.

rýchlorastúcich drevín. Stromová hmota pozostáva z dreva, kôry a zelenej hmoty, t. j. konárov a ihličia ihličnatých drevín, resp. konárov a lístia listnatých drevín. Ihličnaté dreviny pozostávajú zo 70 až 80 % dreva, 10 až 15 % kôry a 10 až 15 % zelenej hmoty. Listnaté dreviny pozostávajú zo 60 až 75 % dreva, 10 až 20 % kôry a 15 až 20 % zelenej hmoty.

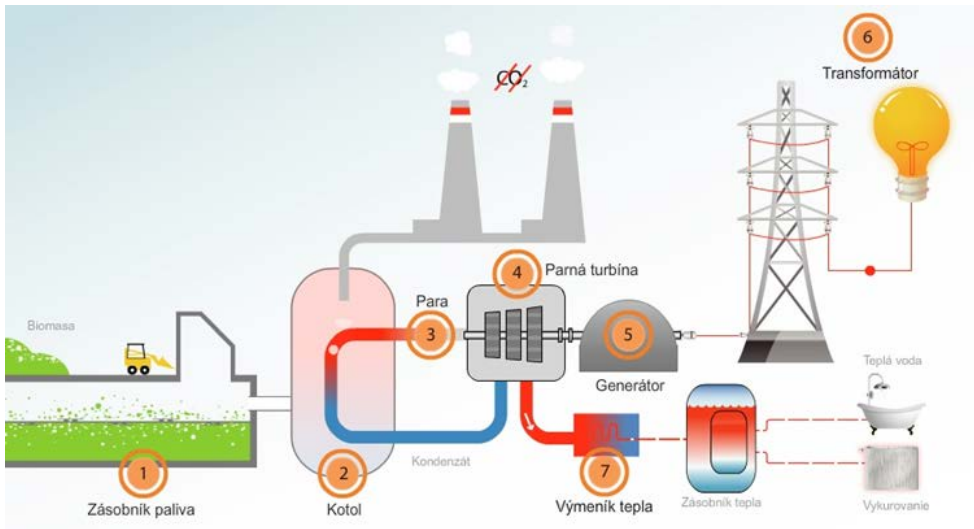
Drevná biomasa využívaná na výrobu tepelnej, resp. elektrickej energie sa môže využívať buď priamo v neupravenej forme alebo v upravenej, tzv. zušľachtenej forme. Pri ťažbe a spracovaní dreva v lese, resp. v drevospracujúcom priemysle vzniká veľké množstvo odpadu, vo forme haluzoviny, resp. pilín. Uvedené odpady sú charakteristické veľkým sypným objemom. Pri jeho priamom využití v energetickom sektore dochádza vo väčšine prípadov k technickým a ekonomickým problémom, ktoré sú spojené so zvýšenými nákladmi na prepravu a skladovanie. Z toho dôvodu je možné tento problém vyriešiť jeho zušľachtením, ktoré spočíva v nahustení, resp. zlisovaní daného odpadu, čo má za dôsledok zmenšenie sypných objemov zušľachtenej formy odpadu. Zušľachtenie odpadov z dreva má za cieľ zvýšiť hospodárnejšie využitie týchto odpadov v rámci energetiky. Zušľachtovanie odpadov sa realizuje použitím vhodných zariadení, pričom ich prevádzkovanie je spojené s určitými investičnými a prevádzkovými nákladmi, čo sa prejavuje samozrejme na cene zušľachtenej formy odpadu. Zušľachtená forma drevného odpadu môže byť vo forme štiepky, brikiet a peliet.

V súčasnej dobe sa prejavuje zvýšený záujem o energetické využívanie poľnohospodárskych odpadov z rastlinnej výroby a zámerné pestovanie energetických rastlín. Energetické rastliny sú rastliny s nedrevnatou stonkou cielene pestované pre produkciu energie. Plošný energetický zisk pestovania týchto rastlín nie je veľmi vysoký. Cielene pestované energetické rastliny je možné rozdeliť na obilniny (celé vrátane zrna), trávnaté porasty (slonia tráva, trvalé trávne porasty), ostatné rastliny (konope, čirok), olejnaté rastliny (repka olejnatá, slnečnica) a škrobnato-cukornaté rastliny (zemiaky, cukrová repa, kukurica). Z hľadiska pestovania energetických rastlín na jednom mieste, je možné ich rozdeliť na jednoročné rastliny, viacročné rastliny a trvácne rastliny (trávy). Poľnohospodárska biomasa sa delí do troch základných skupín (*JANDAČKA, 2007*):

- Biomasa vhodná na spaľovanie:
 - a) slama (obilná, repková, kukuričná, slnečnicová),
 - b) drevený odpad (vinogradov, sadov).
- Biomasa vhodná na výrobu bioplynu:
 - a) z exkrementov hospodárskych zvierat,
 - b) zo zelenej hmoty,
 - c) odpad z potravinárskych prevádzok.
- Biomasa vhodná na výrobu kvapalných biopalív:

- a) na výrobu MERO (metylester repkového oleja),
 b) na výrobu bioetanolu.

Biomasu z energetických rastlín produkovaných na výrobu tepelnej, resp. elektrickej energie je možné využívať buď priamo v neupravenej forme, alebo v upravenej (zuošľachtenej) forme ako sú pelety, brikety, stlačené balíky, prípadne sečka.



Obr. 2.4 Využitie biomasy (www.platforma.ekofond.sk)

Popis k obr. 2.4 je takýto:

1. Zásobník paliva – Služi na uskladnenie paliva, ktorým môže byť napr. drevoštiepka alebo slama.
2. Kotel - Palivo sa premiestni do kotla, kde sa spaľuje. Spaliny sú vypúšťané do ovzdušia.
3. Para - Pri spaľovaní sa ohrieva voda a vzniká para, ktorá roztáča turbínu.
4. Parná turbína - Po prechode turbínou skondenovaná para ohrieva vodu, ktorá sa môže používať na výrobu elektriny alebo tepla.
5. Generátor – Turbína poháňa generátor, ktorý vyrába elektrickú energiu.
6. Transformátor – upravuje elektrickú energiu na napätie potrebné v elektrickej sieti.
7. Výmenník tepla – Ohriata voda sa odvádza do výmenníku tepla, odkiaľ prechádza cez zásobník do vykurovacej sústavy (radiátorov) a vodovodných rúr (do umývadiel). (www.platforma.ekofond.sk)

Výhody využitia biomasy:

- spaľovanie biomasy sa z hľadiska tvorby emisií CO₂ považuje za neutrálne –

koľko CO² vznikne pri spaľovaní, toľko CO₂ rastliny spotrebujú pri ich raste,

- v našich podmienkach je biomasa lokálne dostupná,
- pri pestovaní biomasy sa vytvára lokálna zamestnanosť,
- cena energie z biomasy (myslí sa €·kWh⁻¹ alebo €·GJ⁻¹) je nižšia ako cena energie zo zemného plynu, uhlia, či elektriny,
- vhodnejšie je využitie biologických odpadov z komunálnej sféry, z poľnohospodárstva,
- biomasa je nevyčerpatelný nosič energie (pri udržateľnom lesnom hospodárstve, inak dochádza k devastácii krajiny),
- moderné zariadenia umožňujú vyrobiť z biomasy elektrinu aj teplo.

Nevýhody využitia biomasy:

- biomasa podlieha rýchlemu rozkladu, čo si vyžaduje mať suché skladovacie priestory,
- výhrevnosť paliva je závislá od vlhkosti daného druhu biomasy,
- pri spaľovaní dreva sa produkuje niekoľkonásobne viac popolčeka, dymu, CO, NO_x a organického uhlíku ako v prípade spaľovania zemného plynu,
- vplyvom palivového dreva sa za vykurovaciú sezónnu vyprodukuje väčšie množstvo vlhkých spalín než zo spaľovania zemného plynu,
- vzhľadom na relatívne nízku energetickú hustotu drevnej biomasy sú náklady na jej dopravu relatívne vysoké; prepravovanie biomasy naftovými či benzínovými vozidlami produkuje CO₂ emisie,
- nadmerná ťažba dreva v lesoch môže závažne poškodiť ekosystémy a spôsobiť zosuvy pôdy, bez lesného porastu vznikajú aj častejšie záplavy,
- neudržateľný manažment poľnohospodárskej krajiny môže ovplyvniť kvalitu pôdy alebo ohroziť potravinovú bezpečnosť (namiesto potravín sa bude pestovať iba biomasa na energetické účely),
- dovoz dreva z lesa do miesta spotreby produkuje emisie CO₂.

2.4 Energetické využívanie palív

Medzi spôsoby energetického využitia palív patrí:

- spaľovanie,
- splyňovanie,
- pyrolýza,
- skvapaľňovanie. (KLENOVČANOVÁ, 2008)

2.4.1 Spaľovanie palív

Proces spaľovania 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 z časti prekrývajú.

Proces spaľovania biomasy popísaný uvedenými štyrmi fázami:

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

Ohrev paliva sa realizuje vplyvom žiarenia plameňa a od rozpálených stien. Následné sušenie paliva a odparovanie vody z paliva sa deje pri teplotách od cca 100 °C, pričom odparená voda je odvádzaná spoločne so spalinami do komína. Pri teplotách cca od 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 uhl'ovodíky (C_xH_y), pričom vznikajú tuhé zvyšky paliva, tzv. pevný uhlík (C). Drevo obsahuje viac vodíka ako väčšina iných palív, preto vzniká pri jeho spaľovaní podstatne viac uhl'ovodíkov. Poslednou fázou procesu spaľovania biomasy 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 kysličník uhličitý a vodu sa uskutočňuje pri teplotách od cca 700 °C.

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 horiacou biomasou možno považovať za zložitý chemický reaktor, v ktorom sa prejavujú rôzne vplyvy chemickej, termodynamicky reakčnej kinetiky, prípadne i katalýzy. (*JANDAČKA, 2011*)

Pri spaľovaní uhlia sa podobne ako pri biomase horľavé zložky oxidujú vzdušným kyslíkom, pričom sa energetický obsah uhlia mení na teplo. Kvalita uhlia ako zdroja energie závisí od kvality horľaviny a od obsahu balastu – vlhkosti a popola. Zariadenie, v ktorom dochádza k uvoľneniu tepelnej energie chemickeky viazanej v uhlí, sa nazýva kúrenisko. Kúrenisko je základnou časťou spaľovacieho zariadenia kotla na spaľovanie uhlia. Najstarším typom je roštové kúrenisko. Pri spaľovaní uhlia na rošte prebiehajú nasledujúce procesy: sušenie, splyňovanie, zapálenie, prehorievanie, horenie a dohorievanie. Z dôvodu vysokej účinnosti spaľovacieho procesu a nízkym emisiám sa používajú fluidné spaľovacie technológie. Fluidný jav je možné charakterizovať ako vznášanie sa drobných častôčiek uhlia pôsobením dynamického účinku pretékajúceho tzv. fluidizačného média, ktorým je pri spaľovaní najčastejšie vzduch. Fluidná vrstva, v ktorej prebieha spaľovanie, je tvorená palivom, popolom a vzduchom. Pri spaľovaní vo fluidnej vrstve sa uplatňujú tri rôzne fyzikálno–chemické procesy: fluidizácia tuhej vrstvy, prenos tepla vo fluidnej vrstve a prenos hmoty vo fluidnej vrstve, prípadne mimo vrstvu.

Fluidné spaľovanie sa rozlišuje:

- so škvarujuťou vrstvou, keď uhoľnú drvinu nadnáša vháňaný vzduch na

pásovom rošte tak, aby sa vo fluidnej vrstve dosahovali čo najvyššie teploty, pričom sa jednotlivé čiastočky paliva a popola spájajú do väčších kúskov. Tie klesajú na povrch roštu, kde dohorievajú a plynulo sa na pásovom rošte vynášajú. Asi polovica spaľovacieho vzduchu tvorí primárny (fluidizačný) vzduch a druhá polovica sa privádza do priestoru ohniska nad fluidizačnú vrstvu. Takto vznikne ďalšie ohnisko spaľovania, v ktorom sa dokonale spália horľavé plyny, ako aj najjemnejšie častice úletu z fluidnej vrstvy.

- s neškarujúcou vrstvou, kde sa môžu spaľovať pevné aj tekuté palivá. Jednostupňový spaľovací proces sa reguluje tak, aby teplota vo fluidnej vrstve neprekročila 1000 °C. Teplota sa obmedzuje chladením fluidnej vrstvy teplovýmennými plochami. Nízkou spaľovacou teplotou je obmedzený vznik oxidov dusíka. Ďalšou výhodou je možnosť súčasného odsírenia spalín s vysokou účinnosťou prídávaním vápenca do fluidnej vrstvy. Dĺžka pobytu nedohorených zín paliva v reakčnej vrstve je desiatky minút bez prerušenia procesu horenia a odsírovania.

Pri spaľovaní uhlia vo fluidnej vrstve sa do spaľovacieho priestoru pridávajú vhodné absorbenty (jemne mletý vápenec CaCO_3 alebo dolomit s MgCO_3). Výsledkom reakcie absorbenta s SO_2 , vznikajúcom v procese spaľovania, je tuhý odpad CaSO_4 a CaSO_3 , ktorý sa potom zachytáva v odlučovači popolčeka (až 99 %).

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 rozdelenia na primárny a sekundárny.

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 do 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. Fyzikálne deje sa týkajú prípravy paliva, miešaním paliva so vzduchom. Chemické deje sa skladajú z endotermických (tepelný rozklad) a exotermických reakcií (oxidačné reakcie). Súčet oboch dejov tvorí celkovú dobu horenia, podľa toho, ktorý dej prevláda, rozdelíme horenie na kinetické a difúzne. Kinetické horenie je vtedy, keď prevláda doba horenia horľavých zložiek paliva nad dobou miešaním paliva so vzduchom. Difúzne horenie je typické tým, že doba ohrevu je dlhšia ako doba horenia. Ak je horľavá látka v plynnej fáze, hovoríme o homogénnom horení paliva, ak je v tuhom stave, ide o heterogénne horenie paliva.

2.4.2 Splyňovanie palív

Podstatou procesu splyňovania uhlia je premena uhlia pomocou splyňovacieho média na syntézny plyn s vysokým obsahom CO a H₂. Ako splyňovacie médium sa používa vzduch, kyslík, vodná para, oxid uhličitý a vodík, najčastejšie sa používa zmes vzduchu s vodnou parou. Kvalita vyrobeného syntézneho plynu závisí od kvality použitého paliva (uhlia), ako aj od zloženia splyňovacieho média. Hlavným produktom splyňovania je generátorový plyn, ktorého hlavnými zložkami sú oxid uhličitý, oxid uhoľnatý, vodík, metán, vodná para a pri splyňovaní vzduchom aj balastný dusík. Výhrevnosť generátorového plynu je $4270 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3}$.

Pri splyňovaní môže vznikáť tiež sulfán, amoniak, kyanovodík, karbonylsulfid a dechty, ktoré sú kvapalné zmesi uhl'ovodíkov, kyslíkatých, dusíkatých a sírnatých látok rôzneho zloženia a rôznej mólovej hmotnosti. Chemické zloženie dechtov závisí nielen od chemického zloženia paliva, z ktorého sa decht uvoľňuje, ale aj od teploty a času, počas ktorého sa uvoľnený decht nachádza v karbonizačnom pásme. Tuhý zvyšok pri splyňovaní uhlia je škvara alebo popol.

Proces splyňovania uhlia môže byť autotermický alebo allotermický.

Autotermický proces je proces, pri ktorom sa teplo pre endotermické splyňovacie reakcie získava spaľovaním časti uhlia so splyňovacím médiom obsahujúcim kyslík. Podľa spôsobu privádzania reagujúcich látok sa autotermický proces uskutočňuje ako súprudný alebo protiprudný.

Allotermický proces je proces, pri ktorom sa teplo potrebné na splyňovanie uhlia získava z vonkajších zdrojov.

Splyňovanie uhlia sa uskutočňuje v splyňovacích reaktoroch (generátoroch, gasifikátoroch) pri atmosférickom tlaku, kedy sa hovorí o nízkotlakovom splyňovaní alebo pri vyššom tlaku, kedy ide o tlakové splyňovanie.

Pri splyňovaní uhlia prebiehajú v splyňovacích generátoroch dva základné procesy, a to oxidácia uhlia za vzniku oxidu uhličitého a jeho následná reakcia na oxid uhoľnatý.

Exotermické oxidačné reakcie prebiehajú v oxidačnej zóne, ktorá je v spodnej časti generátora. Pri týchto reakciách sa uvoľňuje teplo potrebné na priebeh endotermických reakcií v nasledujúcej redukčnej zóne, v ktorej sa produkuje podstatná časť výsledného syntézneho plynu. Horúci syntézny plyn vystupujúci z redukčnej zóny sa potom v najvyššej predohrievacej zóne reaktora ochladí a čerstvo nadávkované uhlie vysuší, predohreje a čiastočne karbonizuje. (KLENOVČANOVÁ, 2008)

Splyňovanie biomasy je vysoko teplotný termochemický proces uskutočnený za prítomnosti menšieho množstva kyslíka ako si vyžaduje dokonalé spaľovanie.

Výsledkom tohto procesu je vznik zmesi horľavých plynov pozostávajúcej hlavne z kysličníka uhoľnatého, vodíka, metánu a kysličníka uhličitého. Ideálne by bolo pri splyňovaní používať čistý kyslík, čo by viedlo k vyššej výhrevnosti zmesi plynov. Vo väčšine prípadov sa pri splyňovaní biomasy používa vzduch, ktorý je príčinou vzniku zmesi plynov zriedenej dusíkom, čo sa prejavuje na výslednej výhrevnosti plynu. Proces splyňovania zahŕňa čiastočné spaľovanie biomasy.

Zloženie plynu je určené kombináciou bilancie konštant rýchlosti chemických reakcií v závislosti od predpokladaných teplôt v reakčnej zóne. Výsledkom splyňovania je plynné palivo, ktoré je po odstránení vody, resp. vodnej pary v plyne, a po jeho čistení, vhodné na spaľovanie, na pohon plynových motorov alebo plynových turbín slúžiacich na výrobu elektrickej energie. Vzhľadom na to, že ide o plyn s veľmi nízkou výhrevnosťou ($5 - 6 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$), musí sa použiť špeciálne upravené zmiešavacie zariadenie (plyn – vzduch). Produktom čistenia (prania) surového plynu je tekutý odpad – fenolové vody, ktoré je možné zneškodniť v špeciálnych čistiarňach odpadových vôd.

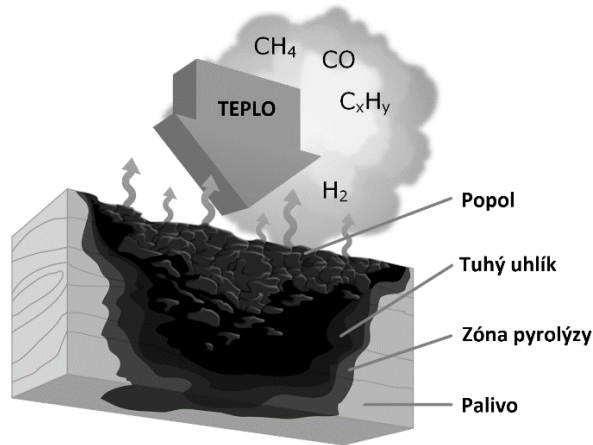
Neumožňuje efektívne používať fluidnú technológiu splyňovania paliva, umožňuje však výrazným spôsobom znížiť produkciu ťažkých uhlíkovodíkových zlúčenín (dechtu). Práve produkcia dechtu pri splyňovaní pevného paliva je obmedzujúcim faktorom pre priame použitie získaného plynu v plynovom motore bez ďalšej náročnej technológie úpravy a čistenia.

Protiprúdny splyňovací reaktor je väčšinou jednoduchej konštrukcie. Plyn produkuje veľmi nízku výhrevnosť, najmä pri splyňovaní dreveného odpadu s vyšším obsahom vody. Hlavným problémom využitia tohto spôsobu je čistenie produkovaného plynu, ktorý je zaťažený vysokým obsahom dechtu. Častý spôsob čistenia – pranie vodou, vedie k produkcii fenolových vôd, ich čistenie je zložitejší problém ako vlastná výroba plynu.

Vo fluidnom splyňovacom zariadení dochádza ku vznášaniu pevných častíc paliva dynamickým pôsobením splyňovacieho média. Vplyvom tohto javu dochádza k zmene niektorých fyzikálnych vlastností splyňovanej vrstvy. Splyňovacia vrstva nevytvára sypný uhol, pôsobí na steny nádoby hydrostatickým tlakom a je možné ju prepúšťať z jednej nádoby do druhej. Tým dochádza k veľmi intenzívnemu miešaniu častíc vrstvy a k intenzívnemu prechodu hmoty medzi časticami a médiami. Vyrobený plyn sa vyznačuje vyšším obsahom pevných častíc vplyvom unášacieho účinku splyňovacieho média. (*JANDAČKA, 2007*)

2.4.3 Pyrolýza palív

Pyrolýza alebo suchá destilácia je termický rozklad uhlia bez prítomnosti kyslíka, pri ktorej vzniká tuhý zbytok bohatý na uhlík, nazývaný polokoks alebo koks a prchavé produkty pyrolýzy. Prchavými produktami pyrolýzy sú plyn, pyrolýzny benzín a decht.



Obr. 2.5 Využitie biomasy (www.platforma.ekofond.sk)

Pre pyrolýzu uhlia sa väčšinou požíva pojem karbonizácia alebo koksovanie. Pri karbonizácii uhlia sa vyrába polokoks a plyn, ktorý sa pôvodne používal hlavne na svietenie (svietiplyn). Koksovanie je jedným zo základných procesov zušľacht'ovania uhlia v hutníckom priemysle, pri ktorom sa vyrába koks. Termický rozklad uhlia závisí nielen od druhu, vlhkosti a zrnitosti uhlia, ale aj od rýchlosti uhoľných častíc. Podľa rýchlosti ohrevu uhoľných častíc a podľa reakčnej atmosféry je možné pyrolýzu uhlia rozdeliť na:

- pomalú pyrolýzu,
- rýchlu pyrolýzu,
- hydropyrolýzu,
- plazmovú pyrolýzu.

Pomalé pyrolýzy sú klasické vysokoteplotné a nízokoteplotné karbonizácie s nepriamym alebo priamym ohrevom uhoľnej vsádzky.

Vysokoteplotnou karbonizáciou sa pri teplotách nad 1000 °C koksuje čierne uhlie. Hlavným produktom je koks a vedľajšími produktmi sú decht, koksárenský plyn a amoniaková voda. Koksárenský plyn sa využíva buď ako plynné palivo, alebo ako surovina na výrobu vodíka a etylénu hydrogenačnou rafináciou. Decht vznikajúci pri koksovaní čierneho uhlia je hnedočierna kvapalina charakteristického zápachu, ktorá obsahuje uhl'ovodíky, kyslíkaté, dusíkaté a sírne látky rôzneho zloženia a rôznej mólovej hmotnosti.

Nízokoteplotná karbonizácia uhlia prebieha pri teplotách medzi 600 až 800 °C. Hlavným cieľom procesu je maximálny výťažok dechtu a získanie zušľachteného paliva nízokoteplotného polokoksu. Najčastejšie sa ako palivo používa hnedé uhlie. Pri rýchlej pyrolýze uhlia sa uhoľné častice zahrievajú 1000 až 500 000-krát rýchlejšie ako pri pomalej pyrolýze uhlia. Rýchla pyrolýza slúži predovšetkým na získavanie dechtov, z ktorých sa následne hydrorafináciou získavajú kvapalné

palivá. (KLENOVČANOVÁ, 2008)

Čo sa týka pyrolýzy biomasy, všeobecná definícia hovorí o tepelnom rozklade biomasy pri teplotách cca 500 až 800 °C, a to bez prístupu oxidovadla. To znamená, že reakčné teplo musí byť dodávané z cudzieho zdroja. Vzhľadom na to, že biomasa, resp. jej horľavina, obsahuje až 85 % prchavej (plynnej) horľaviny, je pyrolýza biomasy pomerne jednoduchá. Z predchádzajúceho je zrejmé, že jedným z možných produktov pyrolýzy by mohol byť horľavý plyn. Takáto technológia sa obvykle využíva v špeciálnych pyrolýznych spaľovniach kontaminovaných odpadov. Druhým možným produktom pyrolýzy sú kvapalné uhľovodíky (ľahký dechtový olej), ktoré je možné vyrobiť ochladzovaním produktov, tzv. rýchlou pyrolýzou. Rýchla pyrolýza je vysokoteplotný proces, pri ktorom malé častice z biomasy sú za neprítomnosti kyslíka rýchlo zahriate, čo spôsobuje rozklad biomasy na pary, aerosóly a uhľovodíky. Touto rýchlou pyrolýzou sa výrazne zväčší podiel pyrolýzneho plynu, ktorý pri ochladzovaní kondenzuje na kvapalné palivo – bioolej. Výhrevnosť biooleja dosahuje asi polovicu výhrevnosti tradičného palivového oleja a môže byť náhradou za súčasný olej používaný v spaľovacích systémoch alebo motoroch na získavanie tepla alebo elektrickej energie. Ďalším spracovaním oleja hydrogenáciou alebo použitím katalyzátora sa získa vysokokvalitný produkt, ktorý sa špecifikáciou blíži petroleju (odvodené palivové oleje), a ktorý môže byť použitý v dieselových motoroch. (JANDAČKA, 2007)

2.4.4 Skvapalňovanie palív

Skvapalňovanie uhlia je súhrn procesov, ktorými sa uhoľná hmota mení na kvapalné palivá. Produktom je syntetická ropa a zvyšok tvorí uhľovodíkový podiel, ktorý sa môže využiť ako palivo. Môže prebiehať priamo alebo nepriamo cez syntézny plyn. Okrem pyrolýzy uhlia, pri ktorej vznikajú kvapalné produkty a splyňovania uhlia s následnou syntézou plynov na kvapalné produkty, medzi procesy skvapalnenia uhlia patria aj extrakcia a hydrogenácia uhlia. Extrakcia uhlia sa väčšinou uskutočňuje za prítomnosti malého podielu vodíka, čo umožňuje previesť časť uhlia na kvapalný produkt. Hydrogenačné postupy sú založené na reakcii organickej hmoty uhlia priamo s vodíkom. Hydrogenácia sa uskutočňuje za zvýšeného tlaku pri teplote vyššej ako 400 °C. Hlavným produktom je kvapalina s vysokým obsahom uhľovodíkov. (KLENOVČANOVÁ, 2008)

3 EMISIE ZO ZDROJOV TEPLA

Látky v rôznych skupenstvách, ktoré sú emitované do ovzdušia, sa nazývajú emisie. Emisie, ktoré majú negatívny vplyv na ľudské zdravie, zdravie zvierat, životné prostredie, na klimatický systém Zeme alebo na hmotný majetok, sa označujú ako znečisťujúce látky, ktoré môžu byť vnesené do ovzdušia priamo, ale tiež v ňom môžu v rámci fyzikálnych alebo chemických premien vznikajúť druhotne. Znečisťujúce látky vnesené do ovzdušia priamo sa označujú ako primárne emisie a znečisťujúce látky, vznikajúce v ovzduší v rámci fyzikálnych a chemických reakcií vplyvom pôsobenia slnka a vody, sa označujú ako sekundárne emisie. Znečisťujúce látky sa do ovzdušia dostávajú z prírodných a antropogénnych zdrojov. Medzi prirodzené zdroje patrí sopečná činnosť, erózia pôdy, lesné a stepné požiare, peľ zo stromov a rastlín, kozmický prach a pod. Antropogénne zdroje vychádzajú z činnosti človeka (energetika, ťažký a chemický priemysel, ťažba nerastných surovín, skládky odpadov, doprava, a podobne). (JANDAČKA, 2007)



Obr. 3.1 Emisie zo zdrojov tepla (www.vecteezy.com)

V priebehu spaľovania palív v zdrojoch tepla dochádza k tvorbe emisií, ktoré majú škodlivé účinky na ľudskom zdraví a životnom prostredí. Vznik týchto emisií je ovplyvnený nielen chemickým zložením paliva, ale aj jeho fyzikálnymi vlastnosťami ako je obsah vlhkosti, hustota, pórovitosť, veľkosť a aktívna plocha, a taktiež typom spaľovacieho zariadenia vrátane prevádzkových a technických aspektov. Pri dokonalom spaľovaní palív dochádza k vzniku oxidu uhličitého CO_2 , oxidov dusíka NO_x , oxidov síry SO_x , chlorovodíku aj ťažkých kovov. Ideálne spaľovanie môže byť definované ako úplná oxidácia všetkých palivových zložiek. Počas dokonalého spaľovania biomasy je potrebné dostatočné množstvo spaľovacieho vzduchu, dobrý prístup vzduchu k zložkám paliva v spaľovacej komore, dostatočne vysoká teplota spaľovacieho procesu a tiež dostatočne dlhá doba zotrvania paliva na týchto teplotách. V dôsledku nízkej spaľovacej teploty, zlého premiešania vzduchu a paliva, nedostatku kyslíka a nedostatočnej doby zotrvania paliva v spaľovacom priestore vznikajú emisie z nedokonalého spaľovania ako sú oxid uhoľnatý CO a organické uhlíkovodíky (VILLENEUVE, 2012). Pri ideálnych podmienkach by spaliny tvorili len plynné produkty horenia (CO_2 , SO_2 , H_2O) a dusík

zo spaľovacieho vzduchu, ktorý sa horenia nezúčastní. Keďže reálne je nutné privádzať viac spaľovacieho vzduchu ako je potrebné, do spalín sa dostáva aj nevyužitý kyslík. Nižšie uvedené zložky spalín sú vypúšťané do atmosféry ako výsledok dokonalého spaľovania v zariadeniach na spaľovanie.

Znečisťujúce látky je možné rozdeliť podľa chemického zloženia, škodlivosti, nebezpečnosti, rizikovitosti, prípadne podľa toxicity. Podľa Prílohy č. 1 k vyhláske č. 365/2010 Z.z sú znečisťujúce látky rozdelené na dve hlavné skupiny:

- základné znečisťujúce látky,
- ostatné znečisťujúce látky.

Medzi základné, najviac sledované, znečisťujúce látky vznikajúce pri spaľovaní patria (JANDAČKA, 2016):

- Tuhé znečisťujúce látky (TZL) - prachové častice v ovzduší predstavujúce zmes látok pozostávajúce z uhlíka, prachu a aerosólov s veľkosťou od jednotiek nanometrov po 0,5 mm. Ide o jednu z najdôležitejších zložiek, ktoré znečisťujú ovzdušie. V súčasnosti je najväčšia pozornosť venovaná časticiam o aerodynamickom priemere pod 10 μm (PM10), ktoré môžu prenikáť do dýchacieho traktu a časticiam do veľkosti 2,5 μm (PM2,5), ktoré môžu prenikáť až do krvného obehu. TZL blokujú reprodukciu buniek. Tým môžu vznikáť vhodné podmienky pre rozvoj vírusových a bakteriálnych respiračných infekcií, ako aj postupný prechod akútnych zápalových zmien do chronickej fázy za vzniku chronickej bronchitídy. Produkcia TZL zo spaľovania tuhých palív je mnohonásobne vyššia ako zo spaľovania tekutých palív.
- Oxid uhoľnatý (CO) - je bezfarebný jedovatý, nedráždivý plyn bez chuti, farby a zápachu o niečo ľahší ako vzduch. V spalinách sa vyskytuje ako produkt nedokonalého spaľovania a preto výrobcovia zdrojov tepla sa snažia minimalizovať jeho produkciu s cieľom dosiahnutia vyšších účinností spaľovania. Je toxický a preniká do krvi dýchacím traktom, viaže sa na červené krvné farbivo za vzniku, tzv. karboxylhemoglobínu, ktorý stráca schopnosť prenosu kyslíka. Následkom je znížený prívod kyslíka do tkanív.
- Oxidy dusíka (NO_x) - sa obyčajne klasifikujú v závislosti od stupňa oxidácie dusíka - oxid dusný (N_2O), oxid dusnatý (NO), oxid dusitý (N_2O_3), dioxid dusičitý (NO_2), tetraoxid dusičitý (N_2O_4), pentaoxid dusičitý (N_2O_5). Z procesov spaľovania tuhých palív v zdrojoch tepla prevažujúcou zložkou oxidov dusíka v spalinách je oxid dusnatý NO (cca 95 % z celkových NO_x). V menšom množstve sa tvorí NO_2 a N_2O (cca 5 % z celkových NO_x). N_2O narušuje ozónovú vrstvu, z NO vo vzduchu vznikajú dusičnany, ktoré v zrážkovej vode padajú na zem v podobe slabých kyselín, NO_2 je toxickejší a aktívnejší plyn, pričom v reakcii s vlhkosťou vyvoláva akútne respiračné problémy.
- Oxid siričitý (SO_2) – vzniká pri spaľovaní palív obsahujúcich síru. Je to bezfarebný, štiplavo páchnuci, jedovatý plyn, ktorý reaguje na povrchu rôznych tuhých suspendovaných častíc. Vo vode sa ľahko rozpúšťa za vývoja tepla a vzniku

kyseliny siričitej, ktorá spôsobuje respiračné problémy.

- Celkový organický uhlík (TOC) - predstavuje celkové množstvo uhlíka viazaného v organických látkach, vode a plynoch. Celkový organický uhlík zahŕňa širokú škálu uhľovodíkov a patria sem aj perzistentné organické polutanty (POPs), ktoré zahŕňajú napr. nemetánové prchavé organické látky (VOC), väčšina polycyklických aromatických uhľovodíkov (PAUs), polychlórované bifenyly (PCBs) a polychlórované dibenzo-p-dioxíny (PCDDs) a polychlórované dibenzofurány (PCDFs).

Ostatné znečisťujúce látky sú rozdelené do viacerých skupín a podskupín ako látky:

- s karcinogénnym účinkom – azbest, Co, Cd, Be, Ni, As, Cr, dioxíny a iné,
- tuhé organické znečisťujúce látky – Hg, Se, antimón a ďalšie,
- anorganické znečisťujúce látky vo forme plynov a pár – HCl, HF, amoniak a ďalšie,
- organické znečisťujúce plyny a pary – fenol, formaldehyd, toluén, acetón a iné,
- plynné látky spôsobujúce skleníkový efekt – CO₂, metán, N₂O, fluórované uhľovodíky a mnoho ďalších.

V celej EÚ a rovnako aj na Slovensku sú platné emisné limity (Tab. 3.1) a požiadavky na minimálnu účinnosť spaľovacích zariadení (teplodivé kotly do výkonu 500 kW) predpísané normou EN 303-5:2021. Európska norma EN 303-5 definuje základné triedy produkcie emisií priamo v kotloch. Smernicou Európskeho parlamentu je dané, že akýkoľvek kotol vyrobený v rámci Európskej únie musí spĺňať minimálne podmienky 3. emisnej triedy kotlov z celkového počtu 5 tried, pričom 5. emisná trieda je najvyššia. V súlade s normou EN303-5:2021 sa pri spaľovaní paliva v zdroji tepla na tuhé palivá musí produkovať nízka koncentrácia emisií.

Táto požiadavka je splnená, ak sa pri prevádzke kotla s menovitým tepelným výkonom alebo pri kotloch, ktoré sa prevádzkujú v rozsahu tepelného výkonu pri menovitom tepelnom výkone a minimálnom tepelnom výkone neprekročia emisné hodnoty podľa Tab. 3.1 pri laboratórnych skúškach v súlade s normou EN 303-5:2021.

Triedy 1, 2 v súčasnosti norma EN 303-5 neuvažuje, ale zdroje tepla na tuhé palivá 1. a 2. emisnej triedy sú v súčasnosti v niektorých domácnostiach stále prevádzkované. Jednou z najviac sledovaných emisií v procese spaľovania tuhých palív sú tuhé znečisťujúce látky (TZL) vznikajúce pri nedokonalom, ale aj dokonalom spaľovaní.

Tab. 3.1 Emisné limity platné pre zdroje tepla na tuhé palivá (EN 303-5:2021)

Druh príkladania	Palivo	Menovitý tepelný výkon kW	CO			OGC			Prach		
			trieda			trieda			Trieda		
			3	4	5	3	4	5	3	4	5
Ručné	biogénne	≤ 50	5000	1200	700	150	50	30	150	75	60
		> 50 ≤ 150	2500			100			150		
		> 150 ≤ 500	1200			100			150		
	fosílna	≤ 50	5000			150			125		
		> 50 ≤ 150	2500			100			125		
		> 150 ≤ 500	1200			100			125		
Automatické	biogénne	≤ 50	3000	1000	500	100	30	20	150	60	40
		> 50 ≤ 150	2500			80			150		
		> 150 ≤ 500	1200			80			150		
	fosílna	≤ 50	3000			100			125		
		> 50 ≤ 150	2500			80			125		
		> 150 ≤ 500	1200			80			125		

3.1 Plynné emisie vznikajúce pri spaľovaní palív

Medzi základné plynné emisie vznikajúce pri spaľovaní palív patria najmä:

- oxid uhoľnatý,
- oxidy dusíka,
- oxidy síry,
- prchavé látky,
- organické látky, ktoré sú v odpadových plynch v plynnej fáze vyjadrené ako:
 - celkový organický uhlík,
 - dibenzodioxíny a dibenzofurány.

3.1.1 Oxid uhoľnatý

Oxid uhoľnatý (CO) je bezfarebný, veľmi jedovatý, toxický plyn bez chuti a zápachu, ľahší než vzduch, nedráždivý. Vo vode je málo rozpustný. Je obsiahnutý v generátorovom, vysokopecnom a vodnom plyne, má silné redukčné vlastnosti.

Pri horení (horí modrastým plameňom) vzniká oxid uhličitý, pričom dochádza k uvoľňovaniu značného množstva tepla. Výhrevnosť oxidu uhoľnatého je okolo 12,6 MJ.m⁻³. Pri antropogénnej činnosti vzniká ako produkt nedokonalého spaľovania fosílnych palív, ale aj biomasy, a to v stacionárnych aj v mobilných zdrojoch. Veľkým producentom oxidu uhoľnatého sú najmä hutnícky a metalurgický priemysel a tiež automobilová doprava (súčasť výfukových plynov motorových vozidiel). Vysokopecný, koksárenský a iné plyny produkované hutníckymi a metalurgickými prevádzkami okrem oxidu uhličitého obsahujú ešte aj ďalšie horľavé zložky. Tieto plyny sú často využívané ako palivo, avšak určité

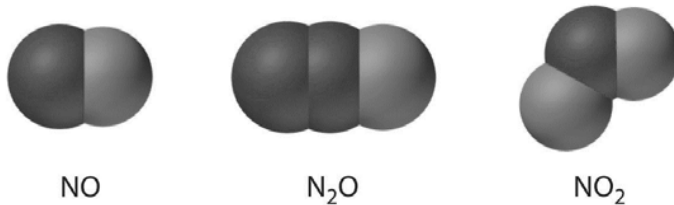
množstvo týchto plynov, a medzi nimi aj oxid uhoľnatý, môže z technológií uniknúť do ovzdušia.

Je toxický, preniká do krvi dýchacím traktom, viaže sa na červené krvné farbivo za vzniku tzv. karboxylhemoglobínu, ktorý stráca schopnosť prenosu kyslíka. Následkom je znížený prívod kyslíka do tkanív. V atmosfére je oxid uhoľnatý veľmi stabilný, oxidácia na oxid uhličitý vyžaduje niekoľko mesiacov až rokov. Plyn nereaguje s vodou a nespôsobuje zníženie pH dažďa a vznik kyslých dažďov. Koncentrácia oxidu uhoľnatého v spalinách zo spaľovacích zariadení spaľujúcich uhlíkaté palivo je závislá od dokonalosti procesu spaľovania paliva, t. j. od oxidácie uhlíka (C) na finálny produkt, oxid uhličitý (CO_2). Praktické príčiny produkcie oxidu uhoľnatého (CO) pri spaľovaní palív sú:

- Nedokonalé premiešanie paliva s oxidačným činidlom a vytváranie zón v spaľovacom priestore kúreniska s nedostatkom kyslíka pre dokonalú oxidáciu uhlíka.
- Nestabilita teplotných pomerov v spaľovacom priestore kúreniska a kolísanie teplôt v kúrenisku.

3.1.2 Oxidy dusíka

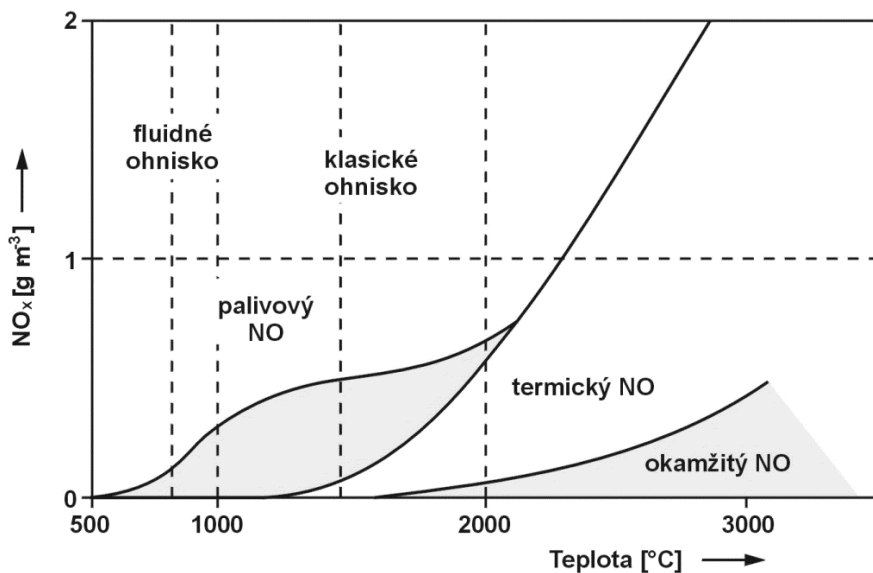
Oxidy dusíka vznikajú oxidáciou dusíka v závislosti od teploty plameňa, čo má vplyv aj na množstvo vznikajúcich oxidov dusíka. Na celkovej produkcii sa rôznou mierou podieľajú tri mechanizmy vzniku, podľa ktorých sa rozlišujú tzv. termické, palivové a rýchle oxidy dusíka (obr. 3.2).



Obr. 3.2 Oxidy dusíka (www.vecteezy.com)

Termické oxidy dusíka sú závislé od teploty a dĺžky reakcie, a preto vznikajú oxidáciou dusíka prevažne pri vyššej teplote, napr. vždy pri zohriatí vzduchu, ku ktorému dochádza pri spaľovaní palív. Všeobecne platí, že čím je teplota spaľovacieho procesu vyššia, tým vyššia je tvorba oxidov dusíka. V motorových vozidlách dochádza k tvorbe oxidov dusíka v dôsledku vysokého tlaku a teploty v motore, pri ktorej reaguje dusík s kyslíkom. Na tvorbu palivových oxidov dusíka majú vplyv dusíkaté zlúčeniny. Výrazný podiel majú tieto oxidy dusíka hlavne pri spaľovaní hnedého uhlia a biomasy, kde sa nedosahuje príliš vysokých teplôt (1200 až 1300 °C). Nad teplotou 900 °C je produkcia palivových oxidov dusíka prakticky nezávislá od teploty, avšak je výrazne závislá od koncentrácie kyslíka v zóne plameňa (možná oblasť pre obmedzenie tvorby oxidov dusíka).

Rýchle alebo tiež okamžité oxidy dusíka vznikajú pri spaľovaní uhlíkovodíkov, a to vo fronte plameňa. Vznik súvisí s väzbou molekúl dusíka s radikálmi v reakciách s nízkou energetickou bariérou (sú produktom oxidácie ľahko viazaného dusíka v palive). Proces je charakterizovaný krátkou dobou trvania, malou závislosťou od teploty a veľkou závislosťou od prebytku vzduchu s max. tvorbou v oblasti stechiometrického pomeru. Oxidácia ľahko viazaného dusíka v palive zvyčajne prebieha v medznej vrstve čela plameňa pri teplotách nad 1600 °C.



Obr. 3.3 Mechanizmy tvorby oxidov dusíka v závislosti od teploty

Viac ako 90 % oxidov dusíka je emitovaných vo forme oxidu dusnatého (NO). Vo vzduchu sa však tento plyn rýchlo mení na oxid dusičitý (NO₂) a ten sa ďalej mení na kyselinu dusičitú, ktorá sa spája so vzdušnou vlhkosťou a vedie ku vzniku kyslých dažďov. Oxid dusný je síce málo aktívny plyn v porovnaní s nebezpečným oxidom dusičitým, avšak emisie oxidu dusného (N₂O) ničia ozónovú vrstvu a ako jeden zo skleníkových plynov môžu byť aj za prípadnými klimatickými zmenami. Koncentrácia N₂O sa zvyšuje v rozsahu 0,18 až 0,26 % ročne, pričom za hlavný zdroj N₂O je považované spaľovanie pevného paliva.

Na základe analýz zaoberajúcich sa spaľovaním dreva a kôry v roštových kúreniskách tepelných generátorov, je možné z hľadiska aspektu podmienok pre vznik a tvorbu oxidov dusíka konštatovať, že pri spaľovaní vlhkého a mokrého dreva s vlhkosťou $W^r \geq 23$ % pri prebytku spaľovacieho vzduchu $\lambda \geq 2,0$ sa nevytvárajú podmienky na tvorbu oxidov dusíka cestou vysokoteplotnej oxidácie dusíka (teplota plameňa $t_{sp} \leq 1300$ °C), ani na tvorbu okamžitých oxidov dusíka (teplota plameňa $t_{sp} \leq 1600$ °C).

Oxidy dusíka v procese spaľovania vlhkého dreva a kôry v kúreniskách tepelných generátorov sa tvoria len cestou nízko-teplotnej oxidácie časti viazaného dusíka v palive. Ich produkcia je závislá od množstva dusíka nachádzajúceho sa v palive a podielu transformujúceho sa palivového dusíka v palive na emisie. Produkcia oxidov dusíka pri nízko-teplotnej oxidácii je závislá od množstva dusíka nachádzajúceho sa v palive a od podielu transformujúceho sa palivového dusíka v palive na emisie. Vzhľadom na to, že obsah dusíka v biomase jednotlivých druhov nie je rovnaký, ani koncentrácie oxidov dusíka v spalinách, ani produkcia oxidov dusíka do atmosféry zo spaľovania jednotlivých druhov biomasy nebude rovnaká.

Spaľovanie suchej biomasy, napr. na báze suchého dreva s vlhkosťou $W^r \leq 9 \%$ a s prebytkom spaľovacieho vzduchu $\lambda \leq 2,0$, resp. s vlhkosťou $W^r \leq 23 \%$ a s prebytkom spaľovacieho vzduchu $\lambda \leq 1,5$, vytvára podmienky aj pre vznik oxidov dusíka vysokoteplotnou oxidáciou vzdušného dusíka.

Mechanizmus tvorby NO z dusíka, ktorý sa nachádza v palive, je nasledujúci. V prvej fáze spaľovania biomasy pri teplotách 300 až 500 °C dochádza k uvoľňovaniu prchavého podielu, pričom 40 až 60 % dusíka z paliva prechádza do makrozlúčenín dechtu a zlúčenín typu: HCN a NH₃. V oxidačnej zóne plameňa reagujú organické zlúčeniny obsahujúce dusík s kyslíkom za vzniku oxidu dusnatého (NO). Keďže oxid dusnatý v atmosfére reaguje so vzdušným kyslíkom na oxid dusičitý (NO₂), zaužívalo sa v energetike a environmentálnom hodnotení palív vyjadrovanie koncentrácie oxidov dusíka v spalinách formou oxidu dusičitého (NO₂).

3.1.3 Oxidy síry

Oxidy síry (SO_x) sa vyskytujú vo viacerých formách a vytvárajú niekoľko škodlivín, pričom najvýznamnejšou škodlivou emisiou je oxid siričitý. Oxidáciou oxidu siričitého v atmosfére potom môžu vznikáť kyslé aerosóly.

Oxid siričitý je bezfarebný, štipľavo páchnuci, jedovatý plyn, ktorý reaguje na povrchu rôznych tuhých suspendovaných častíc. Jeho hustota pri normálnych podmienkach je 2,72 kg·m⁻³. Vo vode sa ľahko rozpúšťa za vývoja tepla a vzniku kyseliny siričitej. Môže byť oxidovaný aj vo vnútri vodných kvapiek rozptýlených v ovzduší, pričom vzniká kyselina siričitá.

Absorpcia oxidu siričitého na povrchu nosných slizníc a slizníc horných ciest dýchacích je dôsledkom jeho rozpustnosti vo vodnom prostredí. Táto absorpcia závisí od koncentrácie: v nosnej dutine dochádza k 85 % absorpcii pri 4 až 6 µg·m⁻³ a k približne 99 % absorpcii pri 46 mg·m⁻³. Iba minimálne množstvo oxidu siričitého prenikne až do dolných ciest dýchacích. Z dýchacích ciest sa oxid siričitý dostáva do krvi. Vylučovanie oxidu siričitého sa deje hlavne močom po biotransformácii na sírany, ku ktorej dochádza v črevách.

Oxidy síry sú výsledkom úplnej oxidácie síry nachádzajúcej sa v palive. Ide predovšetkým o SO₂ (viac ako 95 %), pri nižších teplotách však môže vznikáť aj SO₃

(do 5 %). Všetka síra v palive sa úplne nezmení na SO_x , ale významná časť zostane v popole a menšia časť sa vylúči pri nižších teplotách ako soľ K_2SO_4 alebo H_2S (VAN LOO, 2008).

Výsledky meraní v Dánsku (NIKOLAISEN, 1998) ukázali, že pri spaľovaní slamy 57 – 65 % síry uniká v spalinách a zvyšok zostáva viazaný v popole. Emisie SO_2 sa znižujú pridávaním vápenca alebo sekundárnymi opatreniami.

3.1.4 Celkový organický uhlík

Celkový organický uhlík (TOC Total Organic Carbon) - predstavuje celkové množstvo uhlíka viazaného v organických látkach, vode a plynch. Celkový organický uhlík zahŕňa širokú škálu uhl'ovodíkov a patria sem aj perzistentné organické polutanty (POPs), ktoré zahŕňajú napr. nemetánové prchavé organické látky (VOC), väčšina polycyklických aromatických uhl'ovodíkov (PAUs), polychlórované bifenily (PCBs) a polychlórované dibenzo-p-dioxíny (PCDDs) a polychlórované dibenzofurány (PCDFs).

Medzi celkový organický uhlík je zaradená široká škála uhl'ovodíkov. Do tejto skupiny látok patria perzistentné organické polutanty (POPs), ktoré zahŕňajú napr. nemetánové prchavé organické látky (Volatile Organic Compounds - VOC), väčšina polycyklických aromatických uhl'ovodíkov (PAU), polychlórované bifenily (PCBs) i polychlórované dibenzo-p-dioxíny (PCDDs) a polychlórované dibenzofurány (PCDFs).

Perzistentné organické polutanty sú organické zlúčeniny prevažne antropogénneho pôvodu, ktoré sa pri bežných podmienkach, t. j. pri teplote 20 °C a tlaku 100 kPa, pomaly vyparujú. POPs majú negatívny vplyv na ľudskom zdravie i na životné prostredie a sú charakteristické perzistenciou, toxicitou, semi-volatilitou a bioakumuláciou.

Prchavé organické zlúčeniny - VOC (okrem metánu), ktoré je možné definovať ako zlúčeniny uhlíka s výnimkou CO , CO_2 , H_2CO_3 , karbidov kovov, uhličitanov kovov a uhličitanu amonného. Vo všeobecnosti sú VOC (prchavé organické látky) veľkou skupinou plynov a ľahko vyparujúcich sa kvapalín, ktoré v sebe zahŕňajú rozličné skupiny organických chemikálií. Pri teplote 20 °C sa vyznačujú tlakom nasýtených pár vyšším než 133,3 Pa. Väčšina z nich je bez farby a zápachu (niektoré sú však silno zapáchajúce). Do skupiny nemetánových prchavých organických zlúčenín sú zaraďované nasledujúce chemické skupiny: alkoholy, aldehydy, alkány, aromáty, ketóny a halogénované deriváty týchto látok. Niektoré sú známe pod označeniami „riedidlá“, „rozpušťadlá“ a pod. Pretože nemetánové prchavé organické zlúčeniny zahŕňajú množstvo rôznorodých látok, aj ich zdravotné dopady sú veľmi rôznorodé. Dlhodobejšie vdychovanie niektorých látok môže spôsobiť podráždenie zmyslových orgánov, bolesť hlavy, stratu koordinácie, poškodenie pečene, ľadvín alebo centrálného nervového systému. Pri niektorých látkach je podozrenie na karcinogénne účinky, pri niektorých sú

karcinogénne účinky preukázané, napríklad benzén. Nebezpečné sú aj vzhľadom na ich schopnosť produkovať prízemný ozón, ktorý zohráva negatívnu úlohu pri respiračných ochoreniach (napr. vznik astmy). Okrem benzénu sa v ovzduší monitorujú toluén, etylbenzén, xylény a niektoré halogénové látky (chlórbenzén, etylénoxid, 1,2-dichlóretán, vinylchlorid atď.).

Skupina polycyklických aromatických uhľovodíkov (PAU) predstavuje veľmi širokú škálu rôznych látok vyznačujúcich sa obsahom kondenzovaných aromatických jadier vo svojej molekule a tým, že nenesú žiadne heteroatómy ani substituenty. Sú zložené z 3 a viacerých aromatických kruhov, ktoré obsahujú len uhlík a vodík. Pre svoju schopnosť dlhodobo pretrvávajúť v životnom prostredí a zdravotnú závažnosť sú považované za typických predstaviteľov perzistentných organických polutantov (POPs). Sú väčšinou bezfarebné, biele alebo bledo-žltozelené pevné chemické látky, veľmi málo rozpustné vo vode, ale ľahko rozpustné v tukoch a olejoch. Fyzikálno-chemické vlastnosti polycyklických aromatických uhľovodíkov sú všeobecne podmienené molekulovou hmotnosťou. S jej rastom narastá bod tavenia, bod varu, lipofilita (rozpustnosť v tukoch), resp. rozdeľovací koeficient medzi vodou a oktanólom, klesá rozpustnosť vo vode a tuhosť par. Z týchto dôvodov sú polycyklické aromatické uhľovodíky s nižšou molekulovou hmotnosťou v prostredí pohyblivé, zatiaľ čo polycyklické aromatické uhľovodíky s vyššou molekulovou hmotnosťou sú relatívne nepohyblivé. Polycyklické aromatické uhľovodíky vznikajú v rámci spaľovacích procesov akýchkoľvek materiálov obsahujúcich uhlík, najmä pri tepelnom rozklade a nedokonalom spaľovaní koksu, čierneho uhlia, asfaltu, nafty a predovšetkým benzínu. V ovzduší sa viažu na prachové častice. Niektoré častice polycyklických aromatických uhľovodíkov sa ľahko vyparujú do ovzdušia z pôdy alebo povrchovej vody. Vo vzduchu sa rozkladajú reakciou s inými chemickými látkami za prítomnosti slnečného žiarenia v priebehu niekoľkých dní až týždňov. Polycyklické aromatické uhľovodíky sú nebezpečné pre životné prostredie aj pre zdravie človeka. Ich nebezpečnosť je umocnená ich veľkou stabilitou a možnosťou šírenia sa na veľmi dlhé vzdialenosti vo forme naadsorbovanej na zrna sadzí a prachových častíc, najmä pri ich produkcii zo spaľovacích procesov. Sú toxické pre množstvo živých organizmov. Môžu spôsobovať rakovinu, poruchy reprodukcie a mutácie zvierat. Do organizmu sa dostávajú inhaláciou kontaminovaného vzduchu počas výroby a používania v doprave, pri tvorbe asfaltových ciest alebo pri pálení v poľnohospodárstve, kde sa používajú ako pesticíd, konzumáciou potravy (napr. mäso, obilie, múka, pečivo, zelenina, ovocie, sterilizovaná potrava, kravské mlieko a iné), pitnej vody. Jedným z najsledovanejších PAU je benzo(a)pyrén. Je jednou z toxikologicky najzávažnejších znečisťujúcich látok. Produkcia pochádza z nedokonalého spaľovania organických látok (biomasa, uhlie, nafta, benzín), ale aj plastov. Do organizmu sa dostáva hlavne dýchaním, ale môže prejsť aj cez pokožku. Následkom expozície je ohrozenie zdravého vývoja plodu, riziko ochorenia rakovinou, podráždenie až popálenie kože. Opakované expozície spôsobujú

popraskanie pokožky. Významným zdrojom benzo(a)pyrénu sú cigarety. Jedna cigareta vnesie do fajčiara približne 25 ng tejto látky.

Ďalšou skupinou emisií pri spaľovania palív s uhlíkom sú polychlórované bifenyly. Ide o organické látky, ktoré majú vodíkové atómy na bifenylovom skelete (bifenylyl je uhl'ovodík - $C_{12}H_{10}$) v rôznej miere nahradené atómami chlóru. Počet atómov chlóru v molekule polychlórovaných bifenylov (PCBs) môže byť v rozmedzí 1 až 10. Podľa rôznych polôh umiestenia týchto atómov existuje 209 izomérov (kongenétov) polychlórovaných bifenylov. Z 209 kongenétov PCB ich 12 vykazuje podobnú aktivitu (toxicitu) ako polychlórované dibenzo-p-dioxíny a polychlórované dibenzofurány. Sú veľmi stabilné a takmer sa nerozpúšťajú vo vode (so stupňom chlorácie ich rozpustnosť klesá). Viazu sa iba na tuky. Vykazujú výborné teplonosné vlastnosti, dobré elektroizolačné schopnosti, malú vznietivosť a horľavosť. Dibenzodioxíny a dibenzofurány - patria do skupiny perzistentných organických polutantov – látok, ktoré sa vyznačujú schopnosťou dlhú dobu zotrvať v životnom prostredí. Sú to látky vznikajúce pri všetkých termických procesoch. Dioxínmi sa zjednodušene označuje 210 chemických látok patriacich do skupiny dibenzo-p-dioxínov (PCDD) a polychlórovaných dibenzo-p-furánov (PCDF). V skupine PCDD je 75 kongenétov a v skupine PCDF je 135 kongenétov. Tieto látky sa od seba odlišujú v umiestnení atómu chlóru v molekule, inak sú si veľmi podobné. Dioxíny a furány sú zložené z atómov uhlíka, vodíka, kyslíka a chlóru. Sú prudko jedovaté, mierne prchavé látky a bez zápachu (www.vutbr.cz).

Spaľovanie tuhých palív je špecifické tým, že v procese spaľovania sa uvoľňuje vysoký podiel prchavej horľaviny, ktorej úplná oxidácia si vyžaduje vytvorenie špecifických podmienok v spaľovacom priestore kúreniska. Súčasný stav techniky pre spaľovanie tuhých palív nevytvára podmienky pre úplnú oxidáciu horľaviny paliva vo všetkých prevádzkových stavoch procesu spaľovania dreva v kotloch. Dokladujú to podrobné analýzy spalín zo spaľovania palív, ako i emisno-technologické merania uvádzajúce koncentrácie chemických zlúčenín obsahujúcich organický uhlík v spalínach. Analýzami spalín zo spaľovania dreva boli v spalínach identifikované chemické zlúčeniny obsahujúce organický uhlík ako formaldehyd, fenol, dibenzofuran, benzén, toluén, etylbenzén, styrén, inden, naftalen, acetnaftylén, fluoren, fenantren, antracén, pyrén, benzo-antracén, chryzén, benzo(a)pyren, dibenzo(a,h)antracén.

3.2 Tuhé znečisťujúce látky vznikajúce pri spaľovaní tuhých palív

Tuhé znečisťujúce látky sa do atmosféry môžu dostávať z antropogénnych a prirodzených zdrojov. Medzi antropogénne zdroje patria stacionárne zdroje vzniku TZL, ktoré zahŕňajú lokálne kúreniská, spaľovne, poľnohospodársku činnosť, ťažbu a dolovanie, chemickú výrobu. Mobilnými zdrojmi sú automobilová, vlaková, vodná a letecká doprava. Zdrojom vzniku TZL môže byť aj znečistenie vnútorného prostredia, ako je napr. fajčenie, spaľovanie, varenie, čistenie, uvoľňovanie z vnútorných materiálov a pod. Okrem uvedených kategórií, ktoré zahŕňajú

antropogénne zdroje, sa na znečisťovaní ovzdušia podieľajú aj prirodzené zdroje, ako je erózia pôdy, sopečná činnosť, peľ, baktérie atď. (JANDÁČKA, 2008).

Podľa správy WHO o stave znečistenia ovzdušia z roku 2015 je znečistenie ovzdušia v mestskom prostredí časticami PM 2,5 (TZL s aerodynamickým priemerom menším ako 2,5 μm) spôsobené 25 % dopravou, 15 % priemyselnou činnosťou, 20 % spaľovaním tuhých palív v domácnostiach, 22 % z nešpecifikovaných zdrojov ľudského pôvodu a 18 % z prírodných zdrojov. V prípade väčších častíc PM 10 (TZL s aerodynamickým priemerom od 2,5 μm do 10 μm) znečistenie zapríčiňuje 25 % doprava, 18% priemyselná činnosť, 15 % spaľovanie palív v domácnostiach, 20 % nešpecifikované zdroje ľudského pôvodu a 22 % prírodné zdroje. Najväčším producentom TZL v centrálnej Európe, kde sa nachádza aj Slovensko, je práve spaľovanie tuhých palív v domácnostiach (45 % podielu pre PM 10 a 32 % podielu pre PM 2,5). (WHO, 2015)

Vplyv tuhých znečisťujúcich látok na zdravie človeka závisí od ich zloženia a veľkosti. Môžu obsahovať prekursorové plyny, konkrétne oxid siričitý, oxidy dusíka, amoniak a prchavé organické zlúčeniny. V tuhých znečisťujúcich časticách možno nájsť aj niektoré ťažké kovy, ako sú arzén, kadmium, ortuť a nikel (WHO, 2013). Jedinou expozičnou cestou ako sa TZL môžu dostať do ľudského organizmu je ich inhaláciou. Škodlivý účinok TZL závisí od veľkosti častíc. V prípade väčších častíc (nad 10 μm , označovaných ako PM 10) môže dôjsť k podráždeniu horných dýchacích ciest s kašľom, kýchaním a ku dráždeniu očných spojiviek. Menšie častice môžu preniknúť až do dolných dýchacích ciest a častice s rozmerom menším ako 2,5 μm (označovaných ako PM 2,5) môžu prestupovať do pľúcnych alveol alebo sa usadzovať v pľúcach. Najmenšie častice môžu prenikať do krvného obehu.

Z technickej správy „Preskúmanie dôkazov o zdravotných aspektoch znečistenia ovzdušia“ Svetovej zdravotníckej organizácie (WHO) vyplýva, že znečistenie ovzdušia jemnými časticami (PM 2,5) by mohlo predstavovať väčší problém pre zdravie, ako sa pôvodne odhadovalo. Zo správy ďalej vyplýva, že dlhodobé vystavenie jemným časticám môže spustiť aterosklerózu, mať nežiaduce následky pri pôrode a spôsobiť detské respiračné ochorenia. WHO v nej takisto naznačuje možné prepojenie s vývojom nervového systému, kognitívnymi funkciami a cukrovkou a potvrdzuje príčinný vzťah medzi PM 2,5 a úmrtiami v dôsledku srdcovo-cievnych a respiračných ochorení (WHO, 2013). Odhaduje sa, že približne 3 % srdcovopľúcnych úmrtí a 5 % úmrtí na rakovinu pľúc je spôsobené globálne časticami TZL. V Európe je tento podiel 1 – 3 % srdcovopľúcnych úmrtí a 2 – 5 % úmrtí na rakovinu pľúc v rôznych regiónoch. (www.gov.uk/government/organisations/environment-agency)

3.2.1 Mechanizmus tvorby TZL pri spaľovaní tuhých palív

Prvé jemné častice vzniknuté pri spaľovaní sú častice sadze tvorené v plameni z uhl'ovodíkov. K tvorbe čiastočiek jemného popolčeka dochádza tiež odparovaním

alkalických kovov z paliva. Ak sa v spalinách vyskytujú tekuté alebo dechtové častice, môžu kondenzovať už na existujúce častice alebo nukleáciou vytvárať nové častice. Hrubé častice sa formujú prevažne zo spodného popola a tvoria malé prchavé zlúčeniny popola a čiastočne nespálený uhlík. (TISSARI, 2008) V nasledujúcich častiach sú bližšie popísané mechanizmy tvorby sadze a popola.

Sadze sa tvoria primárne v plameni z uhl'ovodíkov. Proces formovania sadze predstavuje komplexný mechanizmus, ktorému venujú pozornosť mnohé štúdiá. Napriek tomu, sa ešte nepodarilo proces formovania sadze dostatočne definovať. Mnohé častice sadze sú formované v rámci zóny bohatej na palivo v difúznom plameni, kde namiesto oxidácie na oxid uhoľnatý (CO) alebo oxid uhľitý (CO₂) prevláda tendencia vzniku sadzí. Pokiaľ sa nedostatočne premiešajú spaliny so vzduchom v domácich kotloch, oblasť horenia obsahuje bohaté zóny aj v prítomnosti prebytku vzduchu počas procesu spaľovania. V procese formovania sadzí najprv zlúčeniny polycyklických aromatických uhl'ovodíkov (PAH) polymerujú. V nasledujúcom kroku, veľkosť PAH rastie a dôsledkom nukleácie vznikajú 1-2 nm veľké zárodoky sadzí. V ďalšej časti procesu sa zárodoky sadzí zväčšujú pomocou povrchových reakcií a koaguláciou. Takto sa vytvoria jadrá sadzí s priemerom približne 10 nm. PAH zlúčeniny sú naväzované k povrchu jadrových častíc pomocou povrchových reakcií, čo vedie k formovaniu primárnych častíc sadzí.

Pozorovaním sa zistilo, že primárne vytvorené čiastočky sa skladajú z lupienkovitých kryštálov. Štruktúra týchto kryštálov je podobná štruktúre grafitu. Vo vonkajšom plášti je kryštálová štruktúra smerovaná podľa tvaru povrchu, ale vo vnútri je uložená náhodne. Tvorba vonkajšieho plášťa a zhlukovanie častíc je súbežné a súčasné. Povrch častice predstavuje veľmi stabilný a zároveň jednoduchý uhlík. Koncentrácia uhlíkových častíc v plameni je vysoká a tým pádom aj množstvo zhlukovania je vysoké. Väčšina sadze zhorí v plameni, ktorý je bohatý na kyslík, avšak menšia časť častíc sa uvoľní ako aglomeráty. Tieto aglomeráty sú zložené z uhlíkových sfér o priemere približne 30 – 50 nm. (TISSARI, 2008).

Jemné čiastočky v procese spaľovania pri dobrých podmienkach sú hlavne tvorené vyparovaním popol tvoriacich prvkov z paliva. Proces tvorby jemného popola začína homogénnou nukleáciou. Nastáva pokles teploty spalín, s čím zároveň aj pokles tlaku vyparovaných častíc popola. Vyparovanie je ovplyvnené chemickým zložením drevného paliva a reakciami anorganických látok nachádzajúcich sa v palive. Minerálne zlúčeniny sú viazané na organickú štruktúru palív a uvoľňujú sa počas spaľovania. Teplota spaľovania taktiež vplýva na vyparovanie, pretože pri vyšších teplotách sa uvoľnia väčšie množstvá popola.

V drevných palivách sú veľmi prchavé nasledujúce prvky: draslík, síra, chlór a sodík. Prchavé môžu byť tiež prvky, ktoré majú nižší tlak vyparovania, ako sú vápnik a zinok, v priebehu zmenšovania oblasti horenia. Počas spaľovania drevných palív je jemný poletavý popol zložený z draslíkových zlúčenín, ako sú napríklad

síran draselný (K_2SO_4), chlorid draselný (KCl), hydroxid draselný (KOH) a uhličitan draselný (K_2CO_3). Čo sa týka alkalických kovov, ich uvoľňovanie súvisí s koncentráciou chlóru, síry a sorbentných minerálov v palive. Obsah chlóru sa zvyšuje uvoľňovaním alkalických kovov, čo je ovplyvnené formovaním prchavých chloridov alkalických kovov. Významný vplyv na tvorbu emisií alkalických zlúčenín má taktiež molárny pomer K/Si a Cl/K. Prítomnosť kremičitanov spôsobuje, že zlúčeniny hliníka a kremíka môžu reagovať s draslíkom, čím vytvárajú stabilnejšie zlúčeniny. Nízky pomer K/Si obmedzuje uvoľňovanie draslíka. Vysoký pomer Cl/K zase podporuje tvorbu alkalických kovov, pokiaľ reakcia chlóru s draslíkom predchádza reagovaniu draslíka s kremičitanmi a zároveň uprednostňuje tvorbu pri vysokom uvoľňovacom tlaku. Ak sa v palive nachádza dostatočné množstvo síry, môže obmedziť efekt chlóru cez sulfačnú reakciu, v ktorej chlorid alkalického kovu je prevedený na menej prchavý síran alkalického kovu. Sulfácia iných druhov alkalických kovov, ako napríklad hydroxidov, môže znížiť uvoľňovanie alkalických kovov.

Vysoký podiel palivového popola v poľnohospodárskej biomase vedie k rôznym prevádzkovým problémom, ako je zanášanie, spekanie a korodovanie teplo prenosných plôch v bojleroch, čo spôsobuje zníženie efektivity a iné poruchy.

Hrubé častice (1 – 10 μm) vzniknuté v procese spaľovania biomasy sa tvoria z nízkoпрchavých prchavých zlúčením popola a čiastočne z nespáleného uhlíka. Pri nízkych teplotách sa formujú veľké zhluky popola. Pri dostatočne vysokých teplotách sa zhluky popola môžu roztopiť a znova vytvoriť malé kvapôčky popola. Veľmi hrubé častice ($>10 \mu\text{m}$) sú tvorené z častíc zvyškového poletavého popola, ktoré unikli z ohniska a sú unášané spalinami (TISSARI, 2008).

3.2.2 Vplyv rôznych aspektov na tvorbu TZL

Na tvorbu tuhých znečisťujúcich látok vplyva viacero faktorov, medzi nimi sú to spôsob spaľovania, druh, tvar a vlhkosť paliva, rozloženie paliva v kúrenisku, dávka paliva, množstvo spaľovacieho vzduchu, spôsob a rýchlosť prívodu spaľovacieho vzduchu, spaľovacia teplota a pod. Grafické znázornenie vplyvu viacerých aspektov na tvorbu emisií je možné vidieť na obr. 3.4.

Na podiel popolčeka strhnutého spalinami zo spaľovacích zariadení má veľký vplyv druh použitého spaľovacieho procesu. Napríklad spaľovacie zariadenia s pohyblivým roštom vytvárajú pomerne malé množstvo poletavého popolčeka, cca 20 až 40 % z celkového popola. Avšak spaľovacie zariadenia spaľujúce práškové uhlie produkujú z celkového popola 80 až 90 % popolčeka.

Najjednoduchší spôsob, ako kontrolovať emisie je použitie vysokokvalitného paliva s nízkym obsahom popola, nízkou vlhkosťou a konštantnou časticovou veľkosťou.

Jednotlivé malé zdroje, hoci spaľujú rovnaké palivo, vykazujú veľké rozdiely

v hodnotách emisií TZL. Najvyššie hodnoty sa vyskytujú pri spaľovaní hnedého uhlia v prehorievacom kotle. Významná časť častíc je tvorená v prvých minútach po priložení paliva (cca 40 až 80 %) v priebehu prvých 10 minút, potom klesá.

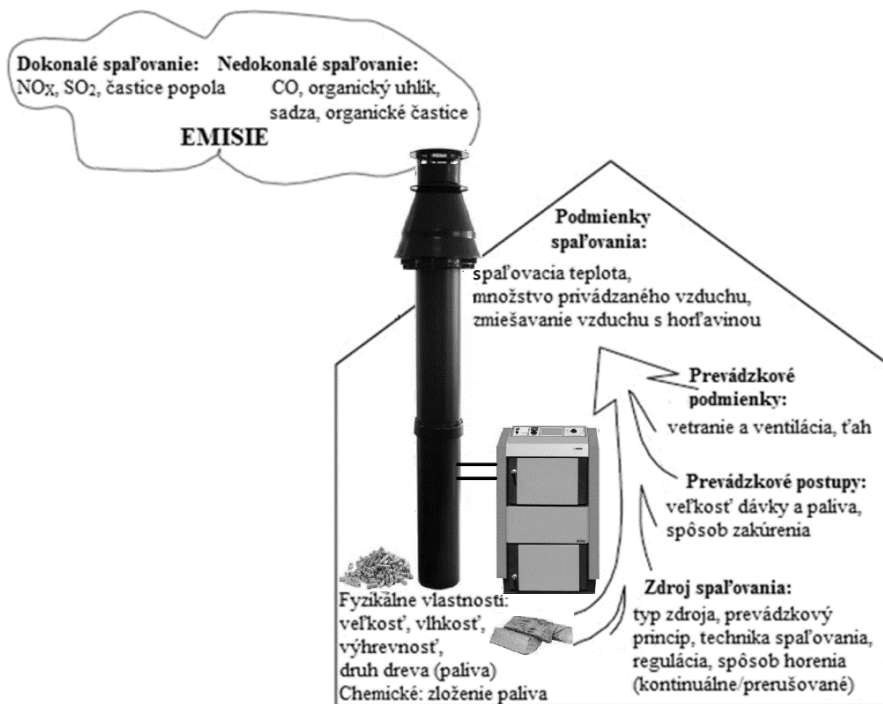
Výsledky výskumných prác zaoberajúcich sa aspektami tvorby TZL:

- Horák, Branc a Hnilicová zistili, že existuje korelácia medzi CO a TZL, ktorá ukazuje na súvislosť vzniknutého množstva TZL s nedokonalým spaľovaním prchavej horľaviny. Takéto tuhé častice sú tvorené nielen populovinou z paliva, ale aj uhlikatými zlúčeninami, ako sú dechty a sadze. (*HORÁK, 2010*)
- Boman, Nordin, Bostrom, Ohman zo Švédska skúmali 6 rôznych druhov paliva v rôznych spaľovacích zariadeniach o výkonoch (10-15 kW). Zistili, že ultrajemné častice (menšie ako 1 µm) tvoria 89,5 % ± 7,4 % z celkovej produkcie, pričom 28-92 % pochádzalo z nedokonalého spaľovania, ktoré bolo spôsobené napr. nedostatočným premiešaním paliva a vzduchu v komore a nízkou teplotou spaľovania. (*BOMAN, 2003*)
- Ghafghazi, Sowlati, Sokhansanj, Bi, Melin prevažne z Univerzity Britskej Kolumbie v Kanade zisťovali vplyv kvality dreva na produkciu tuhých znečisťujúcich látok. Zistili, že vysokokvalitné drevo je vyrobené z prírodného kmeňa drevnej suroviny bez nečistôt takých, akými sú konzervačné prostriedky, lepidlá alebo lak, soľ a piesok, nízkej vlhkosti. Palivové drevá z inej časti ako je kmeň stromu, napríklad kôra, obsahuje vysoký podiel popola, alkalických a ťažkých kovov. Drevné pelety vyrobené z prírodného, neznečisteného kmeňa stromu vytvárajú najmenší podiel emisií TZL a to aj v submikrónových veľkostiach. (*GHAFGHAZI, 2011*)
- Nussbaumer, Czasch, Klippel, Johansson, Tullin zo Švajčiarska tvrdia, že kvalitné automaticky riadené kotle na spaľovanie dreva dosahujú vysokú kvalitu spaľovania, čo vedie k nízkej produkcii emisií. Častice zo spaľovania sú tvorené pevnými a kvapalnými časticami, ktoré obsahujú organické a anorganické látky. Tvorba organických látok je ovplyvnená podmienkami spaľovania, anorganické látky pochádzajú zo zloženia paliva. (*NUSSBAUMER, 1998*)
- Kozinski a Saade z Univerzity v Montreali zisťovali vplyv paliva (spracovaný papier, tvrdé borovicové drevo a drevotrieskové dosky) na tvorbu sadzí. Tvorba sadzí bola najrozsiahlejšia počas spaľovania dosky a tvrdého borovicového dreva, kde sa získali najvyššie teploty spaľovania. (*KOZINSKI, 1998*)
- Hartmann a Schon z Technologického centra pre obnoviteľné zdroje v Nemecku zisťovali vplyv rozmerov paliva na tvorbu TZL. Došli k záveru, že veľkosť použitého paliva má vplyv na produkciu TZL. Nie je vhodné spaľovať ani veľmi malé kúsky, ani veľké. V ďalšej sérii meraní pozorovali vplyv celkovej nákladky paliva na emisné parametre, pričom bolo zistené, že pri spaľovaní jedného polkilového polienka sa vyprodukuje oveľa viac tuhých častíc ako spaľovaním väčšieho množstva dreva. (*HARTMANN, 2007*)
- Jandačka a kol. zistili na základe testovania vplyvu množstva spaľovacieho

vzduchu na výkonové a emisné parametre zdroja tepla, že 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. Vzhľadom na minimálnu tvorbu a produkciu emisií je odporúčané realizovať spaľovanie dendromasy s prebytkom spaľovacieho vzduchu $\lambda_{opt} = 2,1$. (JANDAČKA, 2016)

- Papučík, Pilát, Chabadová a Medvecký vo svojom príspevku uvádzajú, že jednou z hlavných podmienok ovplyvňujúcich proces spaľovania je dostatočný prívod spaľovacieho vzduchu. Ak do kúreniska sa privedie veľké množstvo vzduchu, klesá teplota, unikajú nespálené plyny a tým pádom nám uniká časť energie. Ak je prívod nedostatočný, nedôjde k spáleniu prchavej horľaviny a horenie je neúplné. Z analýz 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. (PAPUČÍK, 2014)

- Tissari vo svojej práci o prachových časticiach po spaľovaní dreva opisuje najdôležitejšie faktory vplývajúce na ich tvorbu, a to sú: nízka rýchlosť spaľovania, čo vedie k nízkemu prívodu spaľovacieho vzduchu (tlejúce horenie), veľká rýchlosť splyňovania, čo vedie k nedostatočnému prívodu vzduchu a tým pádom aj k nedokonalému spaľovaniu, veľká dávka paliva, príliš nízka spaľovacia teplota a prevádzka kotla za zníženého výkonu. (TISSARI, 2008)



Obr. 3.4 Vplyv viacerých aspektov na tvorbu emisií (JANDAČKA, 2019)

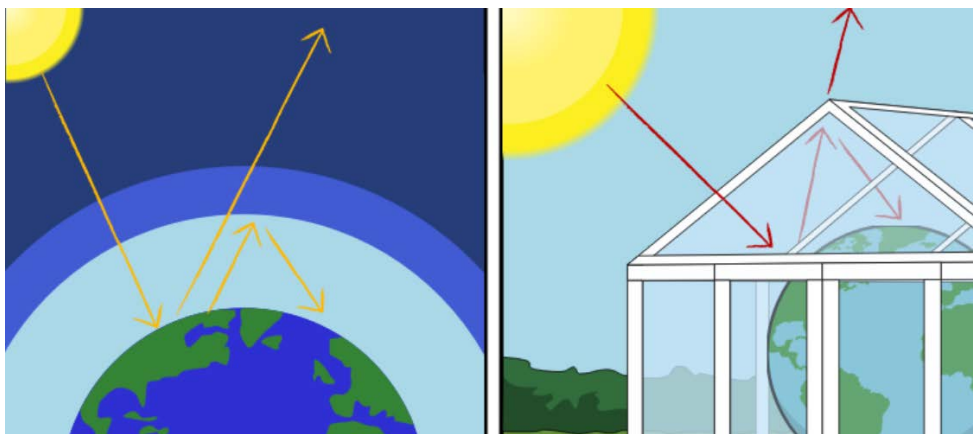
4 PREVÁDZKOVANIE ZDROJOV TEPLA A VPLYV NA ŽIVOTNÉ PROSTREDIE

Z environmentálneho hľadiska sú emisie unikajúce do ovzdušia považované za najväčší problém súčasnosti, ktoré spôsobujú nárast skleníkového efektu a ozónovej diery.

4.1 Skleníkový efekt

Skleníkový efekt sa na Zemi prejavoval od samého počiatku, pretože atmosféra obsahovala niektoré tzv. skleníkové plyny – oxid uhličitý, vodnú paru a metán. Krátkovlnné tepelné žiarenie prechádzajúce atmosférou dopadá na zemský povrch, kde je z veľkej časti pohlcované a ohrieva ho, tzn. absorbované žiarenie sa premení na teplo. Časť tepelného žiarenia vyžarovaného zemským povrchom, ale s väčšou vlnovou dĺžkou, je absorbované v atmosfére skleníkovými plynmi a opäť je vyžiarené k zemskému povrchu a takto sa teplo na zemskom povrchu zhromažďuje (obr. 4.1). To znamená, že s pribúdaním CO_2 narastá teplota Zeme, čo má za následok citelné narušenie rovnováhy vznikajúcej milióny rokov. Skleníkový efekt existoval aj v minulosti a umožnil vznik a rozvoj života na Zemi. (PECIAR, 2011)

Na zvýšení teploty Zeme sa podieľa vodná para ($20,6\text{ }^\circ\text{C}$), CO_2 ($7,2\text{ }^\circ\text{C}$), troposférický ozón ($2,4\text{ }^\circ\text{C}$), N_2O ($1,4\text{ }^\circ\text{C}$), CH_4 ($0,8\text{ }^\circ\text{C}$) a ostatné plyny ($0,6\text{ }^\circ\text{C}$). Problém nespočíva v existencii skleníkového efektu, ale v jeho zosilňovaní a to je spôsobené narastajúcou zmenou chemického zloženia atmosféry v dôsledku antropogénnej činnosti.



Obr. 4.1 Skleníkový efekt

Najvýznamnejšie skleníkové plyny sú podľa Agentúry na ochranu životného prostredia vodná para (H_2O), oxid uhličitý (CO_2), metán (CH_4) a oxid dusný (N_2O). Oxid uhličitý a metán sa vyskytujú v atmosfére prirodzene, bez nich by bolo podnebie na Zemi o 30 až $40\text{ }^\circ\text{C}$ chladnejšie, ako je dnes. Zatiaľ čo kyslík (O_2) je

druhým najhohnejším plynom v našej atmosfére, O_2 neabsorbuje infračervené žiarenie. Ďalšími skleníkovými plynmi sú freón 11 a freón 12, ako aj ďalšie freóny.

Oxid uhličitý je významným skleníkovým plynom. Počas miliónov rokov rastliny odčerpali z atmosféry miliardy ton uhlíka a zakonzervovali ho v sedimentoch, ktoré sa v konečnom dôsledku stali ložiskami uhlia, ropy a zemného plynu. Za posledné dve storočia ľudia tieto zdroje fosílnych palív začali ťažiť a spaľovať zrýchleným tempom. Dnes spaľovaním fosílnych palív uvoľňuje človek každoročne do atmosféry okolo 5,5 miliardy ton uhlíka. Ďalších 1,5 miliardy ton sa ročne uvoľňuje v dôsledku zmien vo využívaní krajiny, ako je napríklad odlesňovanie. Od predindustriálnych čias došlo k zvýšeniu koncentrácie atmosférického uhlíka o 30 percent. Využívanie fosílnych palív na výrobu energie a v doprave je hlavným zdrojom globálnych emisií. Oblasti na Zemi, ako sú lesy (vegetácia) a oceány, fungujú ako pohlcovače uhlíka tak, že ho absorbujú a zadržiavajú, a tým vlastne vytvárajú určitú protiváhu emisiám skleníkových plynov. (PECIAR, 2011)

Aj keď niektorí tvrdia, že globálne otepľovanie je prirodzený proces a že vždy existovali skleníkové plyny, ich množstvo v atmosfére v nedávnej histórii prudko vzrástlo. Pred priemyselnou revolúciou kolísal atmosférický CO_2 v ovzduší medzi ľadovými dobami okolo 180 ppm = 0,018% a medzi interglaciálnymi teplými dobami medzi 280 ppm.

Po priemyselnej revolúcii sa však množstvo CO_2 podľa National Oceanic and Atmospheric administration (NOAA) zvýšilo stokrát rýchlejšie ako zvýšenie, keď sa skončila posledná doba ľadová.

Po výraznom znížení emisií po roku 1990, v dôsledku zníženia ekonomickej výkonnosti, sa SR podarilo udržať trend poklesu uhlíkovej náročnosti aj po roku 1997, teda v období oživenia hospodárskeho rastu. Zatiaľ sa darilo udržať tzv. decoupling, teda pomalší rast emisií v porovnaní s dynamikou rastu HDP.

Významným sektorom, v ktorom sa SR nedarí stabilizovať rast emisií skleníkových plynov, je sektor cestnej dopravy. Podiel emisií v sektore energetika vrátane dopravy na celkových emisiách skleníkových plynov v roku 2017 bol 68 % (vo vyjadrení na CO_2 ekvivalenty), emisie z dopravy v rámci sektora energetika tvorili zhruba 32 %. Ďalšou problematickou oblasťou, kde sa nedarí nárast emisií skleníkových plynov účinne regulovať, je spaľovanie fosílnych palív v domácnostiach, tzv. lokálnych kúreniskách.

4.2 Ozónová diera

Ozón je zvláštna forma existencie kyslíku, trojatómový kyslík. V atmosfére Zeme je veľmi nerovnomerne rozložený. Ozón je tvorený a rozkladaný fotochemickými reakciami, teda slnečným žiarením. V stratosfére prebieha neustály kolobeh vzniku a zániku ozónu (obr. 4.2). Za prítomnosti slnečného žiarenia dochádza k fotochemickým reakciám, ktorých výsledkom je vyššia koncentrácia

ozónu. Celkovo je ozónu v atmosfére veľmi málo a keby sa všetok ozón zhromaždil na povrchu Zeme, vznikla by vrstvička v hrúbke cca 3 mm. Ozónová vrstva je však potrebná pre život na Zemi, pretože filtruje ultrafialové žiarenie a prepúšťa na Zem svetlo a teplo. Absorbuje UV-C žiarenie so smrtiacimi účinkami pre živé organizmy a čiastočne UV-B žiarenie, ktoré spôsobuje poškodenie zraku, rakovinu kože, zníženie imunity a ničí planktón. (ČERNECKÝ, 2010)

O úbytku ozónu (ozónovej diere) hovoríme, ak nastane 50 % -ná dočasná strata ozónu. Vyjadruje sa v Dobsonových jednotkách. 100 Dobsonových jednotiek zodpovedá pomyslenému stĺpcu ozónu pri povrchu Zeme o hrúbke 1 mm.

Ozón existoval milióny rokov v stratosfére v rovnováhe medzi vytváraním a deštrukciou. Tento prirodzený proces tvorby a deštrukcie narušila prítomnosť reaktívnych chemikálií (freón, halón, tetrachlórmetán, trichlórétán a iné) vytvorených antropogénnou činnosťou.



Obr. 4.2 Vznik ozónovej vrstvy (www.eastmojo.com)

Narušenie ozónovej vrstvy poškodzuje rastlinné a živočíšne bunky, spôsobuje genetické zmeny DNA, má negatívne dopady na počasie a klímu, a na ľudské zdravie, negatívne pôsobí na morské ekosystémy (ničí fytoplanktón), spôsobuje pokles úrody vo svete v dôsledku porúch fotosyntézy rastlín.

4.3 Kyslé dažde

Kyslé dažde vznikajú v dôsledku silného znečistenia ovzdušia. Pôvod oxidovania je zapríčinený hlavne únikom emisií:

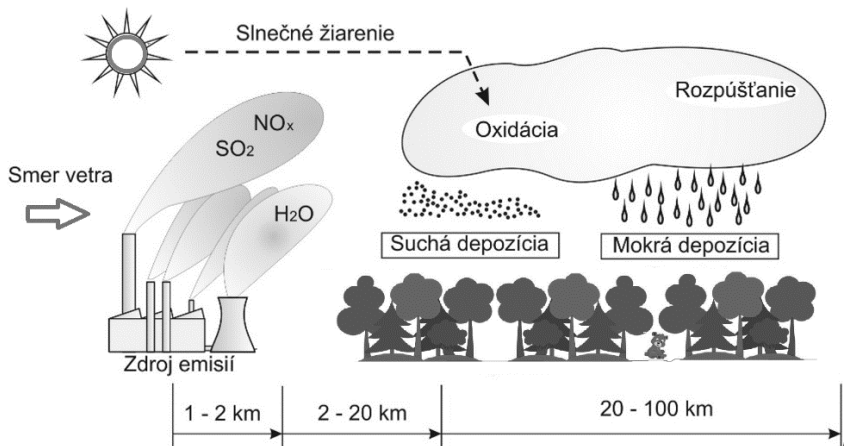
- oxidov dusíka (zo spaľovania ropných látok v priemysle a doprave),
- oxidu siričitého (z tepelných elektrární a vykurovania domov).

Hoci existujú aj prírodné zdroje emisií týchto oxidov (vulkanická činnosť, rozklad organizmov), viac ako 90 % emisií síry a 95 % emisií dusíka má pôvod

v ľudskej činnosti. Tieto oxidy v ovzduší reagujú s vodnou parou a podnecujú vznik slabej kyseliny sírovej a kyseliny dusičnej, ktoré sa prostredníctvom zrážok (kyslé dážď a sneh) dostávajú späť na Zem (obr. 4.3).



Bežná dažďová voda má pH faktor 5,0 až 5,6 a za kyslé dážď sa považuje voda s pH faktorom od 2,0 do 5,0.



Obr. 4.3 Vznik kyslých dažďov (JANDAČKA, 2008)

Kyslé dažde sú schopné pohybovať sa na veľké vzdialenosti. V úseku 1 až 2 km od zdroja znečistenia znečisťujúce látky unáša vietor a ich dráhu ovplyvňuje stúpajúci prúd a turbulencia vzduchu. V úseku 2 až 20 km vzniká rozprašovanie a chemické reakcie látok. V tomto úseku začínajú znečisťujúce látky klesať k Zemi. V úseku od 20 do 100 km sa znečisťujúce látky dokonale premiešavajú so vzduchom a vymýva ich dážď (vznikajú kyslé dažde – mokrá depozícia) a za suchého počasia sú oxidy síry a dusíka v prízemnej vrstve ovzdušia priamo absorbované rastlinami, pôdou a vodou.

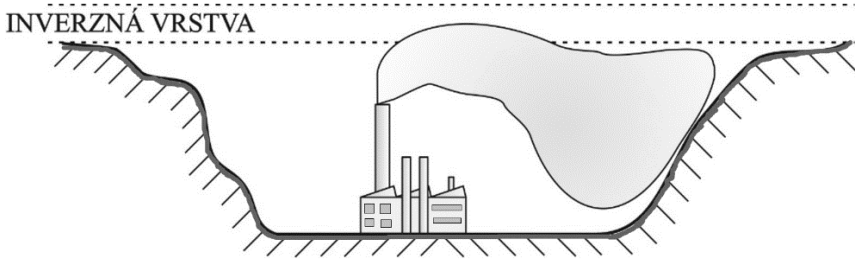
Kyslé dažde spôsobujú zvýšenú chorobnosť ľudí (dráždia sliznice dýchacích ciest), poškodzujú lesný porast – „hrdzavenie“ ihličnanov, znehodnocujú vodu, čo má negatívny vplyv na fytoplanktóny a poškodzujú budovy, umelecké pamiatky, spôsobujú znižovanie pôdnej úrodnosti (pôda stráca živiny) a spôsobujú vytváranie smogu nad väčšími mestami. (PECIAR, 2011)

4.4 Smog

Smog sa vyskytuje v mestách, obciach a priemyselných oblastiach v dôsledku emisií zo spaľovacích procesov a klimatických faktorov (z anglických slov „smoke“ = dym a „fog“ = hmla). Rozoznávame tieto typy smogu:

- zimný – redukčný, označovaný tiež ako londýnsky,
- letný – fotooxidačný, označovaný tiež ako losangelský.

Redukčný (londýnsky) – vzniká v priemyselných mestách za nepriaznivých poveternostných podmienok, keď teplotná inverzia a hmla vytvára nad krajinou nepriepustnú vrstvu a znečisťujúce látky, ktoré nemôžu vrstvou preniknúť do vyšších vrstiev, sa hromadia v prízemných vrstvách ovzdušia (obr. 4.4), takže koncentrácia znečisťujúcich látok prekročí prípustné hodnoty. V závislosti na priemyselnom znečistení je redukčný smog zložený prevažne z oxidu siričitého a niektorých ďalších látok, ktoré ľahko podliehajú oxidácii. Tieto látky majú často silné redukčné účinky na svoje okolie.



Obr. 4.4 Redukčný (londýnsky) smog (PECIAR, 2011)

Oxidačný fotochemický (losangelský) – ide o znečistenie vzduchu, ktoré vzniká v mestských oblastiach vplyvom slnečného žiarenia na niektoré zložky zo spaľovacích motorov, hlavne NO_x, CO a uhl'ovodíky. Jeho súčasťou sú prevažne vysoké koncentrácie prízemného ozónu O₃, vďaka ktorému môže byť pozorovaný ako namodralý opar, a zmes uhl'ovodíkov a (NO_x) a uhlíku (CO, CO₂). Podmienkou je intenzívne ultrafialové žiarenie, takže k tvorbe tohto typu smogu dochádza až v poludňajších a počiatočných odpoľudňajších hodinách. (PECIAR, 2011)

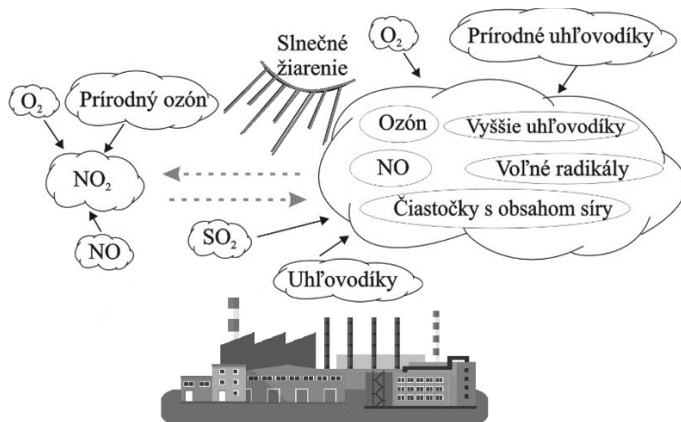
4.4.1 Vplyv smogu na životné prostredie

Smog má preukázateľný vplyv na zhoršenie zdravotného stavu obyvateľov, najmä na vyšší výskyt bronchitídy, astmy a ďalších dýchacích ťažkostí aj na zvýšenie úmrtnosti.

Zimný - redukčný typ smogu (londýnsky) je pomenovaný podľa situácií, ktoré sa objavovali v Londýne už od 18. a 19. storočia. Tento typ smogu najčastejšie vzniká v zime pri spaľovaní tuhých palív s vysokým obsahom popolčeka a síry. Prispievajú k nemu tiež produkty nedokonalého horenia. Vzniká pri teplotných inverziách, keď sa studená vrstva vzduchu drží pri zemi a teplejšia vrstva je nad ňou a bráni premiešavaniu vzdušných hmôt a rozptylu emisií. Tento stav bráni rozptylu znečisťujúcich látok a tak sa emisie z vykurovania a z dopravy sa kumulujú pri zemi. Smog pretrváva, kým sa nezmenia poveternostné podmienky. Smogom bývajú často postihnuté obce a mestá situované v kotlinách. Zimný smog bol príčinou smrti tisícov ľudí v Londýne v rokoch 1952 a 1962 a poškodenia zdravia ďalších tisícov. Práve takéto a ďalšie ekologické katastrofy 26 viedli k realizácii opatrení proti znečisťovaniu ovzdušia. Obmedziť zimný typ smogu možno len prechodom od

využívania uhlia k čistejším palivám v lokálnych kúreniskách. K zlepšeniu môžu prispieť modernejšie spaľovacie technológie, ako aj šetrenie energií a hľadanie alternatívnych zdrojov kúrenia a produkcie elektriny.

Letný – fotochemický smog. K ďalším environmentálnym problémom v ovzduší patria epizódy prízemného ozónu. Ozón v troposfére vzniká ako produkt fotochemickej disociácie oxidu dusičitého. Po prvýkrát bol fotochemický smog zaznamenaný v Los Angeles, preto sa nazýva Los Angelský typ smogu. Počas letných dní za intenzívneho slnečného svitu pôsobí UV žiarenie na emisie zo spaľovacích motorov, predovšetkým na oxidy dusíka, oxid uhoľnatý a uhl'ovodíky. Absorpcia slnečného žiarenia iniciuje fotodisociáciu oxidu dusičitého za vzniku oxidu dusnatého a ozónu. Fotolýzou dochádza tiež k disociácii prítomných aldehydov a ketónov. Kľúčovou reakciou je fotolýza kyseliny dusitej za vzniku hydroxylových radikálov. Prítomnosť hydroxylových radikálov a prchavých organických zlúčenín v ovzduší pomáha k ďalším chemickým reakciám vedúcim k tvorbe troposférického ozónu. Vznik fotochemického smogu závisí od znečistenia atmosféry a od intenzity slnečného žiarenia. Tvorí sa hlavne v dopravných špičkách. Príčinou sú výfukové plyny z dopravy. Spôsobuje zhoršenie viditeľnosti. Vznikajúci ozón má toxické účinky a je tiež silným oxidačným činidlom. Ďalší produkt tohto procesu peroxyacetylitrát (PAN) pôsobí toxicky na ľudský organizmus. Tieto látky dráždia očné rohovky a spojivky, sliznice dýchacích ciest a zhoršujú pľúcne funkcie. Fotochemický smog znižuje produkciu rastlín a poškodzuje listy a ihličie aj umelecké pamiatky. Najčastejšie sa vyskytuje predovšetkým v letnom období, ale môže vznikať aj počas teplých jesenných a jarných dní. Koncentrácie ozónu sa menia v závislosti na pôsobení faktorov ovplyvňujúcich tvorbu a transport ozónu. Dôležitým faktorom sú meteorologické podmienky, ktoré priamo ovplyvňujú množstvo dopadajúceho slnečného žiarenia, ale aj pomery prekursorov čo priamo ovplyvňuje rýchlosť fotochemických reakcií. Koncentrácia ozónu nezávisí len od celkového množstva prchavých organických zlúčenín a množstva oxidu dusičitého, ale aj od ich vzájomného pomeru v ovzduší. K vysokej koncentrácii ozónu zodpovedá pomer 4:1 až 10:1 vyššie uvedených prekursorov. Zmeny v ročných obdobiach spôsobujú sezónny výskyt vyšších koncentrácií ozónu (ozónové epizódy) v letných mesiacoch. Najväčšie koncentrácie ozónu bývajú v popoludňajších hodinách. V noci ozón vstupuje do reakcií z oxidom dusnatým za vzniku oxidu dusičitého. Výskyt fotochemického smogu možno znížiť redukciami emisií jeho prekursorov do ovzdušia (oxidov dusíka a organických látok) v rámci regiónu len obmedzene. Vysoký nárast automobilovej dopravy najmä od začiatku 90. rokov 20. storočia spôsobil v mestách častejší výskyt letného smogu. Jedinou ochranou proti jeho vzniku je obmedzenie počtu automobilov využívaných v individuálnej doprave, využívanie čistejšej formy dopravy a uprednostnenie verejnej osobnej dopravy a preferovanie nákladnej koľajovej dopravy (www.enviroportal.sk/uploads/report/9181.pdf).



Obr. 4.5 Oxidačný fotochemický (losangelský) smog (PECIAR, 2011)

4.4.2 Smogová situácia na Slovensku

Miera znečistenia ovzdušia z vykurovania závisí od viacerých faktorov, jedným z nich je aj typ paliva. Lokálne vykurovanie uhlím a drevom v domácnostiach najviac prispieva k znečisteniu ovzdušia prachovými časticami, a to hlavne v zimnom období od októbra do apríla. Hodnoty prachových častíc v ovzduší často prekračujú legislatívne stanovené limitné hodnoty najmä v oblastiach s vysokou hustotou obyvateľstva. Na tomto území žije viac ako štvrtina celkového počtu obyvateľov Slovenska, čo môžeme považovať za značne znepokojujúci fakt.

Vykurovanie tuhými palivami v domácnostiach sa na znečistení ovzdušia prachovými časticami podieľa viac než 80 % -ným podielom. Menej emisií vyprodukuje moderné kotly (automatické a splynujúce kotly) ako kotly zastaraných konštrukcií (prehorievacie kotly). Pri týchto výsledkoch nie sú zohľadnené faktory ako zlá obsluha, údržba či nekvalitné palivá. Emisie by v takomto prípade boli oveľa vyššie.

Málokto si uvedomuje, že do domácich pecí, kotlov či do otvoreného ohniska nepatria žiadne plasty (napr. plastové fľaše, fólie), guma, drevotrieska, umelé vlákna či iný odpad. Nízke teploty spaľovania a nedostatočný prísun kyslíka do spaľovacieho procesu spôsobujú, že výsledkom je nedokonalé spaľovanie produkujúce celú škálu toxických látok. Tieto sa usadzujú v našich záhradách, vstupujú do nášho potravinového reťazca a poškodzujú naše zdravie.

Znečistenie z lokálnych kúrenísk patrí medzi najväčšie výzvy pri ochrane zdravého ovzdušia v krajine. Podľa prieskumu Slovenského hydrometeorologického ústavu a Štatistického úradu SR z roku 2017 až 90 % rodinných domov využíva ako tuhé palivo drevo, v menšej miere uhlie či iné palivá. No aj v prípade dreva, len

každá druhá domácnosť používa riadne vysušené drevo. Údajne dokonca až 10 % domácností drevo vôbec nesuší a spaľuje ho mokré, čo predstavuje veľkú záťaž pre ovzdušie, čo v nemalej miere vplýva aj na celkovú kvalitu ovzdušia.

V roku 2019 bolo najviac smogových situácií vyhlásených v Jelšave, ďalšie postihované oblasti sú aj Prešov, Žilina, Martin, Ružomberok a Banská Bystrica. K znečisteniu ovzdušia najviac prispievajú lokálne kúreniská, čiže rodinné domy vykurujúce tuhými palivami a doprava.

Na znečisťovanie ovzdušia už dlhodobo upozorňujú aj veľkí výrobcovia tepla. Slovenský zväz výrobcov tepla (SZVT) varuje, že v prípade, ak Slovensko neposilní politiku podpory ekologickej centrálnej výroby tepla, na čo poukazuje aj energetická stratégia Európskej únie, situácia sa bude zhoršovať.

Podiel vykurovania pevným palivom v individuálnych zdrojoch na Slovensku každoročne stúpa. Na kritickú situáciu znečistenia ovzdušia v roku 2017 zareagovalo Ministerstvo životného prostredia novelou zákona o ovzduší, ktorá vstúpila do platnosti v nasledujúcom roku 2018. Novela však nerieši používanie neekologických kotlov u individuálnych zdrojov.

So znečistením ovzdušia máme problém aj na Slovensku, na choroby spojené s dýchaním zomierajú ročne tisíce ľudí. Pre nedodržiavanie limitných hodnôt pre prachové častice PM10 vedie Európska komisia proti Slovensku od roku 2010 infringement. A to sa do celkového znečistenia na Slovensku nezapočítavajú pachy z papierní v Ružomberku či z bratislavského Slovnafu. (*venergetike.sk*)

5 MERANIE ZDROJOV TEPLA

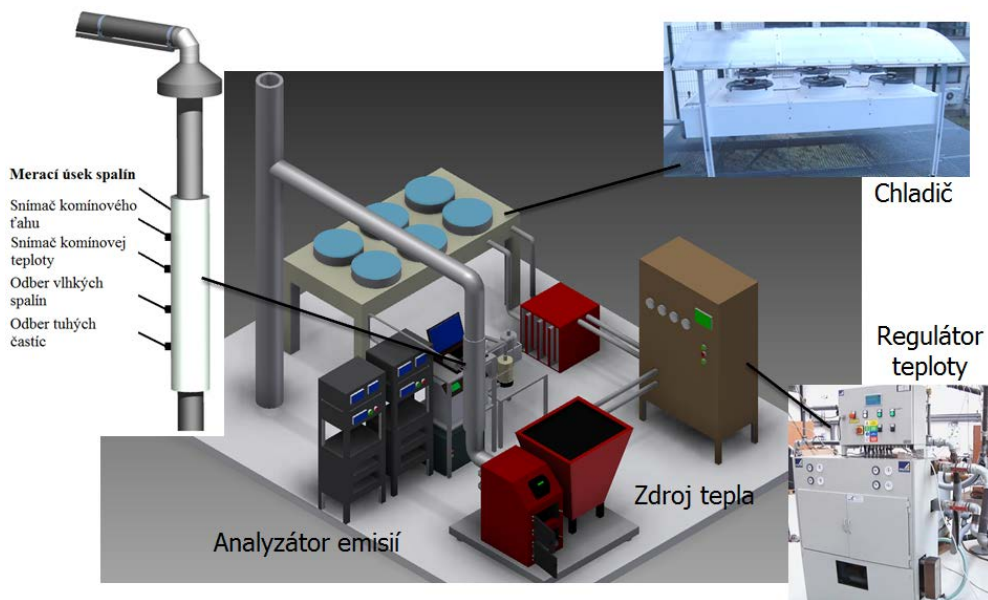
Meranie zdrojov tepla je možné v zásade rozdeliť na meranie výkonových parametrov, kde patrí tepelný výkon a účinnosť zariadenia a meranie emisií, kde patria plynné emisie a tuhé znečisťujúce látky (TZL). Vzhľadom na možnosti pracoviska budú ďalej spomínané len možnosti merania malých zdrojov tepla na tuhé palivá, ktoré sa nachádza na pracovisku.

5.1 Meranie výkonových parametrov zdrojov tepla

Výkonové parametre môžu byť stanovované na dvoch druhoch malých zdrojov tepla:

- centrálny zdroj tepla s teplovodným výmenníkom,
- lokálny zdroj tepla.

Výkonové parametre – tepelný výkon a účinnosť spaľovacieho zariadenia sa stanovujú odlišne. Emisné parametre oboch druhov zdrojov tepla boli stanovené rovnako. Na obr. 5.1 je znázornená schéma experimentálneho zariadenia na testovanie zdrojov tepla.



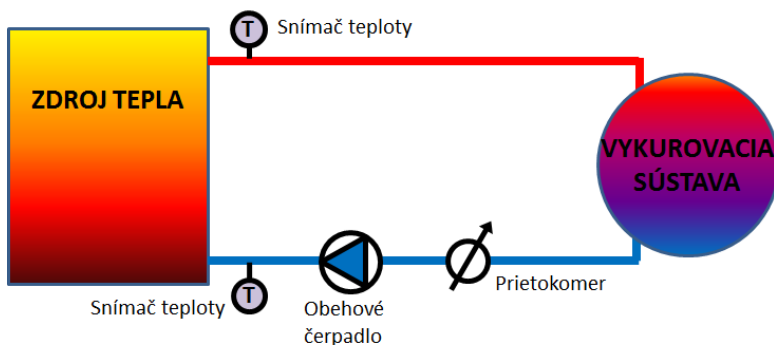
Obr. 5.1 Schéma experimentálneho zariadenia na testovanie zdrojov tepla

5.1.1 Metodika stanovenia výkonových parametrov centrálnych zdrojov tepla

Tepelný výkon zdroja tepla sa stanovuje podľa STN EN 303 – 5. Využíva sa priama metóda, tzv. kalorimetrická metóda, stanovovania tepelného výkonu zdroja tepla, pri ktorej sa tepelný výkon stanovuje z hmotnostného prietoku a z rozdielu teplôt na výstupe a na vstupe teplotnosného média zo zdroja tepla (obr. 5.2) podľa vzťahu:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1) \quad (5.1)$$

kde \dot{Q} je tepelný výkon zdroja tepla v kW, \dot{m} je hmotnostný prietok teplotnosného média na výstupe zo zdroja tepla v kg/s, c_p je merná tepelná kapacita teplotnosného média v J/kg.K, pričom merná tepelná kapacita je závislá na teplote teplotnosného média, t_1 je teplota teplotnosného média na výstupe zo zdroja tepla a t_2 je teplota teplotnosného média na vstupe do zdroja tepla.



Obr. 5.2 Princíp stanovenia tepelného výkonu zdroja tepla priamou metódou

Teplota teplotnosného média na vstupe a na výstupe zo zdroja tepla sa meria pomocou spárovaných odporových kovových teplomerov PT100 s presnosťou $\pm 0,4$ % a rozsahom 0 – 150 °C. Princíp činnosti odporových snímačov teploty je založený na zmene elektrického odporu kovov s teplotou. Prietok teplotnosného média bol stanovovaný magnetickým indukčným prietokomerom. Prietokomer pracuje na princípe Faradayovho zákona, neprodukuje žiadnu tlakovú stratu a dosahuje presnosť $\pm 0,35$ %.

Počas stanovovania tepelného výkonu je potrebné udržiavať nastavený teplotný spád pomocou regulátora teploty. Jedná sa o zariadenie detekujúce a regulujúce teplotu vody v kotle. Zariadenie pozostáva z výmenníka tepla, dvoch obehových čerpadiel riadených frekvenčnými meničmi, dvoch regulačných ventilov, ovládacieho, regulačného a bezpečnostného zariadenia.

Teplu produkované zdrojom tepla je odovzdávané cez regulátor teploty s výmenníkom tepla do sekundárneho okruhu teplonosného média. Teplu zo sekundárneho okruhu je cez výmenník tepla prenášané do suchého automatického chladiča umiestneného v externom priestore. Chladič je vybavený ventilátormi, otáčky ktorých boli regulované podľa teploty teplonosného média.

Účinnosť sa stanovovala podľa vzťahu:

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_P} = \frac{\dot{Q}}{Q_i \cdot \dot{m}} \quad (5.2)$$

kde: \dot{Q} je tepelný výkon zdroja tepla stanovený priamou metódou v kW,

\dot{Q}_P je tepelný príkon privádzaný v palive v kW,

Q_i je výhrevnosť tuhého paliva kJ/kg,

\dot{m} je hmotnostný tok paliva kg/s.

Hmotnostný tok paliva je stanovený ako úbytok paliva počas spaľovania, kedy je zdroj tepla položený na laboratórnej váhe. (Holubčík, 2018)

5.1.2 Metodika stanovenia výkonových parametrov lokálnych zdrojov tepla

Výkonové parametre lokálnych zdrojov tepla sa stanovujú nepriamou metódou. Účinnosť lokálneho zdroja tepla sa vypočíta podľa vzťahu:

$$\eta = 100 - (q_a + q_b + q_r)(\%) \quad (5.3)$$

kde q_a je pomerná strata citeľným teplom spalín vo vzťahu k výhrevnosti skúšobného paliva (%), q_b je pomerná strata plynným nedopalom vo vzťahu k výhrevnosti skúšobného paliva (%) a q_r je pomerná strata mechanickým nedopalom vo vzťahu k výhrevnosti skúšobného paliva (%).

Pomerná strata citeľným teplom spalín vo vzťahu k výhrevnosti skúšobného paliva sa vypočíta podľa vzťahu:

$$q_a = \frac{(t_a - t_r)}{0,01 \cdot H_u} \cdot \left[\frac{c_{pmd} \cdot (C - C_r)}{0,536 \cdot (CO + CO_2)} \right] + \left[\frac{1,92 \cdot c_{pmH_2O} \cdot (9 \cdot H + W)}{100} \right] \quad (5.4)$$

kde je t_a je teplota spalín (°C), t_r je teplota skúšobnej miestnosti (°C), c_{pmd} je stredná merná tepelná kapacita suchých spalín (kJ/°C.m³), c_{pmH_2O} je stredná merná tepelná kapacita vodnej pary (kJ/°C.m³), C je hmotnostný podiel uhlíka v skúšobnom palive (%), C_r je redukovaný hmotnostný podiel uhlíka v pevných zvyškoch spaľovania (%), CO je objemová koncentrácia oxidu uhoľnatého v suchých spalinách (%), CO₂ je objemová koncentrácia oxidu uhličitého v suchých spalinách

(%), H je hmotnostný podiel vodíka v skúšobnom palive (%), W je hmotnostný podiel vody v skúšobnom palive (%) a H_u je výhrevnosť skúšobného paliva (kJ/kg).

Pomerná strata plynným nedopalom (q_b) vo vzťahu k výhrevnosti skúšobného paliva sa vypočíta podľa vzťahu:

$$q_b = \frac{12644 \cdot CO \cdot (C - C_r)}{0,536 \cdot (CO_2 + CO) \cdot H_u} \quad (\%) \quad (5.5)$$

Pomerná strata mechanickým nedopalom (q_r) vo vzťahu k výhrevnosti skúšobného paliva sa vypočíta zo vzťahu:

$$q_r = \frac{335 \cdot b \cdot R}{H_u} \quad (\%) \quad (5.6)$$

kde b je hmotnostný podiel spáliteľných zložiek v pevných zvyškov spaľovania vo vzťahu k ich hmotnosti (%) a R je hmotnostný podiel pevných zvyškov spaľovania prepadnutých roštom vo vzťahu k hmotnosti spáleného skúšobného paliva (%).

Tepelný výkon lokálneho zdroja tepla (P) sa vypočíta podľa vzťahu:

$$P = \frac{B_n \cdot H_u \cdot \eta}{3600000} \quad (\text{kW}) \quad (5.7)$$

kde B_n je hmotnosť dávky paliva v kg. Požadovaná hmotnosť dávky paliva pre jednotlivé skúšky lokálneho zdroja tepla sa vypočíta podľa vzťahu:

$$B_n = \frac{360000 \cdot P_n \cdot t_b}{H_u \cdot \eta} \quad (\text{kg}), \quad (5.8)$$

kde H_u je výhrevnosť skúšobného paliva (kJ/kg), η je najmenšia účinnosť (%), P_n je menovitý tepelný výkon lokálneho zdroja tepla (kW) a t_b je najkratší interval dodávky paliva podľa príslušnej normy alebo doba horenia stanovená výrobcem (h).

5.2 Stanovenie emisných parametrov

Meranie emisií sa prevádza na zdrojoch znečisťovania a tvorí základný presnejší spôsob stanovenia množstva emisií znečisťujúcej látky. Povinnosť prevádzať meranie emisií vyplýva zo zákona o ochrane ovzdušia a z nadväzujúcich zákonov a predpisov. Pri meraní emisií je nutné stanoviť obsah celej rady látok tuhého, kvapalného a plynného skupenstva, často v nepatrných hmotnostných a objemových množstvách. Merané hmotnostné limity koncentrácie jednotlivých znečisťujúcich látok sa pohybujú v rozsahu od niekoľko [mg·m⁻³] (u vysoko toxických látok aj podstatne nižších) až do niekoľko [g·m⁻³]. Pri meraní je nutné rešpektovať aj zmeny skupenstva a zmeny chemického zloženia látok, ku ktorým dochádza vplyvom zmien teploty, tlaku a chemických reakcií v priebehu prenosu látok od miesta vzniku alebo odľučovacieho zariadenia ku koreňu komína (výduchu).

(JANDAČKA, 2008) Pri meraní parametrov znečisťovania (emisii) vyjadrené spravidla hmotnostnou koncentráciou je nutné stanoviť celú radu ďalších veličín ako je objem, objemový prietok plynu, teplota, tlak, obsah vodnej pary, hustota, atď (MATUŠKA, 2005) V úseku merania spalín sa zaznamenáva: ťah komína, komínová teplota (t_k), podiely jednotlivých zložiek v spalínach, ako oxid uhličitý (CO_2), kyslík (O_2), oxid uhoľnatý (CO), oxid dusnatý (NO) a ostatné NO_x a taktiež sa odoberá vzorka na meranie tuhých nečistôt. Všetky nepretržite merané veličiny sú určované v časových intervaloch maximálne 20 s a sú zaznamenávané ako stredné hodnoty v časovom intervale maximálne 1 minúty. Trvanie skúšky pri meraní menovitého a minimálneho tepelného výkonu kotla je závislé od spôsobu dodávky paliva.

Meranie emisií je možné rozdeliť podľa mnoho hľadísk, napríklad časového hľadiska (meranie kontinuálne s využitím automatických meracích prístrojov, merania jednorazové), podľa spôsobu prevedenia (s odberom vzorky, bez odberu vzorky), podľa meracej techniky (manuálne metódy, automatické analyzátory).

Základnou úlohou merania emisií je stanovenie hmotnostnej koncentrácie znečisťujúcich látok. Každé meranie sa vždy skladá zo stanovenia stavových podmienok v priereze merania, stanovenia hlavných zložiek v odpadovom plyne, stanovenie celkového objemového prietoku a stanovenie strednej koncentrácie meranej látky v prúde plynu. Stanovenie stavových podmienok a hlavných zložiek odpadového plynu v priereze merania sa prevádza štandardnými meracími postupmi.

Spaliny na stanovenie emisných parametrov sú odoberané v izolovanom meracom úseku spalín, ktorý je umiestnený v dymovode za testovaným zdrojom tepla. Spodná hrana meracieho úseku spalín je vo výške 1 m od osi vyústenia spalínovodu zdroja tepla do dymovodu. V meracom úseku spalín sa realizuje meranie teploty spalín - komínovej teploty, podtlak v komíne – komínový ťah, odber na stanovenie plyných emisií v spalín a taktiež sa odoberala vzorka na stanovenie produkcie TZL.

Obsah CO_2 a O_2 v spalínach spolu s produkciou plyných emisií oxidu uhoľnatého (CO), oxidov dusíka (NO_x), oxidu siričitého (SO_2), a organických plyných uhľovodíkov (OGC) sa stanovoval analyzátorom spalín ABB AO 2020 v súlade s normou STN EN 303-5 pre teplovodné kotle a STN EN 13240 pre lokálne zdroje tepla. Zariadenie zaznamenáva produkciu emisií v jednotkách ppm (Parts Per Million). Jednotky bolo potrebné prepočítať na mg/m^3 . Postup prepočtu je nasledovný:

$$Y = X \cdot \frac{M}{22,41} \cdot \frac{T}{273,15} \cdot \frac{p}{101325} \quad (5.9)$$

kde Y je vypočítaná produkcia emisie (mg/m^3), X je nameraná produkcia emisie (ppm), M je molárna hmotnosť (g/mol), 22,41 je normálny mólový objem (dm^3/mol), T je teplota spalín (K) a p je absolútny tlak spalín (Pa).

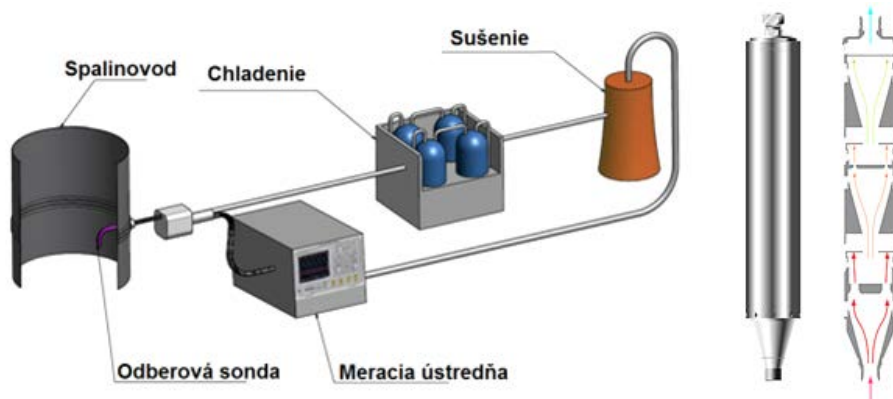
Normalizovaná koncentrácia kyslíka (O_2 standardised) v spalínach z centrálného

zdroja tepla je 10 % (STN EN 303-5) a lokálneho zdroja tepla 13 % (STN EN 13240). Hodnoty produkcie emisie sa prepočítavajú na základe obsahu kyslíka v spalinách podľa vzťahu

$$Y_{(10(13)\% O_2)} = Y \cdot \frac{21 - O_{2 \text{ standardised}}}{21 - O_{2 \text{ avg}}} \quad (5.10)$$

kde $Y_{(10(13)\% O_2)}$ je normalizovaná hodnota koncentrácie emisie (mg/m^3), Y je vypočítaná produkcia emisie (mg/m^3), $O_{2 \text{ standardised}}$ je normalizovaná koncentrácia kyslíka v spalinách (%), $O_{2 \text{ avg}}$ je priemerná hodnota koncentrácie kyslíka v spalinách (%). Konštantný komínový ťah bol zabezpečený ventilátorom pre odvod spalín, ktorého otáčky boli regulované frekvenčným meničom. Ťah komína pri všetkých experimentoch bol nastavený na $12 \pm 2 \text{ Pa}$.

Množstvo TZL bolo stanovené pomocou gravimetrickej metódy. Gravimetrická metóda je manuálna jednorazová metóda s odberom vzorky sondou z prúdiaceho plynu. Je založená na stanovení strednej koncentrácie častíc odberom z viacerých bodov prierezu merania a jeho následným gravimetrickým vyhodnotením. Meranie produkcie TZL sa vykonávalo analyzátorom TECORA s trojstupňovým separačným impaktorom ISOSTACK (obr. 5.3), čo je kompaktný sampler na zabezpečenie automatických izokinetických meraní nízkych, stredných a vysokých koncentrácií tuhých látok podľa STN EN 13284-1 a STN ISO 9096. Počas merania TZL sa použitím trojstupňového separačného impaktoru stanovovalo rozloženie veľkosti častíc - nad $10 \mu\text{m}$, $2,5 - 10 \mu\text{m}$ a do $2,5 \mu\text{m}$ (PM 2,5). Izokinetická podmienka odberu spalín bola zabezpečená reguláciou odsávaného prietoku na základe hodnôt rýchlosti spalín v dymovode meranej Pitotovou trubicou.



Obr. 5.3 Princíp činnosti gravimetrickej metódy stanovenia produkcie TZL vľavo, trojstupňový separačný impaktor vpravo

6 Inovácie v prevádzkovaní zdrojov tepla

Energetické využívanie tuhých palív je vždy spojené s negatívnym dopadom na životné prostredie, najmä v podobe emisií a tuhého zvyšku spaľovania - popola. Pri využívaní moderných zdrojov tepla sa minimalizuje tento negatívny dopad, keď klesá produkcia plyných a tuhých emisií, klesá produkcia tuhého zvyšku a zvyšuje sa účinnosť spaľovania. Proces spaľovania tuhých palív nie je taký jednoduchý ako spaľovanie plyných resp. kvapalných palív, a preto si vyžaduje komplikovanejšie spaľovacie zariadenia. Cieľom výrobcov, ale aj užívateľov, spaľovacích zariadení na tuhé palivá je využitie energie viazanej v palive s čo možno najvyššou účinnosťou s čo najnižšou produkciou plyných emisií, ako sú CO, NO_x, SO₂, TOC, TZL a tuhého nedopalu s popolom. Zároveň musí byť umožnená bezproblémová prevádzka zdroja tepla s čo možno najmenej zásahmi obsluhy, resp. s čo možno najvyšším komfortom prevádzkovania.

Zlepšiť využitie chemicky viazanej energie v tuhých palivách je možné niekoľkými spôsobmi:

- úpravou vlastností tuhých palív,
- využitím zdroja tepla vhodného na spaľovanie daného paliva alebo konštrukčnou úpravou zdroja tepla,
- zmenou spôsobu prevádzkovania zdroja tepla.

Nižšie sú uvedené spôsoby, ktorými je možné zefektívnenie prevádzky malých zdrojov tepla, ktoré boli v rámci experimentov otestované.

6.1 Úprava vlastností tuhých palív

Proces spaľovania ovplyvňujú niektoré vlastnosti paliva. Niektoré tieto vlastnosti možno zmeniť tak, aby sa proces spaľovania zlepšil. Tieto úpravy vyžadujú rôzne náklady. Spaľovací proces možno zmenou parametrov paliva zlepšiť najmä:

- zvýšením obsahu horľaviny,
- zmenou formy, veľkosti a kvality paliva - zušľachtovaním,
- pridaním aditív.

6.1.1 Úprava vlastností tuhých palív zvýšením obsahu horľaviny

Základným a zrejme aj najdôležitejším parametrom, ktorý charakterizuje palivo, je výhrevnosť a spalné teplo. So zvyšujúcim sa obsahom vody a popoloviny sa znižuje obsah aktívnych prvkov - horľaviny a teda výhrevnosť klesá. Obsah

popoloviny možno ovplyvniť len minimálne, ale obsah vody napr. biomasy (dreva a pod.) je možné výrazne znížiť sušením.

Keby napr. drevo bolo úplne suché, tak by jeho výhrevnosť bola okolo 17 MJ/kg_{horľaviny}. Bohužiaľ surové drevo (čerstvo vyrúbané) obsahuje značné množstvo vody (je mokré, "živé"). Obsah vody je ovplyvnený druhom stromu a tiež ročným obdobím, v ktorom bol strom stínaný. Obsah vody v surovom dreve sa pohybuje približne od 40 do 60 hmotnostných percent. Zjednodušene možno povedať, že polovica surového dreva je tvorená vodou a druhá polovica je tvorená horľavinou, takže výhrevnosť surového dreva bude približne polovičná (8,5 MJ/kg_{dreva} - v skutočnosti to bude ešte menej o výparné teplo vody 1,2 MJ/0,5kg_{vody}) v porovnaní s výhrevnosťou samotnej horľaviny (17 MJ/kg_{horľaviny}). Výhrevnosť dreva po jednom roku sušenia sa zvýši cca na 11 - 12 MJ/kg_{dreva} a po dvoch rokoch sušenia, kedy sa drevo môže už považovať za vysušené a vhodné pre spaľovanie (obsah vody pod 20 %), sa zdvihne jeho výhrevnosť približne na 13 - 15 MJ/kg_{dreva}.

Najlepšie a najlacnejšie je možné drevo sušiť v dobre vetranom priestore, napr. prístrešok na záhrade. V uzavretých priestoroch môže surové drevo plesnivieť a hniť, čo znižuje jeho energetickú hodnotu (záleží od vlhkosti a prevetrania pivnice).

Finančne náročnejšie, ale omnoho rýchlejšie je sušenie umelé, ktoré sa väčšinou pri tuhých palivách nepoužíva.

Práca Bhattacharya (2002) sa zaoberala vplyvom vlhkosti drevnej štiepky a uhlia spaľovanej v 3 druhoch malých kuchynských sporákov na tuhé palivám pričom výsledky poukazujú na to, že s rastúcou vlhkosťou paliva klesá účinnosť spaľovania, rastie produkcia CO a klesá produkcia CO₂, CH₄, TOC a NO_x. Autori v práci Huangfu (2014) testovali vplyv vlhkosti drevných peliet na vzorkách, s vlhkosťou 5,9 %, 9,4 %, 18,2 % a 22,1 % počas spaľovania v kuchynskom sporáku, pričom zistili, že s rastúcou vlhkosťou drevných peliet rastie tepelná účinnosť zariadenia, zvyšuje sa doba varenia, znižuje sa výkon zariadenia, klesá produkcia CO a TZL s veľkosťou pod 2,5 μm (PM2.5). Kolektív autorov v práci Felicelli (2017) zistil, že s rastúcou vlhkosťou zeleného bioodpadu znižuje účinnosť spaľovania, zvyšuje dobu tlenia paliva a dobu jeho spaľovania. Práca Meng (2018) uvádza, že so zvyšujúcou sa vlhkosťou kukuričnej slamy (5 – 15 %) sa znižuje rýchlosť horenia, znižuje produkcia CO a najvyššia účinnosť spaľovania bola dosiahnutá pri vlhkosťi slamy 10 %.

6.1.2 Úprava vlastností tuhých palív zušľachtovaním

Pomocou zušľachtovania – spracovania pôvodných (napr. ťažených) palív na kvalitnejšie formy paliva – je možné efektívnejšie prevádzkovať zdroje tepla. Zvyčajne sú tieto palivá homogénne s veľmi malými odchýlkami v rôznych

parametroch, napr. rozmery, hustota, obsah popola, vlhkosť a výhrevnosť. V zdrojoch tepla môžu byť spaľované najmä nasledovné druhy ušľachtilých tuhých palív:

- Palivový jemný prach – zvyčajne uhoľný, ktorý sa používa pri fluidnom spaľovaní najmä vo veľkých zdrojoch tepla, napr. teplárne. Výhodou je, že fluidná vrstva materiálu je charakterizovaná aerodynamickým stavom, pri ktorom častice vsádzky sú vynášané smerom hore prúdom média a nachádzajú sa vo vrstve zníženej hustoty, v ktorej sa vplyv síl trenia medzi časticami prejavuje oveľa menej ako v súdržnej vrstve. Zmenšenie hustoty a vzájomného trenia častíc umožňuje energické premiešavanie. Podľa aerodynamických procesov a v závislosti na druhu fluidizačného média existuje niekoľko druhov fluidnej vrstvy. Využívanie uhoľného prachu umožňuje optimálne prevádzkovanie zdroja tepla vzhľadom na homogenitu paliva. Hodnota výhrevnosti uhoľného prachu závisí od výhrevnosti uhlia pred drvením a mletím, pričom bežne dosahuje hodnoty 13 - 24 MJ/kg.
- Pelety - sú forma paliva, obvyčajne vyrábané z dreva. Sú to valčeky s priemerom 6 – 25 mm a dĺžkou 10 – 50 mm vyrobené z podrvenej suroviny (hoblín, pilín) lisovaním, tzv. peletizáciou, zvyčajne bez chemických prísad. V používanej zhutňovanej biomase prevládajú rastlinné zvyšky, ktoré sa inak nespracujú a pritom obsahujú veľké množstvo energie. Rastliny sa zámerné neťažia len kvôli ich výrobe. Pelety pre energetické využitie sú pevné biopalivo s konzistentnou kvalitou – nízky obsah vlhkosti, vysoká hustota energie a homogénna veľkosť a tvar. Bývajú využívané ako palivo v malých a stredných zdrojoch tepla. Najčastejšie sa využívajú drevné pelety vyrobené z pilín rôznej kvality (napr. s rôznym obsahom kôry), ktoré majú výhrevnosť najčastejšie v rozsahu 16 – 18 MJ/kg, resp. v menšej miere agropeliet vyrobené z bylinnej biomasy najmä na báze slamy s výhrevnosťou najčastejšie v rozsahu 14 – 17 MJ/kg. Problémom peliet, ktoré sú vyrobené z iných materiálov ako čisté drevo, býva vyšší obsah popola, nižšie teploty tavitelnosti popola a vyššia produkcia emisií.
- Brikety – sú mechanicky zhutnený horľavý materiál, ktorý môže mať formu valca v rôznom priemere s veľkosťou nad 25 mm, ale môže ísť aj o oválny tvar, guľovité teleso, kváder či kocku. Tvar brikety je pre účely spaľovania prakticky nepodstatný. Obvykle bývajú takto pod tlakom rádovo v desiatkach MPa zlisované horľavé materiály, ako je uhoľný prach alebo biomasa. V prípade lisovania brikiet z hnedého uhlia sa zvyčajne nepridáva žiadne spojivo. V prípade lisovania brikiet z čierneho uhlia sa ako spojivo zvyčajne využívajú uhoľná dechtová smola, decht a pod. Najbežnejšie sú uhoľné brikety vyrobené z hnedého uhlia s výhrevnosťou 18 – 20 MJ/kg, drevné brikety s výhrevnosťou 16 – 18 MJ/kg, resp. v menšej miere brikety vyrobené z bylinnej biomasy s výhrevnosťou 14 – 17 MJ/kg.
- Koks – je produktom karbonizácie (koksovania) uhlia, pričom sa vyrába aj svietiplyn a uhoľný decht. Koks je zbavený prchavých zložiek a má výhrevnosť približne 29,6 MJ/kg. V súčasnosti sa na spaľovanie v zdrojoch tepla využíva

minimálne.

- Balíky bylinnej slamy – využívajú sa najmä v stredných zdrojoch tepla – kotolniach, ktoré majú prístup k bylinnej slame. Vyrábajú sa najmä zo slamy z obilnín po žatve a majú väčšinou tvar valca alebo hranola s najmenším rozmerom nad 0,35 m.

Pomocou zušľachtovania paliva, najmä pomocou lisovania, je možné zmiešať vstupné suroviny, vďaka čomu je možné energeticky využiť aj rôzne ťažko spáliteľné palivá, napr. na báze odpadu. V práci Ghafghazi (2011) sú zhrnuté výsledky viacerých prác s produkciou TZL na rôznych zdrojoch tepla s palivami kusové drevo, drevné piliny, drevná štiepka, drevný odpad, drevné pelety a drevné brikety, pričom z výsledkov vyplýva, že najnižšie koncentrácie TZL boli zaznamenané najmä pri zušľachtených palivách drevné pelety a drevné brikety. Výsledky práce Ozgen (2014) poukazujú na približne päťkrát nižšiu produkciu emisií CO a 10 násobne nižšiu produkciu NO_x pri spaľovaní kvalitných drevných peliet v porovnaní s menej kvalitnými drevnými peletami. Kolektív autorov práce Sánchez (2014) prezentuje výsledky zušľachtovania drevného odpadu vo forme pilín na drevné brikety v Peru, čím sa dajú dosiahnuť výrazne vyššie energetické parametre paliva (výhrevnosť 19,8 MJ/kg pri 10 % vlhkosti), ktoré môžu dokonale nahradiť nelegálne ťažené kusové drevo z rezervácie na kúrenie v domácich sporákoch. Výsledky taktiež poukazujú na výrazné zníženie doby varenia v rôznych typoch sporákov pri použití drevných brikiet. Práca autorov Xiu (2018) popisuje zušľachtovanie papierového odpadu do formy brikiet, pričom porovnáva ich vlastnosti a výsledky spaľovania v malom domácom zdroji tepla s drevnými briketami, uhoľnými briketami a kusovým drevom. Výsledky spaľovania preukázali, že účinnosť spaľovania papierových brikiet je len o málo nižšia ako pri spaľovaní drevných brikiet a produkcia emisií CO, NO_x a PM_{2.5} je len o málo vyššia.

6.1.3 Úprava vlastností tuhých palív pridaním aditív

Za aditívum sa považuje prídavná látka (prísada) pridávaná do nejakej látky (produktu) za účelom zlepšenia niektorých jeho vlastností. Obyčajne sa v praxi stáva, že so zlepšujúcimi sa vlastnosťami sa začínajú objavovať nové nedostatky. Pridávanie aditív môže pozitívne resp. negatívne vplyvať na rôzne parametre tuhého paliva, napr. teplota tavitelnosti popola. Vplyv konkrétnych aditív v palivách je pred experimentom možné len predpokladať. Kvôli tomu je potrebné pri každej použitej prísade analyzovať jej vplyvy na všetky vlastnosti tuhého paliva.

Aditíva sa v tuhých palivách používajú najmä na:

- Zvýšenie mechanickej odolnosti tuhých palív, napr. prídavok škrobu pri výrobe drevných peliet zvyšuje ich oderuvzdornosť a znižuje podiel jemných častíc.

- Zvýšenie výhrevnosti tuhých palív, napr. prídavok rôznych olejov pri procese lisovania palív zvyšuje výhrevnosť paliva.
- Zníženie produkcie emisií pri spaľovaní tuhých palív, napr. zníženie produkcie oxidov síry pomocou prídavku oxidu vápenatého.
- Zvýšenie teploty tavitelnosti popola, napr. prídavok dolomitu do slamy zvyšuje teplotu deformácie popola.
- Zníženie výrobných nákladov, napr. prídavok oleja pri lisovaných palivách znižuje trenie na lise, čím znižuje spotrebovanú mechanickú energiu a taktiež znižuje opotrebenie funkčných prvkov lisovacieho zariadenia.

Vzhľadom na rozsiahlosť problematiky aditív v tuhých palivách, bola úprava vlastností tuhých palív pridaním aditív zameraná najmä na cieľ redukcie spekania popola niektorých druhov biomasy. Aditíva v rôznej forme boli testované v predošlých štúdiách a prácach a boli zavedené do spaľovacieho procesu biomasy:

- miešaním s palivom pred spaľovaním, napr. peletovaním a briketovaním paliva spolu s aditívom, alebo pridávaním aditíva do paliva počas jeho transportu pomocou dopravníka,
- pridávaním do spaľovacieho priestoru v práškovej forme, resp. pomocou striekacieho zariadenia.

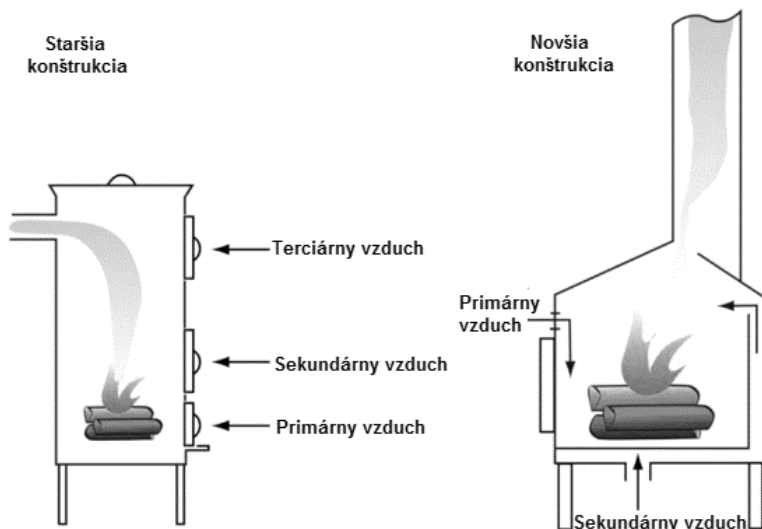
Práca Xiong (2008) sa zaoberá vplyvom kaolínu a kalcitu ako prevencie vzniku spekančov v popole peliet vyrobených z klasov a stebiel kukurice pri spaľovaní. Výsledky potvrdili, že 3 % prídavok kalcitu a kaolínu zvýšil teplotu tavitelnosti popola približne o 100 – 200 °C, čím bol vznik spekančov popola znížený o polovicu, resp. o tretinu v porovnaní so spaľovaním paliva bez aditív. Z chemickej analýzy popola sa určilo, že došlo k zmene ľahkotaviteľných kremičitanov na ťažšie tavitelné kremičitany. Po pridaní kaolínu došlo k vyčerpaniu draslíka z dôvodu tvorby leucitu (KAlSi_2O_6). Tento proces bol sprevádzaný značným znížením tvorby skloviny. V prípade kalcitu (CaCO_3) tvoril sklovinu (ľahkotaviteľný materiál) kremičitan vápenato – horečnatý a kremičitan draselný. Ďalšia práca zaoberajúca sa vplyvom aditív v tuhých palivách bola Liorente (2008), kde sa testovalo 7 druhov aditív (vápno, vápenec, dolomit, kaolín, oxid, kremeň a oxid hlinitý) pridávaných do rôznych druhov rastlinnej biomasy. Výsledky experimentov preukázali, že testované aditíva znižujú riziko spekania biomasy okrem kaolínu vplyvom „zriedenia“ popola a nie vznikom chemických reakcií v popole. Výsledky práce Steenari (2009) poukázali na pozitívny efekt kombinácie vápencového a kaolínového prášku na spekanie popolov biomasy. Práca Vang (2011) sa pokúšala využiť odpadné suroviny, čistiarenský kal a mramorový prach, ako aditíva na potlačenie spekania popola peliet z odpadového dreva. Výsledky preukázali pozitívny vplyv 4 % prídavku oboch aditív, kedy spekance tvorili len 3 % hmotnosti popola. Kolektív autorov v práci Li (2016) testoval vplyv 5, 10 a 15 % prídavok oxidu kremičitého (SiO_2) v uhlí počas spaľovania v malom zdroji tepla na celkovú produkciu suspendovaných častíc, najmä TZL. Z výsledkov práce vyplýva,

že s rastúcim obsahom SiO₂ klesala produkcia TZL.

6.2 Využitie vhodnej konštrukcie malého zdroja tepla

Využitím vhodnej konštrukcie spaľovacieho zariadenia pre daný typ tuhého paliva je možné dosiahnuť vysokú účinnosť zariadenia s minimálnym negatívnym dopadom jeho prevádzkovania na životné prostredie najmä znížením produkcie emisií. Napr. na spaľovanie kusového dreva sa najčastejšie používajú prehorievacie, odhorievacie alebo splyňovacie kotly. Je zrejmé, že pri spaľovaní rovnakého kusového dreva na troch rôznych konštrukciách bude efektívnosť spaľovania a produkcia emisií rôzna.

V práci Johansson (2004) sú porovnané emisné charakteristiky moderných a starších konštrukcií malých kotlov na tuhé biopalivá. Z výsledkov experimentov vyplýva, že moderné koncepcie kotlov s prídavným ventilátorom na spaľovací vzduch dosahujú približne 5,5 násobne nižšiu produkciu CO, viac ako 100 násobne nižšiu produkciu CH₄, viac ako 10 násobne nižšiu produkciu TOC, približne 16 násobne nižšiu produkciu TZL a približne dvojnásobnú produkciu NO_x. Práca Bafver (2011) porovnáva novšie a staršie konštrukcie krbových kachlí na drevo (obr. 6.1) z hľadiska produkcie plyných emisií a TZL. Z výsledkov práce vyplýva, že modernejšia konštrukcia krbových kachlí s lepším prerozdelením spaľovacieho vzduchu a upraveným spalínovým traktom dosahuje približne polovičnú produkciu CO, OGC a TZL. Kolektív autorov práce Laciok (2015) spaľovalo hnedé uhlie v 4 rôznych konštrukciách zdroja tepla – automatický kotol, splyňovací, odorievací a prehorievací kotol. Z výsledkov vyplýva, že kvalita spaľovania hnedého uhlia v prehorievacom kotle je výrazne najhoršia a jeho produkcia CO a TZL, najmä vo veľkosti do 1 μm, je mnohonásobne vyššia ako v prípade ostatných konštrukcií.



Obr. 6.1 Porovnanie staršej a novej konštrukcie krbových kachlí na drevo (Bafver, 2011)

6.3 Konštrukčné úpravy malých zdrojov tepla

Zmenou konštrukcie spaľovacieho zariadenia je možné zvýšiť účinnosť zariadenia a znížiť negatívny dopad jeho prevádzkovania na životné prostredie najmä znížením produkcie emisií. Tieto zmeny môžu prebiehať už v samotnej výrobe zdroja tepla, ale taktiež môžu byť realizované ako úprava zdroja tepla, napr. pri zmene paliva. Vzhľadom na fakt, že väčšina výrobcov zdrojov tepla ich už v rámci návrhu koncipuje na spaľovanie konkrétneho druhu paliva, nižšie je uvažované len s možnými alternatívami konštrukčných úprav existujúcich spaľovacích zariadení. Tieto konštrukčné zmeny sa na používaných zdrojoch tepla realizujú skôr sporadicky vzhľadom na investičné náklady porovnateľné s cenou nového zdroja tepla.

Zmena konštrukcie spaľovacej komory je zvyčajne ťažko realizovateľná. Objem spaľovacej komory existujúceho zariadenia nie je možné zväčšiť a do úvahy prichádza len zmenšenie objemu, napr. doplnením žiaruvzdornej výmurovky pri potrebe zníženia tepelného výkonu zdroja tepla. Ďalej je možné doplniť do spaľovacej komory rôzne elementy, napr. usmerňovače spalín a pod. Zvýšenie účinnosti zdroja tepla je možné aj lepším zaizolovaním spaľovacej komory, ako to dokázali v práci Caposciutti (2018). V kombinácii s ďalšími úpravami dokázali zvýšiť účinnosť kotla na drevné pelety z 81,79 % na 82,55 %.

Zmena konštrukcie kúreniska zdroja tepla je najčastejšie sa vyskytujúca zmena konštrukcie, ktorá sa zvyčajne vykonáva jeho výmenou, resp. doplnením horáka nad alebo pod pevný rošt, čím je možné zmeniť, resp. doplniť, palivovú

základňu zdroja tepla. Príkladom je napr. inštalácia horáka na drevné pelety do prehorievacieho kotla. Práca Terrazzano (2007) skúma efekt modifikácie retortového horáka výmenou hlavy retorty, kedy sa v kombinácii s lepším prívodom spaľovacieho vzduchu znížila produkcia CO približne o 40 %, produkcia NO_x približne o 25 % a produkcia TZL približne o 10 %.

Zmena konštrukcie rozvodov spaľovacieho vzduchu sa na existujúcich zdrojoch tepla realizuje výnimočne, najčastejšie pri zmene používaného paliva, napr. v kombinácii s doplnením horáka na pelety, ktorý býva vybavený núteným prívodom spaľovacieho vzduchu. Menej častá je dodatočná inštalácia prívodu sekundárneho, resp. terciárneho prívodu vzduchu. Práca Eskilsson (2004) dokazuje, že nastavením vhodného množstva spaľovacieho vzduchu s optimálnym prebytkom vzduchu v rozsahu $\lambda = 1,5 \div 1,7$ v zdroji tepla na pelety možno minimalizovať produkciu CO a OGC. Ďalšou možnosťou úpravy množstva privádzaného spaľovacieho vzduchu je doplnenie zdroja tepla o lambda sondu umiestnenú na konci spalínového traktu, ktorá dokáže prispôbovať množstvo spaľovacieho vzduchu aktuálnym podmienkam spaľovania podľa obsahu kyslíka v spalínach.

Zmena konštrukcie výmenníka tepla v zdroji tepla je ťažko realizovateľná vzhľadom na to, že výmenník tepla je zvyčajne pevne spojený s telesom zdroja tepla. Zvýšiť účinnosť prenosu tepla výmenníka tepla v existujúcom zdroji tepla môže byť zvýšenie teplovýmennej plochy výmenníka tepla napr. navarením rebrovania, resp. inštaláciou turbolizátorov v rúrkovom výmenníku tepla. Ďalšou úpravou výmenníka tepla môže byť nanosenie povrchovej úpravy na minimalizovanie tvorby nánosov, napr. spekancov popola pri spaľovaní palív s nízkou teplotou tavitelnosti popola, resp. pri spaľovaní palív s tendenciou kondenzácie na výmenníku tepla.

Konštrukcia spalínového traktu býva taktiež väčšinou nemenná a v rámci zmeny konštrukcie je zvyčajne možná len dodatočná montáž elementov, ktoré tvoria prekážku pre odvádzané spaliny. Tým je zvyčajne možné redukovať produkciu TZL. Sulovcová (2015) vo svojej dizertačnej práci navrhla konštrukčnú úpravu spalínovej cesty, a to umiestnenie tunelového labyrintu do spalínovej cesty. Tunelový labyrint predstavuje zariadenie, ktoré zvyšuje tepelnú účinnosť a znižuje množstvo TZL vypúšťaných do atmosféry z procesu spaľovania dreva v krbových vložkách popri súčasnej jednoduchšej údržbe. 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 odlučovač. Vplyvom tunelového labyrintu sa výrazne menia aerodynamické podmienky. Dochádza k intenzívnejšiemu premiešavaniu dohárajúcich spalín so vzduchom,

ohrievajú sa, a tak zlepšujú podmienky spaľovania aj vo väčšej vzdialenosti od ohniska, čo umožňuje dohorenie horľavých zložiek spalín. Na experimentálnom reálnom zdroji tepla boli realizované merania emisií TZL gravimetrickou metódou. Výsledky potvrdzujú zníženie celkovej koncentrácie TZL v spalínach o približne 20%, čo potvrdzuje, že zmena konštrukcie spalínového traktu má vplyv na celkovú koncentráciu TZL vypúšťanú z malých zdrojov tepla do ovzdušia. Najlepšou alternatívou na zachytávanie TZL je doplnenie spalínovodu zachytávačom TZL.

6.4 Zmena spôsobu prevádzkovania malých zdrojov tepla

Zmenou spôsobu prevádzkovania spaľovacieho zariadenia je možné výrazne ovplyvniť výkonové a emisné parametre zdroja tepla.

Zmenou použitého paliva je možné výrazne zmeniť tepelný výkon, účinnosť spaľovania a produkciu emisií, napr. zmena paliva kusového dreva za čierne uhlie v prehorievacom kotle bez dohorievacích kanálov má za následok zvýšenie tepelného výkonu, zvýšenie účinnosti spaľovania a zníženie produkcie CO. Práca Rabaçal (2013) sa zaoberala vplyvom druhu paliva, konkrétne drevných peliet z borovice, drevného odpadu a broskyňových kôstok, na výkonové a emisné parametre zdroja tepla s menovitým tepelným výkonom 22 kW. Zistili, že palivá alternatívne ku drevným peletám dosahujú nižšiu účinnosť spaľovania a vyššiu produkciu emisií CO, OGC a TZL. Kolektív autorov v práci Maraver (2014) testoval spaľovanie peliet vyrobených z portugalskej borovice, španielskej borovice, korku, olivového dreva a olivových obrezkov. Výsledky preukázali výrazný vplyv vstupnej suroviny na mechanické a energetické parametre paliva a produkciu emisií CO, NO_x, OGC a TZL.

Zmena dávkovania paliva má vplyv najmä na tepelný výkon zdroja tepla, keďže je to jeden zo spôsobov jeho regulácie. S tepelným výkonom sa taktiež mení účinnosť spaľovania a produkcia emisií. V práci Seljeskog (2017) bol sledovaný vplyv rýchlosti horenia smrekového a brezového dreva, od 1,19 po 4,0 kg/h, na produkciu TZL, pričom najnižšia koncentrácia TZL sa zaznamenala pri rýchlosti horenia okolo 1,5 po 1,7 kg/h.

Množstvo spaľovacieho vzduchu by malo byť prispôbené dávkovaniu paliva – teda je potrebné privádzať požadované množstvo vzduchu pre stechiometrické spaľovania s požadovaným prebytkom vzduchu. Zmenou množstva spaľovacieho vzduchu pri nezmenenom dávkovaní paliva dochádza v rôznych režimoch spaľovania tuhého paliva k zmene tepelného výkonu, účinnosti spaľovania a produkcie emisií. Práca Liu (2013) sa zaoberala vplyvom dopúšťania spaľovacieho vzduchu nad retortu peletového horáka malého zdroja tepla na produkciu emisií NO_x. Výsledky potvrdili, že navýšením prívodu sekundárneho vzduchu sa podarilo znížiť produkciu NO_x, ale na úkor zvýšenia produkcie CO. V práci Caposciutti (2018) je sledovaný vplyv množstva a prerozdelenia spaľovacieho vzduchu na

produkciu CO, NO_x a CO₂ počas spaľovania biomasy, pričom našli vhodný pomer sekundárneho a primárneho vzduchu (0,8).

Parametre spaľovacieho vzduchu majú taktiež pomerne významný vplyv na výkonové a emisné parametre zdroja tepla. Výsledky prác Nosek (2014) a Quin (2017) dokazujú, že s rastúcou teplotou a klesajúcou vlhkosťou spaľovacieho vzduchu by mal rásť tepelný výkon zdroja tepla.

7 EXPERIMENTÁLNE VÝVOJOVÉ MERANIA PRE INOVÁCIU ZDROJOV TEPLA

V rámci projektu „Inovace pro zdroje energie“ (INOZE) č. 304011Y352, ktorý bol realizovaný v rámci Operačného programu INTERREG V-A Slovenská republika – Česká republika, sa vykonalo niekoľko experimentálnych vývojových meraní pre výrobcov zdrojov tepla za účelom zlepšenia výkonových a emisných parametrov ich výrobkov. V rámci experimentálnych meraní sa stanovoval vplyv realizovaných konštrukčných úprav jednotlivých častí zdrojov tepla, zmena množstva a prerozdelenia distribuovaného spaľovacieho vzduchu, zmena paliva, jeho dávkovania a uloženia v spaľovacej komore, inštalácie prídavných, resp. doplnkových zariadení a ďalšie zmeny, ktoré ovplyvňovali spaľovací proces a tým aj účinnosť spaľovania, tepelný výkon a produkciu emisií. Jednalo sa o časovo veľmi náročné experimenty, kedy aj malá zmena prevádzkovania významným spôsobom zmenila výkonové a emisné parametre zdroja tepla, resp. pokiaľ došlo k zlepšeniu jedného parametra, dochádzalo k zhoršeniu iného. Nižšie sú uvedené čiastkové výsledky vývojových meraní. Každý uvedený výsledok je priemerom výsledkov minimálne 3 meraní.

V rámci experimentálnych vývojových meraní boli testované nasledovné typy zdrojov tepla:

- krbová vložka spaľujúca kusové drevo s manuálnou reguláciou výkonu 3 až 11 kW a s menovitým výkonom 7 kW – v ďalšom texte označená ako krbová vložka A,
- krbová vložka spaľujúca kusové drevo s manuálnou reguláciou výkonu 3 až 12 kW a menovitým výkonom 10 kW – v ďalšom texte označená ako krbová vložka B,
- kotol na tuhé palivo spaľujúci lisované drevné brikety s automatickou reguláciou výkonu do 25 kW,
- liatinová kachľová pec spaľujúca kusové drevo s manuálnou reguláciou výkonu 4 až 12 kW a menovitým výkonom 10 kW,
- sporák na tuhé palivo spaľujúci lisované lisované brikety s manuálnou reguláciou výkonu 3 až 14 kW a menovitým výkonom 12 kW a výmenníkom tepla s možnosťou napojenia ústredného vykurovania.

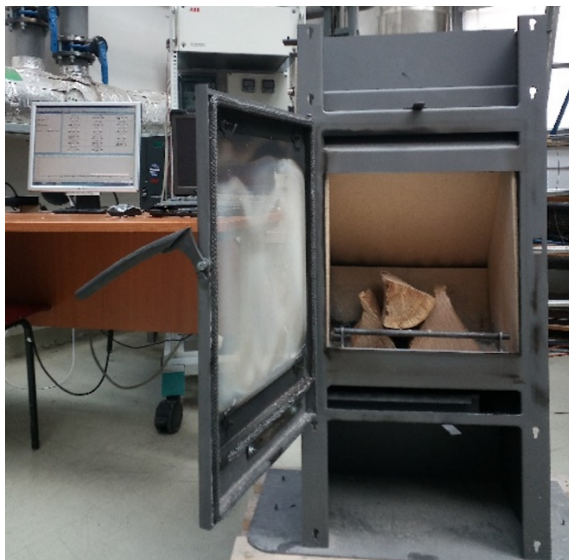
7.1 Experimentálne vývojové merania pre inováciu krbovej vložky A

7.1.1 Parametre krbovej vložky A

Krbová vložka A (obr. 7.1), na ktorej boli realizované experimentálne vývojové merania pre inováciu, mala nasledovné parametre:

- Rozmer (výška x šírka x hĺbka): 1075 x 730 x 395 mm

- Váha (netto): 130 kg
- Materiál: oceľ, keramika, vermikulit
- Menovitý tepelný výkon: 7 kW
- Regulovateľný tepelný výkon: 3 až 11 kW
- Deklarovaná účinnosť spaľovania: 82 %
- Palivo: drevo, drevné brikety
- Priemer dymovodu: 150 mm



Obr. 7.1 Experimentálne meraná krbová vložka A

7.1.2 Výsledky experimentálnych vývojových meraní krbovej vložky A

Mimo iných experimentálnych meraní boli vykonané dve série vývojových meraní pri rôznych nastaveniach prívodu spaľovacieho vzduchu s cieľom zvýšiť výkonové parametre a znížiť produkciu emisií, najmä oxidu uhoľnatého (CO) a tuhých znečisťujúcich látok (TZL). Merania boli realizované pri rôznych nastaveniach krbovej vložky, pričom nižšie sú uvedené výsledky pre 2 nastavenia prívodu spaľovacieho vzduchu:

- Nastavenie 1 – zatvorený prívod primárneho spaľovacieho vzduchu, prívod sekundárneho spaľovacieho vzduchu otvorený na 50 %.
- Nastavenie 2 – prívod primárneho spaľovacieho vzduchu otvorený na 100 %, sekundárny vzduch otvorený na 50 %.

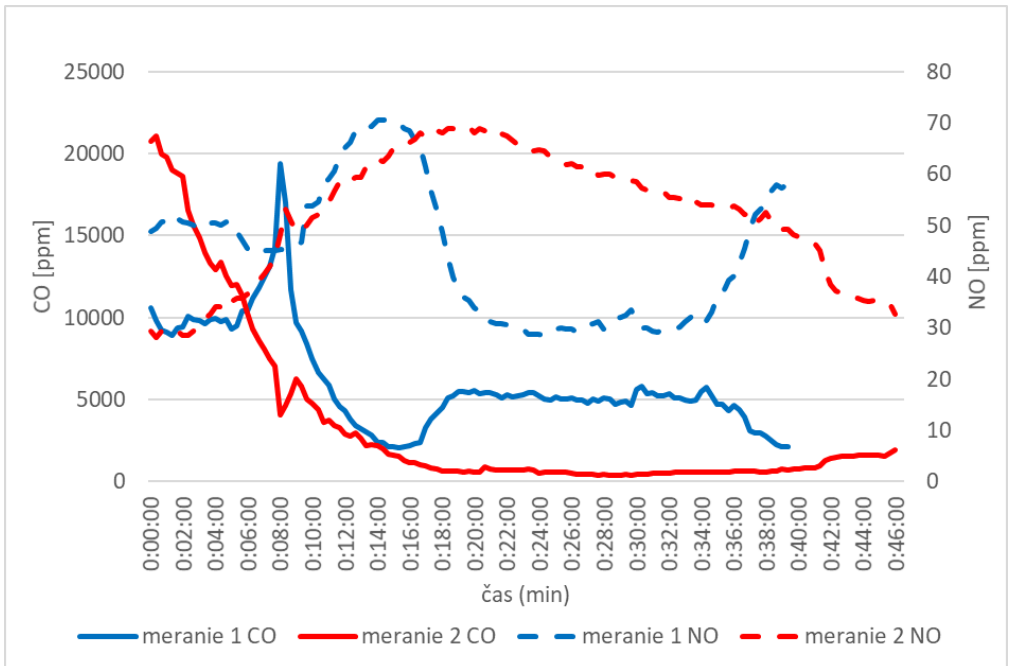
V dôsledku množstva experimentálnych vývojových meraní krbovej vložky A sa našlo optimálne nastavenie prerozdelenia spaľovacieho vzduchu, kedy došlo

k významnému zlepšeniu výkonových a emisných parametrov krbovej vložky A (tab. 7.1). Uvedenou zmenou dosšlo k takmer 1 % nárastu priemernej účinnosti (η) spaľovania a zníženiu priemernej produkcie oxidu uhoľnatého (CO) o takmer 17 %, zníženiu priemernej produkcie oxidov dusíka (NO_x, resp. NO) o približne 6 %, zníženiu priemernej produkcie organických uhl'ovodíkov (OGC) o približne 16,5 % a zníženiu priemernej produkcie tuhých znečisťujúcich látok (TZL) o necelých 16 %.

Tab. 7.1 Výsledky experimentálnych vývojových meraní krbovej vložky A

	CO _{13%} [mg.m ⁻³]	NO _{x13%} [mg.m ⁻³]	OGC _{13%} [mg.m ⁻³]	TZL _{13%} [mg.m ⁻³]	P [kW]	η [%]
nastavenie 1	4187,52	69,55	134,14	70,22	8,46	80,30
nastavenie 2	3492,57	65,15	111,79	59,16	8,11	81,19

Positívny vplyv zmeny prívodu a prerozdelenia spaľovacieho vzduchu na produkciu plynných emisií oxidu uhoľnatého (CO) a oxidov dusíka (NO_x, resp. NO) je viditeľný aj na časovom priebehu na obr. 7.2.



Obr. 7.2 Priebeh produkcie emisií CO a NO v závislosti od nastavenia množstva primárneho a sekundárneho vzduchu počas experimentálneho vývojového merania menovitého výkonu krbovej vložky A

7.2 Experimentálne vývojové merania pre inováciu krbovej vložky B

7.2.1 Parametre krbovej vložky B

Krbová vložka B (obr. 7.3), na ktorej boli realizované experimentálne vývojové merania pre inováciu, mala nasledovné parametre:

- Menovitý tepelný výkon: 10,9 kW
- Regulovateľný tepelný výkon: 3 - 12 kW
- Deklarovaná účinnosť spaľovania: 80 %
- Váha: 260 kg
- Priemer dymovodu: 250 mm
- Viditeľný rozmer dverí: 660×520 mm
- Palivo: kusové drevo



Obr. 7.3 Experimentálne meraná krbová vložka B

7.2.2 Výsledky experimentálnych vývojových meraní krbovej vložky B

Na krbovej vložke boli vykonané 4 série experimentálnych vývojových meraní pri rôznych konštrukčných úpravách. Meranie 1 bolo vykonané na pôvodnom stave krbovej vložky. Následne boli vykonané 3 rôzne konštrukčné úpravy s cieľom zníženie emisií oxidu uhoľnatého (CO) a tuhých znečisťujúcich látok (TZL) a zvýšenia účinnosti spaľovania.

Vykonané merania pri rôznych nastaveniach krbovej vložky:

- Séria meraní 1 – pôvodný stav
- Séria meraní 2 – 1. konštrukčná úprava – zmena geometrie spaľovacej komory a spalínového traktu za účelom zníženia plynných emisií a TZL, zvýšenia výkonu a účinnosti
- Séria meraní 3 – 2. konštrukčná úprava – zmena geometrie spaľovacej komory a spalínového traktu za účelom zníženia plynných emisií a TZL, zvýšenia výkonu a účinnosti
- Séria meraní 4 – 3. konštrukčná úprava – zmena geometrie spaľovacej komory a spalínového traktu za účelom zníženia plynných emisií a TZL, zvýšenia výkonu a účinnosti

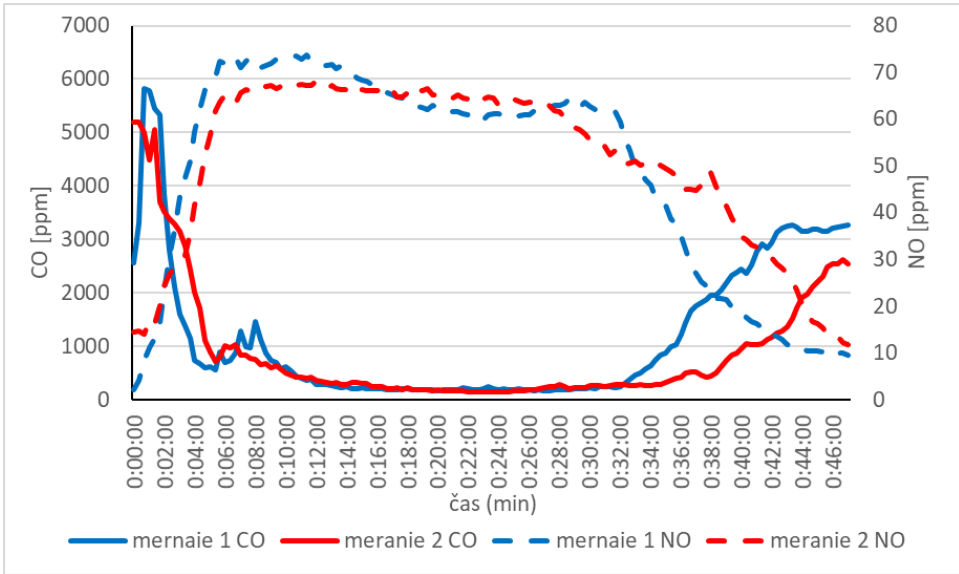
Nastavenia množstva primárneho a sekundárneho vzduchu a paliva bolo počas všetkých sérií meraní rovnaké. Priemerné výsledky experimentálnych vývojových meraní krbovej vložky B sú uvedené v tab. 7.2. Výsledkom prvej konštrukčnej úpravy (séria meraní 2) bolo zníženie priemernej produkcie emisií CO, TZL a zvýšenie účinnosti. Druhá konštrukčná úprava znížila hodnoty priemernej produkcie TZL na požadovanú hodnotu, avšak mierne sa zvýšila priemerná produkcia emisií CO a priemerná účinnosť spaľovania sa oproti sérii meraní 2 mierne znížila. Tretia konštrukčná úprava mala pozitívny vplyv na zníženie priemernej produkcie emisií CO a TZL a zvýšenie priemernej účinnosti oproti pôvodnému stavu.

Tab. 7.2 Výsledky experimentálnych vývojových meraní krbovej vložky B

	CO _{13%} [mg.m ⁻³]	NO _{x13%} [mg.m ⁻³]	OGC _{13%} [mg.m ⁻³]	TZL _{13%} [mg.m ⁻³]	P [kW]	η [%]
Séria meraní 1	1227	94	39	60	14,0	75,6
Séria meraní 2	921	86	30	54	16,2	79,7
Séria meraní 3	1234	99	40	39	15,8	78,5
Séria meraní 4	1147	96	37	43	15,8	79,0

Najlepšie výkonové a emisné parametre krbovej vložky B sa dosiahli po konštrukčnej úprave 1 pri druhej sérii meraní, kedy došlo k zvýšeniu priemernej účinnosti spaľovania o viac ako 4 %, zníženiu priemernej produkcie emisií CO o takmer 25 %, zníženiu priemernej produkcie oxidov dusíka (NO_x, resp. NO) o necelých 8 %, zníženiu priemernej produkcie organických uhl'ovodíkov (OGC) o približne 23 % a zníženiu priemernej produkcie tuhých znečisťujúcich látok (TZL) o 10 %. Ešte nižšia priemerná produkcia TZL sa dosiahla pri sérii meraní 3 (nižšia o približne 35 %) a sérii meraní 4 (nižšia o približne 28 %), ale z celkového pohľadu bol najoptimálnejším variantom nastavenie po konštrukčnej úprave 1. Pozitívny

vplyv konštrukčnej úpravy na produkciu plynných emisií oxidu uhoľnatého (CO) a oxidov dusíka (NO_x, resp. NO) je viditeľný aj na časovom priebehu na obr. 7.4.



Obr. 7.4 Priebeh produkcie emisií CO a NO pred a po konštrukčnej úprave počas experimentálneho vývojového merania menovitého výkonu krbovej vložky B

7.3 Experimentálne vývojové merania kotla na tuhé palivo

7.3.1 Parametre kotla na tuhé palivo

Kotol na tuhé palivo (obr. 7.5), na ktorom boli realizované experimentálne vývojové merania pre inováciu, mal nasledovné parametre:

- Menovitý tepelný výkon: 25 kW
- Výhrevná plocha: 2 m
- Deklarovaná účinnosť spaľovania: 84-86 %
- Rozmery (V x Š x H): 970 x 460 x 840 mm
- Hmotnosť: 300 kg



Obr. 7.5 Experimentálne meraný kotol na tuhé palivo

7.3.2 Výsledky experimentálnych vývojových meraní kotla na tuhé palivo

Na kotle na tuhé palivo boli vykonaných 5 sérii experimentálnych vývojových meraní s rôznymi nastaveniami prevádzky, najmä za účelom zvýšenia účinnosti spaľovania, zvýšenia tepelného výkonu a zníženia emisií. Nastavenie prívodu množstva sekundárneho spaľovacieho vzduchu bolo počas všetkých variant meraní rovnaké, nastavené od výrobcu.

Vykonané merania pri rôznych nastaveniach kotla na tuhé palivo:

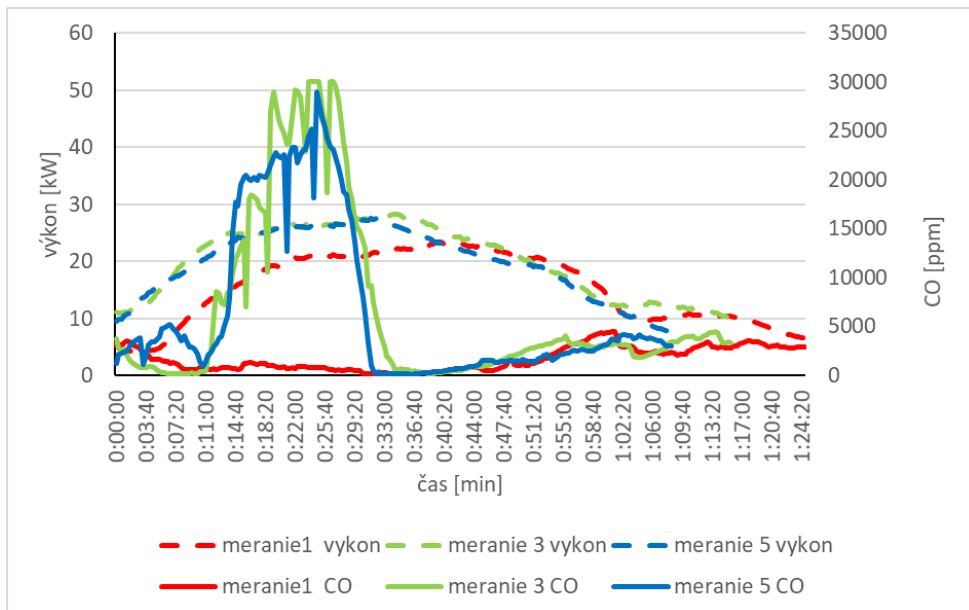
- Séria meraní 1 – 5 ks brikiet, komínový ťah 12 Pa
- Séria meraní 2 – 6 ks brikiet, komínový ťah 12 Pa, odpojený automatický regulátor za účelom zvýšenia účinnosti spaľovania, zvýšenia tepelného výkonu a zníženia emisií
- Séria meraní 3 – 6 ks brikiet komínový ťah 15 Pa, odpojený automatický regulátor za účelom zvýšenia účinnosti spaľovania, zvýšenia tepelného výkonu a zníženia emisií
- Séria meraní 4 – 5 ks brikiet, komínový ťah 13 Pa, odpojený automatický regulátor za účelom zvýšenia účinnosti spaľovania, zvýšenia tepelného výkonu a zníženia emisií
- Séria meraní 5 – 5 ks brikiet, komínový ťah 15 Pa, odpojený automatický regulátor za účelom zvýšenia účinnosti spaľovania, zvýšenia tepelného výkonu a zníženia emisií

Priemerné výsledky experimentálnych vývojových meraní teplovodného kotla na tuhé palivo sú uvedené v tab. 7.3. Sériá meraní 1 bola vykonaná pri nastaveniach nastavených výrobcom zariadenia. Pri sérii meraní 2 až 5 bol odpojený automatický regulátor prívodu primárneho spaľovacieho vzduchu prepojeného na termoregulačný ventil, za účelom zvýšenia výkonu kotla. Odpojenie automatickej regulácie výkonu zdroja tepla malo pozitívny vplyv na zvýšenie priemerneho tepelného výkonu, ale malo negatívny vplyv na priemernú produkciu emisie CO. Pri odpojenej automatickej regulácii a nižšom komínovom ťahu 12 Pa sa mierne zvýšili emisie TZL, ale naďalej boli v požadovanom limite do 40 mg.m⁻³. Zvýšenie komínového ťahu z 12 Pa na 15 Pa malo tiež pozitívny vplyv na zvýšenie priemerneho tepelného výkonu kotla, ale malo negatívny vplyv na zvýšenie priemernej produkcie emisií CO. Znížením množstva paliva zo 6 ks na 5 ks brikiet sa nepreukázalo v znížení emisií CO. Ani pri jednom z vykonaných meraní sa nepodarilo dosiahnuť požadovanej hodnoty priemernej produkcie CO prepočítanej na 13% obsah kyslíka v spalinách - 1000 mg.m⁻³. Nedosiahnutie požadovaných hodnôt CO mohlo byť spôsobené nesprávnym nastavením sekundárneho vzduchu resp. typom paliva.

Tab. 7.3 Výsledky experimentálnych vývojových meraní teplovodného kotla na tuhé palivo

	CO _{10%} [mg.m ⁻³]	NO _{x10%} [mg.m ⁻³]	OGC _{10%} [mg.m ⁻³]	TZL _{10%} [mg.m ⁻³]	P [kW]	η [%]
Sériá meraní 1	1704	90	22	11	15,4	51,0
Sériá meraní 2	3206	73	41	28	17,0	49,0
Sériá meraní 3	3833	80	52	20	17,7	47,5
Sériá meraní 4	1074	92	16	30	18,0	50,0
Sériá meraní 5	4083	73	54	22	20,3	55,0

Priebeh tepelného výkonu a produkcie emisií CO za rôznych podmienok spaľovania počas experimentálneho vývojového merania menovitého výkonu kotla na tuhé palivo je uvedený na obr. 7.6.



Obr. 7.6 Priebeh tepelného výkonu a produkcie emisií CO počas experimentálneho vývojového merania menovitého výkonu kotla na tuhé palivo

7.4 Experimentálne vývojové merania kachľovej pece

7.4.1 Parametre kachľovej pece

Kachľová pec (obr. 7.7), na ktorej boli realizované experimentálne vývojové merania pre inováciu, mala nasledovné parametre:

- menovitý tepelný výkon: 10 kW
- deklarovaná účinnosť spaľovania: 81 %
- rozmery (VxŠxH): 1378x460x520 mm
- hmotnosť: 198 kg
- palivo: kusové drevo
- materiál: liatina



Obr. 7.7 Experimentálne meraná kachľová pec

7.4.2 Výsledky experimentálnych vývojových meraní kachľovej pece

Na kachľovej peči boli vykonané viaceré experimentálne vývojové merania. Experimenty boli vykonané na dvoch rôznych variantoch. Prvý variant mal konštrukčnú úpravu pre zvýšenie teploty v kúrenisku. Druhý variant bol bez konštrukčnej úpravy zvýšenia teploty v kúrenisku. Každý variant pece mal inú konštrukčnú úpravu zachytávania TZL vo vrchnej časti pece. Oba varianty pece mali možnosť nastavenia spôsobu odvodu spalín do komína a to priamo cez katalyzátor alebo mimo katalyzátor.

Vykonané merania pri rôznych nastaveniach kachľovej pece variantu č. 1:

- Meranie 1a – nastavenie pece bez katalyzátora, predohrev katalyzátora otvorený na 100 %, vlhkosť dreva 6 %.
- Meranie 1b – nastavenie pece s katalyzátorom, predohrev katalyzátora otvorený na 100 %, vlhkosť dreva 6 %.
- Meranie 2a – nastavenie pece bez katalyzátora, predohrev katalyzátora otvorený na 50 %, vlhkosť dreva 6 %.
- Meranie 2b – nastavenie pece s katalyzátorom, predohrev katalyzátora otvorený na 50 %, vlhkosť dreva 6 %.
- Meranie 3a – nastavenie pece bez katalyzátora, predohrev katalyzátora otvorený na 100 %, vlhkosť dreva 17 %.
- Meranie 3b – nastavenie pece s katalyzátorom, predohrev katalyzátora otvorený na 100 %, vlhkosť dreva 17 %.

- Meranie 4a – nastavenie pece bez katalyzátora, predohrev katalyzátora otvorený na 50 % , vlhkosť dreva 17 %.
- Meranie 4b – nastavenie pece s katalyzátorom, predohrev katalyzátora otvorený na 50 % , vlhkosť dreva 17 %.

Počas merania boli nastavené množstva primárneho a sekundárneho vzduchu na rovnakej hodnote. Skúšal sa vplyv katalyzátora a jeho predohrevu na emisné a výkonové parametre.

Pri variante 1 (tab. 7.4) bolo preukázané zníženie emisií CO vplyvom katalyzátora, znížením predohrevu katalyzátora, ako aj paliva s nižšou vlhkosťou. No ani pri jednom z nastavení pece nebola dosiahnutá normou požadovaná hodnota CO. Vplyv skúmaných nastavení na množstvo TZL nebol jednoznačne preukázaný. Množstvá TZL spĺňajúce normou definované limity boli dosiahnuté len s palivom nižšej vlhkosti pri nastavení pece bez katalyzátora v oboch prípadoch predohrevu. Vyššia vlhkosť paliva mala negatívny vplyv aj na priemerný tepelný výkon a účinnosť spaľovania. Vplyv väčšieho množstva vzduchu predohrevu katalyzátora sa prejavil v znížení priemerného tepelného výkonu. Pri palive s vyššou vlhkosťou sa preukázal vplyv katalyzátora na zvýšení tepelného výkonu aj účinnosti spaľovania.

Tab. 7.4 Výsledky experimentálnych vývojových meraní variantu 1 kachľovej pece

Variant 1	CO _{13%} [mg.m ⁻³]	NO _{x13%} [mg.m ⁻³]	OGC _{13%} [mg.m ⁻³]	TZL _{13%} [mg.m ⁻³]	P [kW]	η [%]
meranie 1a	4188	64	134	13	11,5	83,70
meranie 1b	4155	81	133	61	10,86	80,77
meranie 2a	2802	149	44	25	9,98	78,31
meranie 2b	2322	125	74	69	10,23	78,70
meranie 3a	7050	123	226	37	9,59	69,15
meranie 3b	4243	98	136	65	9,77	75,75
meranie 4a	6844	108	219	66	8,87	67,96
meranie 4b	3458	169	111	52	9,61	73,20

Vykonané merania pri rôznych nastaveniach kachľovej pece variantu č. 2:

- meranie 1a – nastavenie pece bez katalyzátora, predohrev katalyzátora otvorený na 100 %
- meranie 1b – nastavenie pece s katalyzátorom, predohrev katalyzátora otvorený na 100 %
- meranie 2a – nastavenie pece bez katalyzátora, predohrev katalyzátora otvorený na 50 %

- meranie 2b – nastavenie pece s katalyzátorom, predohrev katalyzátora otvorený na 50 %
- meranie 3a – nastavenie pece bez katalyzátora, predohrev katalyzátora zatvorený
- meranie 3b – nastavenie pece s katalyzátorom, predohrev katalyzátora zatvorený

Keďže pri variante 1 sa ukázal negatívny vplyv vyššej vlhkosti na emisné a výkonové parametre, všetky merania variantu 2 boli vykonané s palivom s nižšou vlhkosťou paliva (6 %). Počas meraní boli nastavené množstvá primárneho a sekundárneho spaľovacieho vzduchu na rovnakej hodnote. Stanovoval sa vplyv katalyzátora a jeho predohrevu na emisné a výkonové parametre.

Pri variante 2 bolo preukázané výrazne zníženie emisií CO vplyvom implementácie katalyzátora. Znížením predohrevu katalyzátora boli dosiahnuté normou požadované hodnoty CO, nižšie ako 1500 mg.m^{-3} . Variant 2 oproti variantu 1 mal všeobecne nižšie hodnoty, ktoré sa vplyvom katalyzátora a znížením jeho predohrevu ešte viac znížili až na normou požadovanú úroveň. Pozitívny vplyv katalyzátora, ako aj zníženie množstva vzduchu jeho predohrevu, sa preukázal na miernom zvýšení priemerného tepelného výkonu, no najmä na zvýšení účinnosti spaľovania variantu 2.

Vzájomným porovnaním variantov 1 a 2 (tab. 7.5) je jednoznačné vidieť, že konštrukčné úpravy variantu 2 majú viac pozitívny vplyv na nižšiu produkciu plyných emisií a tuhých znečisťujúcich látok, ako aj na vyššiu účinnosť spaľovania kachľovej pece.

Tab. 7.5 Výsledky experimentálnych vývojových meraní variantu 2 kachľovej pece

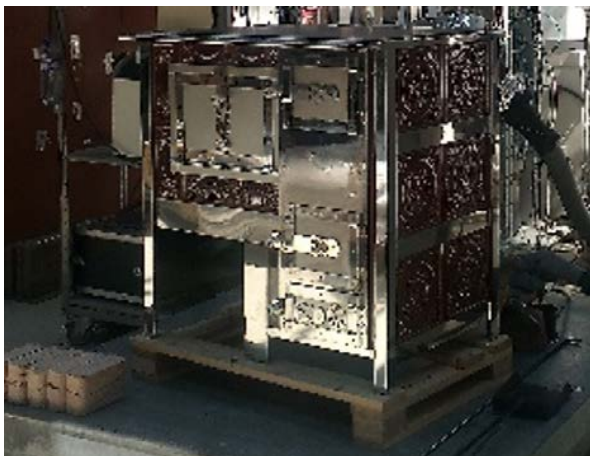
Variant 2	CO _{13%} [mg.m ⁻³]	NO _{x13%} [mg.m ⁻³]	OGC _{13%} [mg.m ⁻³]	TZL _{13%} [mg.m ⁻³]	P [kW]	η [%]
meranie 1a	7028	90	225	26	9,27	76,15
meranie 1b	2496	87	80	21	9,96	80,31
meranie 2a	3549	87	114	17	10,17	82,80
meranie 2b	1212	106	39	17	10,57	84,91
meranie 3a	7124	81	228	43	9,76	79,81
meranie 3b	1440	99	46	19	10,54	86,12

7.5 Experimentálne vývojové merania kuchynského sporáku

7.5.1 Parametre kuchynského sporáku

Kuchynský sporák (obr. 7.8), na ktorom boli realizované experimentálne vývojové merania pre inováciu, mal nasledovné parametre:

- Menovitý tepelný výkon: 8 – 11 kW
- Rozmery (VxŠxH): 845x875x610 mm
- Priemer dymovodu: 130 mm
- Hmotnosť: 260 kg
- Palivo: kusové drevo, drevné brikety



Obr. 7.8 Experimentálne meraný kuchynský sporák

7.5.2 Výsledky experimentálnych vývojových meraní kachľovej pece

Skúšaný kuchynský sporák má dve možnosti spaľovania paliva, a to na spodnom rošte s možnosťou využitia tepla aj vo vložke pre ústredne kúrenie a na hornom rošte s možnosťou využitia tepla len pre prípravu jedál a lokálne vykurovanie. So sporákom boli vykonané 3 série experimentálnych vývojových meraní s rôznymi nastaveniami za účelom zistenia vplyvu zníženia priemernej produkcie emisií a zvýšenia tepelného výkonu úpravou prevádzkových podmienok pre každý variant spaľovania. Sledoval sa najmä vplyv množstva paliva (lisované brikety) a nastavenie prívodu primárneho spaľovacieho vzduchu.

Vykonané merania sporáka s vložkou pri spaľovaní na dolnom rošte:

- Séria meraní 1 – primárny vzduch otvorený na 100 %, 5ks brikiet.
- Séria meraní 2 – primárny vzduch otvorený na 75 %, 5ks brikiet.
- Séria meraní 3 – primárny vzduch otvorený na 100 %, 4ks brikiet.

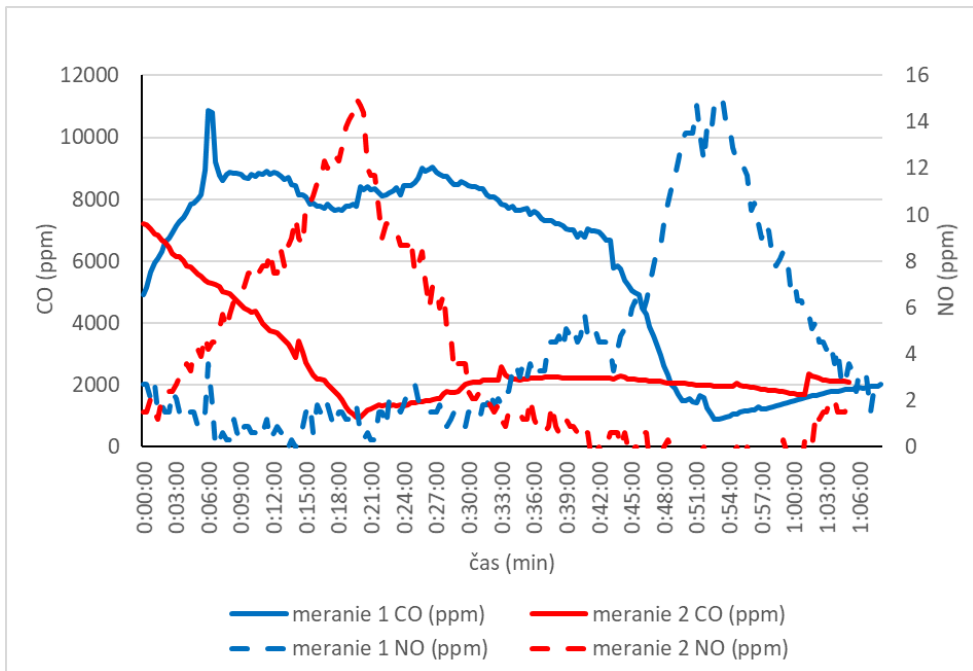
Zníženie množstva primárneho spaľovacieho vzduchu a paliva pri spaľovaní na spodnom rošte malo vplyv na zníženie produkcie emisií CO, OGC a TZL. Výraznejšie zmeny sa preukázali pri znížení množstva spaľovacieho vzduchu, ako aj pri znížení dávky paliva. Zníženie množstva spaľovacieho vzduchu malo taktiež

pozitívny vplyv na zvýšenie priemerného tepelného výkonu a účinnosti spaľovania. Zníženie množstva paliva sa preukázalo na znížení priemerného tepelného výkonu, na účinnosť spaľovania to nemalo významnejší vplyv. Počas experimentálnych meraní sa preukázali problémy pri nedokonalom spaľovaní paliva a nadpriemerné hodnoty kyslíka v spalinách, čo bolo pravdepodobne spôsobené nedokonalým tesnením v okolí spaľovacej komory a teda nasávaním vzduchu z okolia cez platňu sporáka.

Tab. 7.6 Výsledky experimentálnych vývojových meraní variantu 1 kachľovej pece

Variant 1	CO _{13%} [mg.m ⁻³]	NO _{x13%} [mg.m ⁻³]	OGC _{13%} [mg.m ⁻³]	TZL _{13%} [mg.m ⁻³]	P [kW]	η [%]
Séria meraní 1	9408	42	125	45	12,2	68,4
Séria meraní 2	4671	68	63	32	12,8	71,0
Séria meraní 3	6485	64	82	48	10,0	68,2

Pozitívny vplyv zmeny nastavenia prívodu primárneho spaľovacieho vzduchu na produkciu plynných emisií oxidu uhoľnatého (CO) a oxidov dusíka (NO_x, resp. NO) je viditeľný aj na časovom priebehu na obr. 7.9.



Obr. 7.9 Priebeh produkcie emisií CO a NO pred a po konštrukčnej úprave počas experimentálneho vývojového merania menovitého výkonu krbovej vložky B

ZÁVER

Využívanie zdrojov tepla spaľujúcich tuhé palivá prináša okrem prioritnej úlohy, teda premeny energie suroviny na teplo, ktoré ďalej dokážeme využívať napr. na zabezpečenie tepelnej pohody v domácnosti, aj druhotný efekt, ktorý spočíva v tvorbe tuhých a plyných látok, ktoré pri premene energie v zdrojoch tepla vznikajú a následne sú emitované do atmosféry.

V súčasnosti sa čoraz viac u nás spájajú dopady na životné prostredie spôsobené spaľovaním tuhých palív s používaním malých zdrojov tepla v rodinných domoch, pretože v týchto prípadoch nie je možné kontrolovať produkciu znečisťujúcich látok z procesu spaľovania. Mnohí si stále neuvedomujú, že keď spália rôzne odpady alebo napr. komunálny odpad, vo svojich domácich spaľovacích zariadeniach, vyprodukujú podstatne viac nebezpečných látok než spaľovňa odpadov.

Zároveň sa výrobcovia zdrojov tepla čoraz viac snažia zvýšiť efektívnosť spaľovania tuhých palív vo svojich výrobkoch, aj vzhľadom na čoraz prísnejšie emisné limity, ktoré sú predpisované legislatívou, resp. ktoré musia zariadenia plniť pre možnosť získania rôznych dotácií pre konečných prevádzkovateľov týchto zdrojov tepla.

Vedeckými a odbornými poznatkami v tejto problematike môže pomôcť aj toto dielo, ktoré prezentuje analýzu rôznych inovatívnych riešení pre optimalizáciu prevádzkovania zdrojov tepla na spaľovanie tuhých palív. Kolektív autorov spolu s ďalšími pracovníkmi Katedry energetickej techniky na Žilinskej univerzite v Žiline v spolupráci s piatimi výrobcami zdrojov tepla vykonal veľké množstvo experimentálnych vývojových meraní, výsledkom ktorých bolo získanie najvhodnejších konštrukčných úprav a nastavení spaľovacieho procesu pre každý zdroj tepla tak, aby sa zvýšila účinnosť využitia energie chemicky viazanej v palive a minimalizovala sa produkcia jednotlivých sledovaných emisií pri prevádzkovaní zariadenia. Výsledky experimentálnych meraní taktiež potvrdili, že plnenie emisných limitov je čoraz komplikovanejšie a začína dosahovať technické hranice zariadení bez inštalácie dodatočných zariadení na sekundárne zachytávanie emisií, napr. katalyzátorov, resp. odlučovačov tuhých častíc. Tieto zariadenia v malých zdrojoch tepla sú zatiaľ takmer nevyužívané, ale v budúcnosti sa pravdepodobne stanú neoddeliteľnou súčasťou spaľovacích zariadení a preto je potrebné sa zaoberať ich výskumom.

Výsledky experimentálnych vývojových meraní dokazujú, že najväčší vplyv na výkonové a emisné parametre má samotný užívateľ. Nesprávnou obsluhou a nerešpektovaním návodu výrobcu je možné znížiť účinnosť spaľovania o desiatky percent a produkciu emisií zvýšiť niekoľkonásobne. Z tohto dôvodu je potrebné vynakladať vyššie úsilie na informovanie bežných užívateľov a výskum zdrojov

tepla sústrediť na zariadenia s automatickou obsluhou bez zásahu používateľa. Tým by bolo možné výrazným spôsobom minimalizovať negatívne dopady nesprávneho prevádzkovania zdrojov tepla.

Záverom autori ďakujú za podporu Operačnému programu **INTERREG V-A Slovenská republika – Česká republika** v rámci projektu „**Inovace pro zdroje energie**“ (INOZE) č. **304011Y352**, ktorý prispel k vzniku tohto diela.

POUŽITÁ LITERATÚRA

1. Knihy / Monografie

BAKKER, E. a kol. 2010. Gas heat pumps. Efficient heating and cooling with natural gas. Netherlands. GasTerra/Castel international Publishers,

ČERNECKÝ, J. – NEUPAUEROVÁ, A. 2010. Technika ochrany ovzdušia. 1. vyd. Zvolen: TU vo Zvolene, 2010. 200 s. ISBN 978-80-228-2098-1

CIHELKA, J. a kol. 1985. Vytápění, větrání a klimatizace, Praha : SNTL, 1985

DZURENDA, L. 2005. Spaľovanie dreva a kôry, vydanie I. Zvolen: TU vo Zvolene, 2005

DINCER, I. – KANOGLU, M. 2010. Refrigeration systems and applications, 2nd edition. Chichester. UK. John Wiley and Sons. 2010. ISBN 978-0-470-74740-7

DZURENDA, L., JANDAČKA, J., 2010. Energetické využitie dendromasy. Zvolen, TU vo Zvolene, 162 s. ISBN 978-80-228-2082-0

HEMERKA, J. 1994. Odlučování tuhých částic. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 138 s.

HAVELSKÝ, V. – FURI, B. 1994. Chladenie – základné techniky chladenia a tepelných čerpadiel, Bratislava – vydavateľstvo STU, 1994. 256s. ISBN 80-227-0673-6.

HARTMANN, H. – REISINGER, K. – THUNEKE, K. – HÖLDRICH, A. – ROßMANN, P. 2007. Handbuch bioenergie – kleinanlagen. 2. vyd. Gülzow : Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. V.(FNR), 2007. 224 p. ISBN 3-00-011041-0.

HOLUBČÍK, M. 2013. Možnosti zvyšovania teploty tavitelnosti popola z biomasy, doktorandská dizertačná práca. Žilina. Žilinská univerzita v Žiline

HOLUBČÍK, M. 2019. Možnosti zefektívnenia využívania energie tuhých palív v malých zdrojoch tepla, 2019, 100 s., Habilitačná práca

HOLUBČÍK, M., JANDAČKA, J., NEMEC, P. 2020, Zdroje tepla a znečisťovanie životného prostredia, EDIS, ISBN: 9788055 417585

HRÚZIK, D. 1997. Monitorovanie životného prostredia. Bratislava: STU, 1997.76 s.

JANDAČKA, J. - MALCHO, M. - MIKULÍK, M. 2007. Ekologické aspekty záměny fosílnych palív za biomasu. 2008, Jozef Bulejčík, 2007, ISBN 978-80-969595-5-6

JANDAČKA, J. - MALCHO, M. 2007. Biomasa ako zdroj energie. Žilina : Juraj Štefúň - GEORG, máj 2007, ISBN 978-80-969161-4-6

JANDAČKA, J. – MALCHO, M. – MIKULÍK, M. 2007. Biomasa ako zdroj energie

: Potenciál, druhy, bilancia a vlastnosti palív. Žilina: Juraj Štefuň – GEORG, 2007. 222 s. ISBN 978-80-969161-3-9.

JANDAČKA, J. – MALCHO, M. – MIKULÍK, M. 2007. Technológie pre prípravu a energetické využitie biomasy. Žilina: Jozef Bulejčík, 2007. 222 s. ISBN 978-80-969595-3-2.

JANDAČKA, J. – NOSEK, R. – HOLUBČÍK, M. – PAPUČÍK, Š. – ŽIDEK, L. – HARANT, R. – LENHART, P. 2011. Drevné pelety a aditíva, Juraj Štefuň – GEORG 2011, ISBN 978-80-89401-23-9

JANDAČKA, J. - PAPUČÍK, Š. - NOSEK, R. - HOLUBČÍK, M. - KAPJOR, A. 2011. Environmentálne a energetické aspekty spaľovania biomasy, Juraj Štefuň – GEORG Žilina 2011, ISBN 978-80-89401-40-6

JANDAČKA, J. – SMATANOVÁ, H. – HOLUBČÍK, M. 2011. Technológie pre krby a krbové kachle. Žilina : Juraj Štefuň - GEORG, 2011, ISBN 978-80-89401-22-2

JANDAČKA, J. – HOLUBČÍK, M. – PATSCH, M. – VANTÚCH, M. 2016. Moderné zdroje tepla vo vykurovaní. Žilina. EDIS ŽU Žilina, 2016. 266 strán, ISBN 978-80-554-1230

JANDAČKA, J. - MIČIETA, J. - HOLUBČÍK, M. - NOSEK, R. 2016. Inovácie na zefektívnenie procesu spaľovania biomasy, EDIS – vydavateľské centrum Žilinskej univerzity, 2016

JONES, L., ATKINS, P. 2004. Chemia ogólna. Cząsteczki, materia, reakcje tł. Jerzy Kuryłowicz, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, ISBN: 83-01-13810-6

KANTOVÁ, N. 2019. Redukcia tuhých znečisťujúcich častíc v malých zdrojoch tepla na spaľovanie biomasy, 2019, ŽU v Žiline, dizertačná práca

KLENOVČANOVÁ, A., IMRIŠ, I. 2008. Zdroje a premeny energie, Prešov: ManaCon

KRÁLIKOVÁ, R.- PAULIKOVÁ, A. 1999. Monitoring a diagnostika životného prostredia. 1. vyd. Košice: 1999. 150 s. ISBN 80-8055-47-6

LULKOVIČOVÁ, O. a kol. 2004. Zdroje tepla a domové kotelne. Jaga group, s.r.o., Bratislava, 2004, ISBN 80-8076-001-2

MALAŤÁK, J. – VACULÍK, P. 2008. Biomasa pro výrobu energie. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. 206 s. ISBN: 978-80-213-1810-6.

MEČÁRIK, K., HAVELSKÝ, V., FÜRIB, B. 1988. Tepelné čerpadlá. Alfa /STNL, Bratislava, 1988

MIČIETA, J. 2015. Výskum spaľovania fytohmoty v malých zdrojoch tepla. doktorandská dizertačná práca. Žilina. Žilinská univerzita v Žiline

MIKULÍK, M. - JANDAČKA, J. 2009. Postupy správneho vykurovania. Vedecký

- red.: Milan Malcho, Mojš : Jozef Bulejčík, 2009, ISBN 978-80-969595-7-0
- NOVÝ, R. a kol. 2000. Technika prostředí. Praha : ČVUT 2000. ISBN 80-01-02108-4
- OCHODEK, T. – KOLONIČNÝ, J. – BRANC, M. 2007. Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy : Metodická příručka ke studii. 1. vyd. Ostrava, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2007, 30 s.
- PECIAR, M. – ČERNECKÝ, J. – PECIAROVÁ, Z. 2011. Ochrana ovzdušia, Bratislava: STU Bratislava, 2011. 136 s. ISBN 978-80-227-3392-2
- PETRÁŠ, D. a kol. 2001. Nízkotepelné vykurovanie a obnoviteľné zdroje energie. Bratislava : Jaga group, 2001, ISBN 8088905125
- PETRÁŠ, D. a kol. 2005. Vykurovanie rodinných a bytových domov, Jaga, STU Bratislava 2005
- RYBÍN, M. 1985. Spalování paliv a hořlavých odpadů v ohništích průmyslových kotlů. Praha : SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1985. 418 s.
- SIPPULA, O. 2010. Fine particle formation and emission in biomass combustion : dizertačná práca. Helsinki : University of Eastern Finland, 2010. 60 p. ISBN 978-952-5822-15-1
- SRDEČNÝ, K. - TRUXA, J. 2005. Tepelná čerpadla. ERA group spol. s.r.o., 1. vydanie, Brno, 2005. ISBN 80-7366-031-8.
- SRDEČNÝ, K. - TRUXA, J. 2009. Tepelná čerpadla. 1. vydanie. Praha : EkoWATT, 2009. ISBN 978-80-87333-02-0. 71 s.
- STEENARI, B. - LUNDBERG, A. - PETTERSSON, H. - BIEN, M. - ANDERSSON, D.: Investigation of Ash Sintering during Combustion of Agricultural Residues and the Effect of Additives, Energy Fuels, 2009, 23 (11), pp 5655–5662
- SULOVCOVÁ K. 2015. Zníženie emisie tuhých častíc optimalizáciou spalínového traktu v malých zdrojoch tepla. In : Dizertačná práca. 2015
- TRNOBRANSKÝ, K. a kol. 2007. Řešení centrálních kotelen na biomasu do výkonu 10 MW. Česká energetická agentura, 2007
- VAN LOO, S. – KOPPEJAN, J. 2008. The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing. London: Earthscan Publications Ltd., 2008. 442 s. ISBN: 978-1849711043.
- WANG, L. - SKJEVRAK, G. - HUSTAD, J. E. - GRØNLI, M. G. 2011. Effects of Sewage Sludge and Marble Sludge Addition on Slag Characteristics during Wood Waste Pellets Combustion. Energy & Fuels 2011, 25, (12), 5775-5785.
- WERKELIN, J, - SKRIFVAR, B. – HUPA, M.: Ash-forming elements in four Scandinavian wood species, Biomass and Bioenergy, 2005, Volume 29, Issue 6,

Pages 451–466, ISSN: 0961-9534

ŽERAVÍK, A. 2003. Stavíme tepelné čerpadlo, Přerov: EURO – PRINT spol s. r. o., ISBN 80 – 239 – 0275 – X.

2. Odborné články a elektronické dokumenty

BAFVER, L. – LECKNER, B. – TULLIN, C. – BERNTSEN, M.: Particle emissions from pellets stoves and modern and old-type wood stoves, biomass and bioenergy 35 (2011) 3648 - 3655

BACKMAN, R. – HUPA, M. – UPPSTU, E.: Fouling and corrosion mechanisms in the recovery boiler superheater area, Tappi Journal, 1987, ISSN 0734-1415

BHATTACHARYA, S. – ALBINA, D. – KHAING, A.: Effects of selected parameters on performance and emission of biomass- red cookstoves, Biomass and Bioenergy 23 (2002) 387 – 395

BOMAN, CH. - NORDIN, A. – BOSTROM, D. – OHMAN, M.: Characterization of Inorganic Particulate Matter from Residential Combustion of Pelletized Biomass Fuels, In Energy and Fuels 18(2) 2003

BOMAN, C.: Particulate and gaseous emissions from residential biomass combustion, Thesis, Energy Technology and Thermal Process Chemistry, Sweden, 2005, ISSN 1653-0551 ETPC Report 05-03

BP.: Statistical review of World energy, 67th edition. 2018

CAPOSCIUTTI, G. – ANTONELLI, M.: Experimental investigation on air displacement and air excess effect on CO, CO₂ and NO_x emissions of a small size fixed bed biomass boiler, Renewable Energy 116 (2018) 795-804

ESKILSSON, D. - RONNBACK, M. - SAMUELSSON, J. – TULLIN, C.: Optimisation of efficiency and emissions in pellet burners, Biomass and Bioenergy 27 (2004) 541–546

FELICELLI, V. – SANTONI, P. – GERANDI, G. – BARBONI, T.: Smoke emissions due to burning of green waste in the Mediterranean area: Influence of fuel moisture content and fuel mass, Atmospheric Environment 159 (2017) 92-106

GHAFGHAZI, S. – SOWLATI, T. – SOKHANSANJ, S. – BI, X. – MELIN, S.: Particulate matter emissions from combustion of wood in district heating applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 3019–3028

HOLUBČÍK, M. – JACHNIAK, E. – SMATANOVÁ, H.: Differences between pellets from biomass made in manufactory and in domestic conditions, AIP Conference Proceedings, Volume 1608, 2014, Pages 48-53, ISSN: 0094-243X

HOLUBČÍK, M. – JANDAČKA, J.: Mathematical model for prediction of biomass ash melting temperature using additives, COMMUNICATIONS – Scientific Letters of the University of Zilina, VOLUME 16, 3a/2014, ISSN 1335-4205

HOLUBČÍK, M. – JANDAČKA, J. – MALCHO, M.: Produkcia emisií počas spaľovania rôznych druhov biomasy, Agrobioenergia : časopis združenia pre poľnohospodársku biomasu. - ISSN 1336-9660. - Bratislava: Slovak University of Technology, 2014. - Roč. 9, č. 2, [7] s.

HOLUBČÍK, M.- JANDAČKA, J.- NOSEK, R.: Vplyv vybraných aditív na vlastnosti drevných peliet a na ich výrobu, Acta Facultatis Xylologiae Zvolen, rok 2011, číslo 2, s.85-91, ISSN 1336-3824

HOLUBČÍK, M. – NOSEK, R. – JANDAČKA, J.: Effect of time and method of storage on the properties of wood pellets with addition of lignin, WOOD RESEARCH Volume: 59 Issue: 5 Pages: 851-860 Published: 2014, ISSN: 1336-4561

HORÁK, J. – BRANC, M. – HNILICOVÁ, H.: Emise jemných častíc při splaování dřeva a hnědého uhlí v malých zdrojích, Topenářství, Instalace, Vol. 3, 2010, pp. 26-30

HORÁK, J. – KUBESA, P. – DVOŘÁK, J. a kol.: Jak si doma změřit účinnost spalovacího zařízení a lze účinnost nějak zvětšit? In TZB-info.cz. 2012

HORÁK, J. – KUBESA, P.: O spalování tuhých paliv v lokálních topeništích (2). In TZB-info.cz. 2012

HUANGFU, Y – LI, H. – CHEN, X. – XUE, C. – CHEN, C. – LIU, G.: Effects of moisture content in fuel on thermal performance and emission of biomass semi-gasified cookstove, Energy for Sustainable Development 21 (2014) 60–65

GADONNEI, P. et al.: World Energy Council - Survey of Energy Resources, 2010

JELÍNEK, V.: Krby – zásady návrhu, sdílení tepla. Techcon, Atcon systems, 2010, ISSN: 1337-3013

JOHANSSON, L. – LECKNER, B. – GUSTAVSSON, L. – COOPER, D. – TULLIN, C. – POTTER, A.: Emission characteristics of modern and old-type residential boilers fired with wood logs and wood pellets, Atmospheric Environment 38 (2004) 4183–4195

KOZINSKI – SAADE.: Effect of biomass burning on the formation of soot particles and heavy hydrocarbons. An experimental study. Fuel. Vol 77. No. 4. pp. 225-237. 1998

LACIOK, V., KRPEC, K., HORÁK, J., HOPAN, F., KUBESA, P., MARTINÍK, L., OCHODEK, T. Produkce ultrajemných častíc při spalování hnědého uhlí v různých

typech kotlů malého výkonu. Vytápění, větrání, instalace, 2015, roč. 24, č. 5, s. 234-237.

LI, Q. – JIANG, J. – ZHANG, Q. – ZHOU, W. – CAI, S. – DUAN, L. – GE, S. – HAO, J.: Influences of coal size, volatile matter content, and additive on primary particulate matter emissions from household stove combustion, *Fuel* 182 (2016) 780–787

LI, S. a kol.: Cascade fuzzy control for gas engine driven heat pump. Publikované v: *Energy Convers Manage.* 2005. 1757–66 s.

LIORIENTE, M. J. F. - AROCAS, P. D. - NEBOT, L. G. - GARCÍA, J. E. C.: The effect of the addition of chemical materials on the sintering of biomass ash. *Fuel* 2008, 87, (12), 2651-2658.

LIU, H. – CHANEY, J. – LI, J. – SUN, C.: Control of NO_x emissions of a domestic small-scale biomass pellet boiler by air staging, *Fuel*, Volume 103, January 2013, Pages 792-798

MAGASINER, N. - VAN ALPHEN, C. - INKSON, M., MISPLON, B.: Characterising Fuels For Biomass - Coal Fired Cogeneration, 75th Annual Congress of the S.A. Sugar Technologists Association, 2001

MARAVER, A. – ZAMORANO, M. – FERNANDES, U. – RABAÇAL, M. – COSTA, M.: Relationship between fuel quality and gaseous and particulate matter emissions in a domestic pellet-fired boiler, *Fuel* 119 (2014) 141–152

MENG, X. – SUN, R. – ISMAIL, T. – ZHOU, W. – REN, X. – ZHANG, R.: Parametric studies on corn straw combustion characteristics in a fixed bed: Ash and moisture content, *Energy* 158 (2018) 192-203

NOSEK, R. - HOLUBČÍK, M. - JANDAČKA, J.: Porovnanie gravimetrickej a optickej metódy merania produkcie tuhých znečisťujúcich látok pri spaľovaní drevnej biomasy, *Acta Facultatis Ecologiae*, rok 2012, číslo 26, ISSN 1336-300X

NOSEK, R. - HOLUBČÍK, M. – PAPUČÍK, Š.: Emission Controls Using Different Temperatures of Combustion Air, *ScientificWorldJournal*. 2014; 2014: 487549.

NOSEK, R., – JANDAČKA, J. – HOLUBČÍK, M.: Improvement of wood pellet parameters by using of additives, *Experimental Fluid Mechanics* 2010, Liberec 24-26.11.2010, str. s. 452, ISBN 978-80-7372-670-6

NUSSBAUMER, T.: Furnace Design and Combustion Control to Reduce Emissions and Avoid Ash Slagging : final report. Zürich, Switzerland : Swiss Federal Institute of Technology, 1998. 34 p.

OBERNBERGER, I. – BIEDERMANN, F. – WIDMANN, W. – RIEDL, R.: Concentrations of inorganic elements in biomass fuels and recovery in the different ash fractions. In *Biomass and Bioenergy*. 1997, vol. 12, no. 3, p. 221-224.

OBERNBERGER, I. – BRUNNER, T. – BÄRNTHALER, G.: Chemical properties of solid biofuels – significance and impact. In *Biomass and Bioenergy*. ISSN 0961-9534, 2006, vol. 30, no. 11, p. 973-982.

OHLSTROM, M. – MAKKONEN, P.: Technologies for controlling fine particle emissions, In: Hytönen K, Jokiniemi J (eds) *Reduction of fine particle emissions from residential wood combustion*, Workshop in Kuopio on May 22–23, 2007. University of Kuopio, Kuopio

OZGEN, S. - CASERINI, S. - GALANTE, S. - GIUGLIANO, M. - ANGELINO, E. - MARONGIU, A. - HUGONY, F. - MIGLIAVACCA, G. - MORREALE, C.: Emission factors from small scale appliances burning wood and pellets. *Atmospheric environment*, 94, 144-153. 2014

PAPUČÍK, Š. - PILÁT, P. - CHABADOVÁ, J. - MEDVECKÝ, Š.: Produkcia tuhých znečisťujúcich látok PM 10 a PM 2,5 pri spaľovaní drevných peliet. *Agrobioenergia*. 4/2014. (2014)

QIN, D. – SONG, S. – LIANG, H. – GAO, A.: An Experimental Study on the Effects of Air Humidity on the Spontaneous Combustion Characteristics of Coal, *Combustion Science and Technology*, Volume 189, 2017 - Issue 12

RABAÇAL, M. - FERNANDES, U. - COSTA, M.: Combustion and emission characteristics of a domestic boiler fired with pellets of pine, industrial wood wastes and peach stones, *Renewable Energy* 51 (2013) 220-226

SELJESKOG, M. – SEVAULT, A. – OSTNOR, A. – SKREIBERG, O.: Variables affecting emission measurements from domestic wood combustion, *Energy Procedia* 105 (2017) 596 – 603

SIDOROVÁ, M. – WITTENBERGER, G.: Využitie nízko-potenciálnej tepelnej energie Zeme v tepelno-čerpádkových systémoch, *Acta Montanistica Slovaca Ročník 11 (2006), mimoriadne číslo 1*, 166-171.

ŠOOŠ, E. – BIATH, P. – KRÍŽAN, P. – MATÚŠ, M.: Výhody a riziká energetického zhodnotenia trávnych ušľachtilých biopalív. In *Agrobioenergia*. ISSN 1336-9660, 2011, roč.5, č. 3, s. 10-14.

TAUŠ, P. - TAUŠOVÁ, M.: Economical analysis of FV power plants according installed performance, 2009, *Acta Montanistica Slovaca*

TAUŠOVÁ, M. - TAUŠ, P. - ERDÉLYIOVÁ, K. - HORODNÍKOVÁ, J.: Economical analysis of the electric energy production from biomass. In: *SGEM 2011 : 11th International Multidisciplinary Scientific GeoConference : conference proceedings : Volume 3*, STEF92 Technology Ltd., 2011 P. 1019-1026. - ISSN

1314-2704

TERRAZZANO, L. - ALLOUIS, C. - BERETTA, F. - PAGLIARA, R. - Martino G.: Optimization of Combustion Performances of Pellet Burners, Meeting of the Italian section of the Combustion Institute, Ischia- Italy, I-8, 2007

TOSCANO, G. – CORINALDESI, F.: Ash fusibility characteristics of some biomass feedstocks and examination of the effects of inorganic additives, Journal of Agricultural Engineering 2010 Vol. 41 No. 2 pp. 13-19, ISSN 0304-0593

THY, P. - JENKINS, B. M. - GRUNDTVIG, S. - SHIRAKI, R. - LESHER, C. E., High temperature elemental losses and mineralogical changes in common biomass ashes. Fuel 2006 85, (5-6), 783-795.

VASSILEV, S. - BAXTER, D. - ANDERSEN, L. - VASSILEVA, C.: An overview of the chemical composition of biomass, 2010, Fuel, 89, 913 - 933

VASSILEV, S. - BAXTER, D. - ANDERSEN, L. - VASSILEVA, C.: An overview of the composition and application of biomass ash. Part 1. Phase–mineral and chemical composition and classification, 2013 a, Fuel, 105, 40 – 76

VASSILEV, S. - BAXTER, D. - ANDERSEN, L. - VASSILEVA, C.: An overview of the composition and application of biomass ash. Part 2. Potential utilisation, technological and ecological advantages and challenges, 2013 b, Fuel, 105, 19 – 39

WERTHER, J. - SAENGER, M. - HARTGE, U. - OGADA, T. - SIAGI, Z.: Combustion of agricultural residues, Progress in Energy and Combustion Science 26 (2000) 1–27

WHO. Preskúmanie dôkazov o zdravotných aspektoch znečistenia ovzdušia, 2013

WHO. Správa znečistenia ovzdušia, 2015

XIONG, S. - BURVALL, J. - ORBERG, H. - KALEN, G. - THYREL, M. - ÖHMAN, M. - BOSTROM, D.: Slagging characteristics during combustion of corn stovers with and without kaolin and calcite. Energy and Fuels 2008, 22, (Compendex), 3465-3470.

XIU, M - STEVANOVIC, S. - RAHMAN, M. - POURKHESALIAN, A. - MORAWSKA, L. – THAI, P.: Emissions of particulate matter, carbon monoxide and nitrogen oxides from the residential burning of waste paper briquettes and other fuels, Environmental Research, 2018, In press

ZEVENHOVEN M: Co-Firing in FBC a challenge for fuel characterization and modeling. Proceedings of the international (ASME) conference on fluidized bed combustion, 2003

ZHONGXIN, T. – LAGERKVIST, A.: Phosphorus recovery from the biomass ash: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 2011

3. Normy, Zákony a vyhlášky

STN EN ISO 17225: 2014, Tuhé biopalivá. Špecifikácie a triedy palív

STN EN 14961: 2011, Tuhé biopalivá. Špecifikácie a triedy palív

STN 06 1000:1995, Lokálne spotrebiče pevných, kvapalných a plyných palív. Termíny a definície

STN EN 15270:2009, Horáky na spaľovanie brikiet (peliet) pre malé vykurovacie kotly. Definície, požiadavky, skúšanie a označovanie

STN EN 303-5:2021, Vykurovacie kotly. Časť 5: Vykurovacie kotly na tuhé palivá s menovitým výkonom do 500 kW. Terminológia, požiadavky, skúšanie a označovanie

STN EN ISO 540:2010, Uhlie a koks. Stanovenie tavitelnosti popola

STN EN ISO 18134-1:2015, Tuhé biopalivá. Stanovenie obsahu vlhkosti. Metóda sušením v sušiarňi.

STN EN 15414: 2011, Tuhé alternatívne palivá. Stanovenie obsahu vlhkosti použitím metódy sušenia v sušiarňi.

STN EN ISO 18123: 2015, Tuhé biopalivá. Stanovenie obsahu prchavých látok

STN ISO 562: 2002, Čierne uhlie a koks. Stanovenie prchavých látok

STN EN 15402: 2011, Tuhé alternatívne palivá. Stanovenie obsahu prchavých látok

STN EN ISO 18122: 2015, Tuhé biopalivá. Stanovenie obsahu popola

STN EN ISO 1171: 2003, Tuhé palivá. Stanovenie popola

STN EN 15403: 2011, Tuhé alternatívne palivá. Stanovenie obsahu popola

STN 44 1355: 1993, Tuhé palivá. Nezhorený zvyšok. Stanovenie vodíka a uhlíka

STN EN ISO 18125: 2017, Tuhé biopalivá. Stanovenie výhrevnosti

STN EN 15400: 2011, Tuhé alternatívne palivá. Stanovenie výhrevnosti paliva

STN ISO 1928: 2003, Tuhé palivá. Stanovenie spaľovacieho tepla kalorimetrickou metódou v tlakovej nádobe a výpočet výhrevnosti

STN EN ISO 16948: 2015, Tuhé biopalivá. Stanovenie celkového obsahu uhlíka, vodíka a dusíka

STN EN ISO 16994: 2016, Tuhé biopalivá. Stanovenie celkového obsahu síry a chlóru

STN EN 15407: 2011, Tuhé alternatívne palivá. Metódy stanovenia obsahu uhlíka (C), vodíka (H) a dusíka (N)

STN EN 15408: 2011, Tuhé alternatívne palivá. Metódy stanovenia obsahu síry (S), chlóru (Cl), fluóru (F) a brómu (Br)

STN EN ISO 18847: 2016, Tuhé biopalivá. Stanovenie objemovej hmotnosti peliet

a brikiet

STN EN ISO 17828: 2015, Tuhé biopalivá. Stanovenie sypnej hmotnosti

STN P CEN/TS 15401: 2011, Tuhé alternatívne palivá. Stanovenie sypnej hmotnosti

STN EN ISO 17831: 2015, Tuhé biopalivá. Stanovenie mechanickej odolnosti peliet a brikiet.

STN EN ISO 18846: 2016, Tuhé biopalivá. Stanovenie obsahu jemných častíc v peletách

STN EN 13240: 2002, Spotrebiče na tuhé palivá na vykurovanie obytných priestorov. Požiadavky a skúšobné metódy

STN EN 13284-1: 2018, Ochrana ovzdušia. Stacionárne zdroje znečisťovania. Stanovenie nízkych hmotnostných koncentrácií tuhých znečisťujúcich látok. Časť 1: Manuálna gravimetrická metóda

STN ISO 9096: 2004, Ochrana ovzdušia. Stacionárne zdroje znečisťovania. Manuálne stanovenie hmotnostnej koncentrácie tuhých znečisťujúcich látok

4. Internetové odkazy

www.abeceda-cerpadel.cz/cz/tepelne-cerpadlo-voda-voda

www.azkotel.sk

www.elcore.com

www.emisieonline.sk

www.enviroportal.sk

www.eurokotel.sk/node/6

www.greenprojekt.sk

www.flaga.sk

www.flama.sk

www.herz.sk

www.hexis.com

www.hoval.sk

www.ht-design.sk

www.kotlylokca.sk

www.krbykzp.sk

www.krbypecekominy.sk

www.liatinove-kachle.sk

www.oravakrb.sk

www.ostrovskeho.sk

www.panasonic.com

www.pixabay.com

www.platforma.ekofond.sk

www.plugpower.com

www.polygas.sk

www.protherm.sk

www.shutterstock.com

www.siea.sk/bezplatne-poradenstvo/publikacie-a-prezentacie/ako-vybrat-kondenzacny-kotol/

www.simonsgreenenergy.com

www.tabulky.sk

www.termokomfort.cz/princip-tepelneho-cerpadla.html

www.tzb-info.cz

www.uzviem.blogspot.com

www.vecteezy.com

www.viessmann.com

www.vutbr.cz

www.vse.sk/wps/PA_Minnesota/content/nvse.A4320.A/img/TC-hlbinny-vrt.jpg

www.vytapeni.tzb-info.cz/teplna-cerpadla/8295-vybirame-tepelne-cerpadlo

PRÍLOHA

Vzorový príklad Správy z merania zdroja tepla

Žilinská univerzita v Žiline

**Strojnícka fakulta
Katedra energetickej techniky
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina**

**MERANIE A VYHODNOTENIE PARAMETROV
KRBOVÝCH VLOŽIEK TYPU „ZDROJ TEPLA“**

Objednávateľ:

Zastúpenie:

Zodpovedný riešiteľ:

Riešitelia:

Žilina, august 2022

I. ÚVOD

Pre získanie osvedčenia na výrobu a predaj **krbových vložiek typu:**

ZDROJ TEPLA

firmou Výrobca krbových vložiek s.r.o., Teplá 2, 001 01 Žilina bolo potrebné skúškou verifikovať ich parametre. Uvedené stavebné výrobky patria do zoznamu stavebných výrobkov podľa Prílohy č. 1 Zákona č. 314/2004 do skupiny 10.

Preukazná skúška bola vykonaná v laboratórnych priestoroch Katedry energetickej techniky Strojníckej fakulty Žilinskej univerzity v Žiline podľa platných noriem.

Pre skúšky bol vybraný **typ „ZDROJ TEPLA“ s tepelným výkonom 7-16 KW.**

Experimentálne zariadenie, skúšky a posúdenie sa realizovalo podľa normy STN EN 13 229 „Vstavané spotrebiče na vykurovanie a kozubové vložky na tuhé palivá, Požiadavky a skúšobné metódy“.

Číslovanie článkov a odstavcov, ktoré je uvedené arabskými číslicami zodpovedá členeniu a číslovaníu podľa príslušnej normy.

II. PREDMET ZMLUVY O DIELO

Predmetom zmluvy o dielo je posúdenie parametrov a účinností vyššie uvedeného typu **krbovej vložky „ZDROJ TEPLA“ pre firmu Výrobca krbových vložiek s.r.o., Teplá 2, 001 01 Žilina** metódou preukazovania zhody. Obsahom preukazovania zhody je overovanie vlastností stavebného výrobku vykonaním skúšok predpísaných meraní a ďalších kontrolných úkonov a porovnanie ich výsledkov s ukazovateľmi úžitkových vlastností podľa technických špecifikácií.

Obsahom preukaznej skúšky je:

1. Uskutočnenie merania parametrov vybraného **typu krbovej vložky „ZDROJ TEPLA“** podľa príslušnej STN na skúšobnom stave postavenom v laboratóriu Katedry energetickej techniky s použitým palivom - bukovým drevom.
2. Určenie výhrevnosti paliva podľa platných technických noriem kalorimetrickou metódou.
3. Spracovanie výsledkov nameraných podľa normy STN EN 13229 „Vstavané spotrebiče na vykurovanie a kozubové vložky na tuhé palivá“ a vypracovať protokol o preukaznej skúške v zmysle podmienok schvaľovania TSÚ § 9 Zákona 90 – „O stavebných výrobkoch“ z 10.2. 1998.

III. ÚDAJE O STAVEBNOM VÝROBKU - KRBOVEJ VLOŽKE TYPU „ZDROJ TEPLA“

Meraným výrobkom sú **Krbová vložka typu „ZDROJ TEPLA“**, ktorej konštrukčné i výkonové parametre musia zodpovedať vyššie spomenutej norme.

Výrobca : Výrobca krbových vložiek s.r.o., Teplá 2, 001 01 Žilina

Údaje o stavebnom výrobku :

Krbová vložka typu „ZDROJ TEPLA“ majú nasledovné základné údaje:

- šírka 1329 mm
- hĺbka 564 mm
- výška 1166 mm
- hmotnosť 245 kg
- priemer dymovodu 250 mm
- ťah komína 12 Pa
- tepelný výkon 7 - 16 kW
- palivo určené pre vykurovanie: kusové drevo a drevné brikety

Popis výrobku

Krbová vložka typu „ZDROJ TEPLA“ je určená na vykurovanie domov, chát, chalúp a podobných priestorov so spaľovaním predpísaného paliva. **Krbová vložka typu „ZDROJ TEPLA“** je vyrobená z ocele. Konštrukcia krbových vložiek umožňuje veľmi rýchlu cirkuláciu vzduchu vo vykurovanom priestore. Spaľovací režim je riadený reguláciou prívodu spaľovacieho vzduchu. Fotografia krbových vložiek je na obr.č.1.



Obr.1: Krbová vložka „ZDROJ TEPLA“

IV. HODNOTENIE KRBOVEJ VLOŽKY TYPU „ZDROJ TEPLA“

Hodnotenie krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“ podľa normy STN EN 13229 „Vstavané spotrebiče na vykurovanie a kozubové vložky na tuhé palivo, Požiadavky a skúšobné metódy“

V. BEZPEČNOSŤ

Uzatváracia klapka u spotrebičov bez dvierok

Krbová vložka typu „ZDROJ TEPLA“ má uzatvorené ohnisko.

Teplota priľahlých horľavých materiálov

Výrobca **krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“** vo svojich návodoch na montáž a obsluhu uvádza požadované bezpečné vzdialenosti a požiadavky na úpravu steny.

Krbová vložka typu „ZDROJ TEPLA“ je určená do stavby kozubov. Pri **skúškach krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“** podľa časti prílohy A.4.7 a A.4.9 sa merali teploty podlahy a teploty stien skúšobného kúta. Namerané hodnoty sú uvedené v záznamoch o meraní.

Náradie k obsluhu

Ovládacie časti **krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“** sú kovové a odnímateľné.

Skúška bezpečnej prevádzky pri prirodzenom ťahu

Krbová vložka typu „ZDROJ TEPLA“ nie je spotrebič na drevo s dlhodobou prevádzkou.

Skúška bezpečnej prevádzky z hľadiska úniku spalín a vypadávania rozžeraveného uhlia

Pri prevádzkovaní **krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“** pri skúšobných podmienkach popísaných v prílohe A.4.7 až A.4.9, nenastal škodlivý únik spalín zo spotrebiča do miestnosti ani nevypadávali žeravé uhlíky z priestoru krbovej vložky.

Teplota vo vstavanom zásobníku paliva (iný ako násypka paliva)

Krbová vložka typu „ZDROJ TEPLA“ nemá vstavaný zásobník paliva.

Poistka proti prehriatiu

Krbová vložka typu „ZDROJ TEPLA“ nemá poistku proti prehriatiu.

Pevnosť a tesnosť telesa ohrievača

Krbová vložka typu „ZDROJ TEPLA“ nemá teleso ohrievača.

VI. PREVÁDZKOVÉ VLASTNOSTI

6.1 Ťah komína

6.1.1 Spotrebiče s uzatvoriteľným ohniskom

Krbová vložka typu „ZDROJ TEPLA“ nie je spotrebič s dlhodobou prevádzkou. **Krbová vložka typu „ZDROJ TEPLA“** bola prevádzkovaná pri meraní menovitého výkonu pri ťahu 11,7 Pa, pri meraní minimálneho výkonu 7 Pa a pri meraní odolnosti proti preťaženiu pri ťahu 15,5 Pa.

6.2 Teplota spalín

Pri skúškach **krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“** v súlade s časťou prílohy A.4.7 sa merala a vypočítala priemerná teplota spalín. Teplota spalín sa merala každú minútu počas skúšky. Z týchto troch teplôt sa vypočítala priemerná teplota spalín. Priemerná teplota spalín pri meraní menovitého výkonu je 215,1 °C a pri meraní minimálneho výkonu je 158,2 °C.

6.3 Emisie oxidu uhoľnatého

6.3.1 Emisie oxidu uhoľnatého pri spotrebičoch s uzatvorenými dvierkami

Pri skúškach **krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“** v súlade s časťou prílohy A.4.7 bola meraná koncentrácia oxidu uhoľnatého, ktorá bola prepočítaná na 13 % obsah kyslíka (O₂) v spaliniach. Pri meraní menovitého výkonu **krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“** bola nameraná a prepočítaná priemerná koncentrácia 0,06 %. Pri meraní minimálneho výkonu **krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“** bola nameraná a prepočítaná priemerná koncentrácia 0,38 %. Vid' záznamy o meraní.

6.4 Účinné využitie tepelnej energie

6.4.1 Všeobecne

Pri prevádzkovaní **krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“** bolo použité ako palivo suché bukové drevo.

6.4.2 Účinnosť pri menovitom tepelnom výkone

Pri skúške menovitého výkonu **krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“** v súlade s časťou prílohy A.4.7 bola vypočítaná priemerná účinnosť:

- pri prvej dávke paliva 80,43 %
- pri druhej dávke paliva 80,58 %
- pri tretej dávke paliva 81,48 %

6.5 Intervaly dodávky paliva pri menovitom výkone

Pri skúškach **krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“** v súlade s článkom prílohy A.4.7 bola doba spaľovania pri jednej náplni skúšobného paliva stanovená podľa tabuľky č. 10. Pri meraní menovitého výkonu bola cca. 50 minút.

6.6 Menovitý tepelný výkon

Nameraná priemerná hodnota tepelného výkonu **krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“** v súlade s článkom prílohy A.4.7 bola 16,8kW. Priemerný tepelný výkon do priestoru pri menovitom tepelnom výkone je 16,8 kW.

6.7 Tepelný tok na strane vody

Z krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“ nemá odber tepelného výkonu na strane vody.

6.8 Tepelný tok do priestoru

Priemerná hodnota tepelného výkonu **krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA**, ktorá sa dostáva do priestoru, pri skúške menovitého výkonu je 16,8 kW a pri skúške minimálneho výkonu je 3,0 kW.

6.9 Intervaly dodávky paliva pri minimálnom a zníženom príkone

Pri meraní minimálneho výkonu sa postupovalo podľa článkom prílohy A.4.8. Pri určení intervalov dodávky paliva sa rešpektovala tabuľka 11 STN EN 13 229.

6.10 Znovuobnovenie spaľovacieho procesu

Po uplynutí doby skúšania **krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“** pri minimálnom výkone podľa časti príloha A.4.8 sa spoľahlivo obnovilo viditeľné rozhorenie vrstvy paliva do 2 min.

6.11 Úkony prevádzané obsluhou

Všetky úkony, ktoré prevádzala obsluha počas všetkých skúšok **krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“** včítane plnenia a vyprázdňovania spotrebiča, nastavovania ovládačov a odpopoľňovania boli jednoduché, bezpečné a účinné.

VII. NÁVODY K SPOTREBIČU

Všeobecne

Návod na montáž a obsluhu **krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“** je vypracovaný v slovenskom jazyku a je dodávaný so spotrebičom. Obsahuje popis výrobku, montáž, prevádzku, údržbu a zostavenie spotrebiča.

7.1 Návod na montáž

Návod na montáž **krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“** obsahuje:

- zoznam noriem, ktoré musia byť dodržané pri montáži a prevádzke spotrebiča ;
- typ spotrebiča;
- menovitý tepelný výkon v kW;
- druh použitého paliva;
- tepelný tok do priestoru v kW;
- tepelný tok do vody v kW;
- maximálny prevádzkový tlak v MPa;
- bezpečné vzdialenosti od horľavých materiálov a iné ochranné opatrenia prijaté na ochranu konštrukcie budovy;
- požiadavky na privádzanie spaľovacieho vzduchu;

- požiadavky na prívod spaľovacieho vzduchu;
- hmotnosť spotrebiča v kg;
- požiadavky na najmenší ťah komína pri menovitom tepelnom výkone;
- podmienky pripojenia ku spoločnému komínu;
- teplotu spalín (v °C), pri podmienkach menovitého tepelného výkonu;
- požiadavky na umiestnenie spotrebiča ako zástavby do kozuba;
- požiadavky na umiestnenie spotrebiča na podlahu;
- požiadavky na montáž spotrebiča na mieste použitia;
- pokyny na nutnosť zaistenie primeraného prístupu na čistenie spotrebiča, dymovodu a komína;
- spôsob nastavenia regulátorov teploty.

7.2 Návod k obsluhu

Návod na obsluhu **krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“** obsahuje tieto informácie:

- zoznam noriem, ktoré musia byť dodržané pri obsluhu spotrebiča ;
- zoznam doporučených palív;
- podrobnosti o spôsobe dodávky paliva a odpopľňovaní spotrebiča, intervaly dodávky paliva pri menovitom tepelnom výkone pre doporučené palivá;
- popis pokynov pre bezpečnú a účinnú prevádzku spotrebiča vrátane postupu uvádzania do prevádzky;
- pokyn, že u spotrebiča sa môže používať len vhodné a doporučené palivo a že sa nemôžu používať kvapalné palivá a nemôžu sa spaľovať odpady ;
- o ovládaní regulátorov prívodu vzduchu;
- o správnej prevádzke pri sezónnom používaní a pri zlých ťahových alebo poveternostných podmienkach;
- o nutnosti pravidelnej údržby;
- o spaľovaní pri minimálnom príkone;
- upozornenie, že ohnisko a kryt popolníka musia byť vždy zatvorené, okrem uvádzania do prevádzky, doplňovania paliva a odstraňovania pevných zvyškov spaľovania, aby sa zabránilo unikaniu spalín;
- o nutnosti pravidelného čistenia spotrebiča, dymovodu a komína a nutnosti kontroly akéhokoľvek upchania;
- o zaistení odpovedajúceho privádzania spaľovacieho vzduchu a vzduchu pre bezpečné zavretie spotrebiča v prípade nesprávnej funkcie;
- o zaistení poruchového stavu a postup pre bezpečné uzavretie spotrebiča v prípade nesprávnej funkcie;
- upozornenie, že časti spotrebiča, hlavne jeho vonkajšie povrchy, sú v priebehu prevádzky z hľadiska dotyku horúce a že je tomu treba venovať patričnú pozornosť;
- o spôsobe ochrany proti riziku požiaru v mieste sálania aj mimo oblasť sálania;
- o neoprávnenosti opravy spotrebiča neodborne spôsobilými osobami;
- o použití náhradných dielov doporučených výrobcom;
- o opatreniach, ktoré je potrebné prijať v prípade požiaru v komíne;
- o spôsobilosti pripojenia k spoločnému komínu;
- o spôsobilosti krátkodobej prevádzky

VIII. OZNAČENIE

Krbová vložka typu „ZDROJ TEPLA“ je určená na zabudovanie do kozubov. Z toho dôvodu nie je možné realizovať označenie krbovej vložky na viditeľnom mieste pri konečnom umiestnení spotrebiča. Označenie **krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“** je v návode na montáž a obsluhu, ktorý je dodávaný spolu s krbovou vložkou. Označenie obsahuje nasledovné údaje:

- výrobca : **Výrobca krbových vložiek s.r.o., Teplá 2, 001 01 Žilina**
- typ : **„ZDROJ TEPLA“**
- priemerný menovitý tepelný výkon: **16,8 kW**
- priemerný tepelný tok do priestoru: **16,8 kW**
- priemerný tepelný tok na strane vody: **0 kW**
- norma : **STN EN 13229**
- nameraná koncentrácia CO pri 13 % podiele kyslíka pri menovitom výkone: **0,06 %**
- stanovená účinnosť spotrebiča pri menovitom tepelnom výkone: **80,83 %**
- **„Dodržiavať návod na obsluhu“**
- **“Spotrebič môže byť pripojený na spoločný komín“**
- **“Používať len doporučené palivá“**
- spotrebič je určený: **pre krátkodobú prevádzku**
- **Vstavaný spotrebič EN 13229 – W (ak výrobok obsahuje)**

IX. MERANIE KRBOVEJ VLOŽKY TYPU „ZDROJ TEPLA“

Krbová vložka typu „ZDROJ TEPLA“ bola skúšaná podľa Prílohy A normy STN EN 13229.

8 A.1 SKÚŠOBNÉ PROSTREDIE

A.1.1 Teplota prostredia v miestnosti

Teplota prostredia v skúšobnej miestnosti sa merala Vernonovým teplomerom vo výške 1,2 m od podlahy. Teplomer bol umiestnený mimo dosah priameho sálania. Teplota prostredia bola zaznamenávaná pri každom meraní.

A.1.2 Rýchlosť prúdenia vzduchu

Pri meraní **krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“** v skúšobnej miestnosti bola rýchlosť prúdenia vzduchu menšia ako $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

A.1.3 Vonkajšie tepelné zdroje

Pri meraní **krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“** nebola skúšobná zostava ovplyvňovaná inými zdrojmi tepla. Skúšobná miestnosť je umiestnená mimo priameho slnečného žiarenia.

9 A.2 SKÚŠOBNÁ ZOSTAVA

A.2.1 Všeobecne

Skúšobná zostava bola inštalovaná do skúšobného kúta tak, ako je uvedené v A.2.2. Spotrebič bol uložený na váhu s plošinou, na ktorej sa zisťovala spotreba paliva.

Merací úsek spalín bol vyhotovený v súlade s A.2.3. Bol vybavený prístrojmi na meranie teploty spalín v súlade s A.2.3.2, zloženia spalín v súlade s A.2.3.3 a prevádzkového ťahu v súlade s A.2.3.4.

Hrdlo pre odvod spalín bolo pripojené pomocou neizolovaného komína a izolovaného medzikusu k meraciemu úseku spalín v súlade s A.2.4.

Spaliny boli odvádzané z hornej časti meracieho úseku spalín. Konštantný ťah komína bol zabezpečený ventilátorom pre odvod spalín, ktorý bol regulovaný frekvenčným meničom.

A.2.2 Skúšobný kút

Skúšobný kút pozostával z podlahy, bočnej steny a zadnej steny. Tieto steny boli uložené navzájom na seba kolmo.

Okraje skúšobného kúta presahovali vonkajšie rozmery **krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“** o viac ako 150 mm a horný povrch spotrebiča o viac ako 300 mm.

Podlaha a steny skúšobného kúta boli realizované z materiálu tak, ako je uvedené na obrázku č. A.5 STN EN 13229.

Teploty povrchu podlahy a teploty stien skúšobného kúta sa merali každú minútu počas všetkých meraní. Teploty sa merali termočlámkami typu K (NiCr-Ni). Umiestnenie termočlánkov je v súlade s obr. č. A.6 a obr. č. A.7 STN EN 13229. Namerané hodnoty sú uvedené v zázname o meraní.

A.2.3 Merací úsek spalín

A.2.3.1 Všeobecné usporiadanie

Konštrukcia meracieho úseku spalín bola v súlade s obr. č. A.8.

Merací úsek spalín bol opatrený prostriedkami na zisťovanie teploty a zloženia spalín a tiež prostriedkami na meranie statického tlaku tak, ako je uvedené v časti prílohy A.2.3.2 až A.2.3.4.

Merací úsek spalín bol obložený izoláciou z minerálneho vlákna o hrúbke 40 mm. Rozmery meracieho úseku spalín odpovedajú obrázku č. A.9.

A.2.3.2 Meranie teploty spalín

Teplota spalín sa merala termočlámkami typu K (NiCr-Ni), ktoré boli umiestnené v súlade s článkom prílohy A.2.3.2 STN EN 13240.

A.2.3.3 Odber vzoriek spalín

Odber vzoriek spalín do analyzátoru spalín bol realizovaný v súlade s článkom prílohy A.2.3.3. STN EN 13240.

A.2.3.4 Meranie statického tlaku

Meranie statického tlaku bolo realizované elektronickým prevodníkom pripojeným silikónovou hadičkou na rúrku o menovitom priemere 6 mm.

A.2.4 Pripojenie spotrebiča k meraciemu úseku spalín

Pripojenie **krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“** k meraciemu úseku spalín bolo realizované v súlade s článkom prílohy A.2.4. STN EN 13229.

A.3 Meracie prístroje

Pri skúškach **krbových vložiek typu „ZDROJ TEPLA“** boli použité nasledujúce skúšobné zariadenia a prístroje:

- elektronické stopky (0.01 s)
- váha na určenie spotreby paliva (± 0.05 kg)
- združený merací prístroj na meranie rýchlosti prúdenia, vlhkosti vzduchu a teploty THERM 2285-2 s:
 - anemometrickou sondou 0.30-20.00 m/s, ± 0.01 m/s,
 - sondou vlhkovou 5.0 -98.0 % r.H, ± 0.1 %
 - sondou teplotnou NiCr-Ni -200.0-1370.0 °C, ± 0.1 °C
- teplomer Thermophil typ 5660 s termočlánkom NiCr-Ni pre meranie teploty spalín -100 - 1300 °C , $\pm 0,1$ °C
- meracia ústredňa THERM 5690-2
- analyzačný systém MULTIFID 14 - ABB
- zariadenie na meranie TZL – TECORA
- zariadenie na meranie OGC - ABB
- počítač PC/AT
- tlakový prevodník THERM

A.4 SKÚŠOBNÉ POSTUPY

A.4.1 Inštalácia spotrebiča

Krbová vložka typu „ZDROJ TEPLA“ bola nainštalovaná do skúšobnej zostavy v súlade s článkom prílohy A.4.1 STN EN 13229

A.4.2 Výpočet požadovanej dávky paliva

Požadovaná hmotnosť dávky paliva pre jednotlivé skúšky **krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“** sa vypočítala podľa vzťahu:

$$B_p = \frac{360\,000 \times P_n \times t_b}{H_u \times \eta} \quad , \quad (1)$$

kde B_p - je hmotnosť dodaného paliva v kg ;

H_u - výhrevnosť skúšobného paliva v kJ.kg⁻¹;

η - najmenšia účinnosť;

P_n - menovitý tepelný výkon v kW;

t_b - najkratší interval dodávky paliva alebo doba horenia stanovená výrobcom v hod.

Výhrevnosť paliva sa uvažovala 15 445 kJ/kg

A.4.3 Dopĺňovanie paliva a odpopôľňovanie ohniska

Dopĺňovanie paliva a odpopôľňovanie ohniska bolo realizované v súlade s pokynmi výrobcu spotrebiča.

A.4.4 Straty citeľným teplom spalín

A.4.4.1 Všeobecne

Straty citeľným teplom spalín **krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“** sa vypočítali zo zloženia a teploty spalín podľa časti prílohy A.6 STN EN 13229.

A.4.4.2 Zloženie spalín

Objemová koncentrácia spalín CO₂, O₂ a CO sa merali v 20 sekundových intervaloch, ktoré sa spriemerovali po 1 minúte. Zloženie spalín sa určovalo pri meraní menovitého výkonu, minimálneho výkonu a preťaženia. Vid'. záznamy o meraní.

A.4.4.3 Teplota okolia v miestnosti a teplota spalín

Teplota miestnosti a teplota spalín pri skúškach menovitého výkonu, minimálneho výkonu a preťaženia boli merané v 20 sekundových intervaloch, ktoré sa spriemerovali po 1 minúte. Z nameraných teplôt miestnosti a teplôt spalín sa vypočítala priemerná teplota. Priemerná teplota okolia pri skúške menovitého tepelného výkonu bola 27,5 °C, pri skúške minimálneho

tepelného výkonu 24,0 °C a pri meraní preťaženia 24,9 °C. Priemerná teplota spalín pri skúške menovitého tepelného výkonu bola 219 °C, pri skúške minimálneho tepelného výkonu 158,2 °C a pri meraní preťaženia 223,9 °C. Vid'. záznamy o meraní.

A.4.6 Straty mechanickým nedopalom

Na základe použitia skúšobného paliva bukového dreva, strata mechanickým nedopalom pevných zvyškov spaľovania bola stanovená ako 0,5 % účinnosti.

A.4.7 Skúška prevádzkových vlastností pri menovitom tepelnom výkone

A.4.7.1 Všeobecne

Skúška prevádzkových vlastností **krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“** pri menovitom tepelnom výkone pozostávala z :

- uvedenia do prevádzky pozostávajúcej z jednej doby skúšania ;
- doby skúšania.

Dĺžka doby pred skúšaním bola jedna doba skúšania, ktorou sa zaistilo vytvorenie bežných prevádzkových podmienok a spálenie náplne po základnú vrstvu paliva.

A.4.7.2 Uvedenie do prevádzky a doba pred skúšaním

Prevádzkový ťah pri skúške menovitého tepelného výkonu sa udržiaval na hodnote 12 Pa \pm 2 Pa.

Uvedenie do prevádzky a doba pred skúšaním bolo v súlade s článkom prílohy A.4.7.2 STN 13 229.

A.4.7.3 Doba skúšania

Doba skúšania bola cca 1 hod. Meranie menovitého výkonu pozostávalo z troch dôb skúšania. Počas skúšky sa zaznamenávala teplota a zloženie spalín, teplota podlahy a stien skúšobného kúta, teplota miestnosti, prevádzkový ťah komína a úbytok hmotnosti paliva v 1 min intervaloch. Merané a vyhodnotené parametre pri skúške menovitého výkonu sú uvedené v zázname o meraní. Vyhodnotenie parametrov krbovej vložky je na základe časti prílohy A6 normy STN EN 13 229.

A.4.8 Skúška pri minimálnom príkone, zníženom príkone a skúška znovuoobnovenia spaľovacieho procesu

A.4.8.1 Všeobecne

Skúška minimálneho výkonu nasledovala po skúške menovitého výkonu po vykonaní

odpopoľňenia ohniska.

A.4.8.2 Doba pred skúšaním

Prevádzkový ťah pri skúške minimálneho tepelného výkonu sa udržiaval na hodnote 6 ± 1 Pa. Hmotnostný tok paliva pri skúške minimálneho výkonu bol stanovený ako 25 % hmotnostného toku paliva nameraného pri menovitom tepelnom výkone.

A.4.8.3 Doba skúšania

Doba skúšania bola daná vyhorením danej dávky paliva. Počas skúšky sa zaznamenávala teplota a zloženie spalín, teplota podlahy a stien skúšobného kúta, teplota miestnosti, prevádzkový ťah komína a úbytok hmotnosti paliva v 1 min intervaloch. Merané a vyhodnotené parametre pri skúške minimálneho výkonu sú uvedené v zázname o meraní. Vyhodnotenie parametrov krbovej vložky je na základe časti prílohy A6 normy STN EN 13 229.

A.4.8.4 Doba skúšania znovuoobnovenia spaľovacieho procesu

Na konci skúšky minimálneho výkonu sa regulátory **krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“** nastavili tak, aby sa dosiahol menovitý tepelný výkon. Prevádzkový ťah sa nastavil tak, aby statický tlak v meracom úseku spalín bol nastavený na 10 ± 2 Pa. Vykonalo sa odpopoľňenie ohniska a doplnila sa dávka paliva odpovedajúca menovitému tepelnému výkonu. Obnovenie spaľovacieho procesu bolo do 2 min.

A.4.9 Skúšky bezpečnej prevádzky

A.4.9.1 Skúška odolnosti proti tepelnému preťaženiu spotrebičov spaľujúcich drevo a spotrebičov spaľujúcich viac druhov paliva

A.4.9.1.1 Všeobecne

Regulátory **krbovej vložky typu „ZDROJ TEPLA“** boli počas skúšky nastavené do polohy umožňujúcej dosiahnutie najväčšieho tepelného výkonu.

Skúšobným palivom bolo bukové drevo s obsahom vlhkosti 12 ± 3 %.

Dĺžka dreva bola taká, aby presahovala dĺžku roštu tak, aby rošt bol celkom pokrytý skúšobným palivom.

Skúšobná dávka paliva sa vypočítala podľa nasledujúceho vzťahu :

$$B_p = c \times S_c / H_u, \quad (2)$$

kde B_p je požadovaná hmotnosť dávky paliva v kg; S_c plocha povrchu podlahy ohniska v m^2 ; H_u výhrevnosť skúšobného paliva v $MJ.kg^{-1}$; c 400 $MJ.m^{-2}$.

Táto skúška sa realizovala s uzatvorenými nakladacími dvierkami.

Do spotrebiča sa doplňovalo palivo a prevádzkovalo po dobu pokiaľ sa nedosiahlo ustálenej teploty skúšobného kúta.

A.4.9.1.2 Uvedenie do prevádzky a doba skúšania

Prevádzkový ťah pri skúške preťaženia sa udržiaval na hodnote 15 +2 Pa. Počas skúšky sa zaznamenávala teplota a zloženie spalín, teplota podlahy a stien skúšobného kúta, teplota miestnosti, prevádzkový ťah komína a úbytok hmotnosti paliva v 1 min intervaloch. Merané a vyhodnotené parametre merania skúšky preťaženia sú uvedené v zázname o meraní.

A.5 VÝSLEDKY SKÚŠOK

1. Meranie výhrevnosti skúšobného paliva

Pri skúškach **krbových vložiek typu „ZDROJ TEPLA“** bolo použité bukové drevo ako palivo. Pred tepelnými skúškami **krbových vložiek typu „ZDROJ TEPLA“** sa uskutočnil rozbor paliva a určila jeho výhrevnosť.

Výhrevnosť skúšobného paliva sa určovala na základe jeho spaľovacieho tepla kalorimetrickou metódou podľa STN ISO 1928 “Tuhé palivá. Stanovenie spaľovacieho tepla kalorimetrickou metódou v tlakovej nádobe a výpočet výhrevnosti“.

Na kalibráciu kalorimetra boli použité : kyselina benzeová a kyselina jantárová. Kalibračné merania kalorimetra sú uvedené v zázname o skúške č. 1. Z kalibračných meraní bola určená stredná hodnota tepelnej kapacity kalorimetra KL -3 , ktorá je $C = 15\,358 \text{ J/K}$.

Určenie obsahu celkovej vody v analytickej vzorke paliva sa určovalo podľa STN 44 1377 “Tuhé palivá. Stanovenie obsahu vody“. Priemerná vlhkosť dreva bola 12.24 %.

V zázname o meraní č.1 je uvedené meranie spalného tepla a výhrevnosti použitého bukového dreva. Na základe vlhkosti dreva a kapacity kalorimetra bola určená jeho výhrevnosť. Z troch meraní bola určená jeho priemerná výhrevnosť $15\,445 \text{ kJ.kg}^{-1}$.

Použité prístroje :

- normalizovaný platínový odporový snímač PT100 Ohmov, DIN-IEC 751 (lepšie než $0,1^\circ\text{C}$ pre $\Delta T < ^\circ\text{C}$)
- termočlánky NiCr-Ni, $\pm 0,1^\circ\text{C}$
- Automatický kalorimeter LECO
- počítač PC/AT

2. Určenie priemerných účinností, tepelných výkonov, priemernej objemovej koncentrácie CO krbových vložiek typu „ZDROJ TEPLA “

2.1. Skúška menovitého výkonu krbových vložiek typu „ZDROJ TEPLA “.

	1.nákladka	2.nákladka	3.nákladka	Priemer	
Palivo:	bukové drevo				
Výhrevnosť paliva:	15 445				[kJ/kg]
Množstvo paliva:	4.0	4.1	4.0	4.0	[kg]
Tepelný výkon krbovej vložky:	16.7	16.7	16.9	16.8	[kW]
Účinnosť krbových kachlí:	80.43	80.58	81.48	80.83	[%]
Doba trvania skúšky:	50	50	50	50.0	[min]
Priemerná koncentrácia CO pri 13 % O ₂ :	0.04	0.09	0.05	0.06	[%]
Priemerná objemová koncentrácia CO pri 13 % O ₂ :	501	1066	568	712	[mg.m ⁻³]
Priemerná objemová koncentrácia CO :	336	714	381	477	[mg.MJ ⁻¹]
Priemerná objemová koncentrácia NO _x pri 13 % O ₂ :	74	59	67	67	[mg.m ⁻³]
Priemerná objemová koncentrácia NO _x :	50	40	45	45	[mg.MJ ⁻¹]
Priemerná objemová koncentrácia OGC pri 13 % O ₂ :	7	14	8	9	[mg.m ⁻³]
Priemerná objemová koncentrácia OGC:	4	9	5	6	[mg.m ⁻³]
Priemerná objemová koncentrácia TZL pri 13 % O ₂ :	23	27	-	25	[mg.m ⁻³]
Priemerná objemová koncentrácia TZL :	15	18	-	17	[mg.MJ ⁻¹]
Priemerná teplota spalín:	225.1	215.4	216.6	219.0	[°C]
Hmotnostný tok suchých spalín	15.7	16.6	15.1	15.8	[g.s ⁻¹]
Priemerná teplota skúšobnej miestnosti:	27.4	28.0	27.1	27.5	[°C]
Teplota podlahy (tpB7, tpC8, tpD8, tpE9):	33.7	34.8	34.2	34.3	[°C]
Teplota bočnej steny (tpH4, tpG6, tpJ6, tpI7, tpK8):	39.4	41.0	40.3	40.2	[°C]
Teplota zadnej steny (tpK3, tpJ4, tpK6, tpL8, tpI9):	39.4	40.5	39.2	39.7	[°C]
Maximálna teplota podlahy:	37.8				[°C]
Maximálna teplota bočnej steny:	42.7				[°C]
Maximálna teplota zadnej steny:	42.8				[°C]

2.2. Skúška minimálneho výkonu krbových vložiek typu „ZDROJ TEPLA “.

	1.nákladka	2.nákladka	Priemer	
Palivo:	bukové drevo			
Výhrevnosť paliva:	15 445			[kJ/kg]
Množstvo paliva:	%	57.00	57.00	[kg]
Tepelný výkon krbovej vložky:	2.9	3.1	3.0	[kW]
Tepelný výkon krbovej vložky do priestoru:	2.9	3.1	3.0	[kW]
Účinnosť krbových kachlí:	46.50	49.19	47.84	[%]
Doba trvania skúšky:	%	0	0	[min]
Priemerná koncentrácia CO pri 13 % O ₂ :	0.42	0.34	0.38	[%]
Priemerná objemová koncentrácia CO pri 13 % O ₂ :	5290	4289	4789	[mg.m ⁻³]
Priemerná objemová koncentrácia NO _x pri 13 % O ₂ :	28	33	31	[mg.m ⁻³]
Priemerná objemová koncentrácia OGC pri 13 % O ₂ :	52	40	46	[mg.m ⁻³]
Priemerná teplota spalin:	162.8	153.6	158.2	[°C]
Priemerná teplota skúšobnej miestnosti:	23.6	24.3	24.0	[°C]
Teplota podlahy (tpC8, tpD8, tpE9, tpH4):	22.9	27.1	25.0	[°C]
Teplota bočnej steny (tpH4, tpG6, tpJ6, tpI7, tpK8):	25.8	35.5	30.6	[°C]
Teplota zadnej steny (tpK3, tpJ4, tpK6, tpL8, tpI9):	25.2	36.6	30.9	[°C]
Maximálna teplota podlahy:	31.9			[°C]
Maximálna teplota bočnej steny:	40.0			[°C]
Maximálna teplota zadnej steny:	45.2			[°C]

3. Najvyššia dosiahnutá teplota skúšobného kúta pri menovitom výkone

Maximálna teplota podlahy:	37.8	[°C]
Maximálna teplota bočnej steny:	42.7	[°C]
Maximálna teplota zadnej steny:	42.8	[°C]

4. Najvyššia dosiahnutá teplota skúšobného kúta pri zníženom výkone

Maximálna teplota podlahy:	27,8	[°C]
Maximálna teplota bočnej steny:	43,7	[°C]
Maximálna teplota zadnej steny:	48,0	[°C]

5. Najvyššia dosiahnutá teplota skúšobného kúta pri pret'ažení

Maximálna teplota podlahy:	45.6	[°C]
Maximálna teplota bočnej steny:	49.5	[°C]
Maximálna teplota zadnej steny:	49.1	[°C]

6. Hmotnostný tok suchých spalín pri menovitom výkone

Hmotnostný tok suchých spalín: 15,97 g.s⁻¹

7. Hmotnostný tok suchých spalín pri minimálnom výkone

Hmotnostný tok suchých spalín: 12,61 g.s⁻¹

8. Znovuobnovenie spaľovacieho procesu po minimálnom výkone.

Čas obnovenia spaľovacieho procesu: 2 min

9. Návod výrobcu pre spotrebič

Návod výrobcu spĺňa požiadavky uvedené v kapitole 7.

10. Označenie spotrebiča

Označenie spotrebiča spĺňa požiadavky uvedené v kapitole 8.

VI. ZÁVER

Na **tepl vzdušných kachliach typu „ZDROJ TEPLA“** boli uskutočnené merania v rozsahu dohodnutom s objednávateľom podľa STN EN 13 229.

Počas meraní nedošlo k deštrukcii žiadnej časti krbových vložiek. Počas skúšok bol meraný hmotnostný tok paliva a ďalšie parametre potrebné k výpočtu výkonu a účinnosti nepriamou metódou



INTERREG V-A
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA

SPOLOČNE BEZ HRANÍC

doc. Ing. Michal Holubčík, PhD.

prof. Ing. Radovan Nosek, PhD.

Ing. Patrik Nemeč, PhD.

INOVATÍVNE RIEŠENIA PRE ZDROJE TEPLA

Vydavateľ: EQUILIBRIA, s.r.o.

Tlač: EQUILIBRIA, s.r.o.

150 strán

prvé vydanie, náklad 300 výtlačkov

11,4 AH

ISBN 978-80-8143-316-0

Táto publikácia vznikla vďaka podpore projektu „**Inovace pro zdroje energie**“ (INOZE) č. 304011Y352, ktorý je realizovaný v rámci Operačného programu INTERREG V-A Slovenská republika – Česká republika.

Za odbornú, jazykovú a technickú úroveň publikácie zodpovedajú autori. Uvedené informácie nie sú stanoviskom Európskej únie.