



**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Výzkumné energetické centrum**

Postupy správného topení

**Ing. Jan Koloničný, Ph.D.
Mgr. Veronika Bogoczová
Ing. Jiří Horák, Ph.D.**

V rámci projektu

„Podpora lokálního vytápění biomasou“

Tento projekt byl vybrán v rámci Operačního programu přeshraniční spolupráce Slovenská republika – Česká republika, který je spolufinancován z Evropského fondu pro regionální rozvoj

Autoři: Ing. Jan Koloničný, Ph.D.
Mgr. Veronika Bogoczová
Ing. Jiří Horák, Ph.D.

Recenzenti: prof. Ing. Jozef Jandačka, Ph.D.
doc. Ing. Marian Mikulík, Ph.D.

Ostrava 2010

ISBN 978-80-248-2255-6

Obsah

Seznam použitých zkratek	5
Úvod	8
1 Paliva	10
1.1 Přehled druhů paliv	12
1.1.1 Tuhá paliva	13
1.1.2 Plynná paliva	20
1.1.3 Kapalná paliva	22
1.1.4 Elektrická energie	23
1.1.5 Porovnání jednotlivých druhů paliv	25
2 Spalovací zařízení	26
2.1 Kamna a sporáky	26
2.2 Krby a krbová kamna	28
2.3 Kachlová kamna	30
2.4 Kotle pro ústřední vytápění	32
2.4.1 Plynové kotle	33
2.4.2 Kotle na tuhá paliva s pevným roštem	33
2.4.3 Automatické kotle na tuhá paliva	35
2.4.4 Kotle používající dřevo	40
2.4.5 Kotle na kapalná paliva	44
3 Emise znečišťujících látek z malých zdrojů na vytápění	46
3.1 Vývoj emisí znečišťujících látek z malých zdrojů vytápění	46
3.2 Látky znečišťující ovzduší	48
3.3 Tuhé znečišťující látky	50
3.4 Oxidy síry	51
3.5 Oxidy dusíku	52
3.6 Oxid uhelnatý	53
3.7 Organické polutanty	54
3.8 Oxid uhličitý a skleníkový efekt	55
3.9 Zdravotní nebezpečí jednotlivých znečišťujících látek	57
4 Proč správně topit v malých zdrojích na vytápění	61
4.1 Ekologické dopady	61
4.2 Účinnost teplovodních kotlů	70
4.2.1 Účinnost spalování	72

4.2.2	Porovnání účinnosti malých zdrojů tepla	72
4.3	Ekonomika	73
4.4	Nejčastější chyby, trendy a doporučení při topení	78
4.4.1	Nižší teplota spalování	79
4.4.2	Kombinování malých zdrojů tepla	80
4.4.3	Vytápění kombinované s řízením větrání s využitím rekuperace 81	
4.4.4	Nové rozvody systému vytápění pro nový zdroj?	83
4.4.5	Jak udržovat plynový kotel.....	83
4.4.6	Provozování teplovodních kotlů na tuhá paliva	83
4.4.7	Co s předimenzovaným kotlem po zateplení domu?.....	85
4.4.8	Jak odstranit z kotle dehet?.....	85
4.4.9	Jaké palivo zvolit pro kamna a krbové vložky	86
4.4.10	Udrží dřevěné brikety oheň po několik hodin?	87
4.4.11	Akumulační kachlová kamna nebo kachlový sporák?	87
4.4.12	Vlastnosti otevřeného teplovzdušného systému	88
4.4.13	Komíny a kouřovody	89
4.5	Legislativní požadavky na malé spalovací zdroje.....	92
4.5.1	Zákon o ochraně ovzduší.....	92
4.5.2	Povinnosti provozovatelů malých stacionárních zdrojů	95
4.5.3	Kontrola účinnosti spalování.....	96
4.5.4	Kontrola spalinových cest	97
5	Moderní trendy ve vytápění.....	99
5.1	Požadavky na výkon zařízení a moderní domy.....	103
6	Stanovení množství emisí znečišťujících látek a účinnosti zařízení.....	105
6.1	Metodiky stanovení údajů o emisích znečišťujících látek	105
6.2	Emisní faktory používané pro bilanci	108
6.3	Stanovení koncentrace oxidu uhelnatého	112
6.4	Stanovení účinnosti a komínové ztráty	116
6.5	Stanovení emisí škodlivin z vytápění rodinného domu	119
7	Závěr	121
	Literatura	122
	Seznam obrázků.....	128
	Seznam tabulek	129

Seznam použitých zkratek

Ap	obsah popela v původním vzorku tuhých paliv
As	arsen
Cd	kadmium
C _x H _y	uhlovodíky
CO	oxid uhelnatý
CO ₂	oxid uhličitý
Cr	chrom
Cu	měď
ČEA	Česká energetická agentura
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČSÚ	Český statistický ústav
ČUTŘ	tříděné černé uhlí
DDT	dichlordifenyltrichlormethylmethan
ELTO	extra lehký topný olej
H ₂ S	sulfan
H ₂ SO ₄	kyselina siřičitá
HCB	hexachlorbenzen
HCl	kyselina chlorovodíková
HCN	kyanovodík
Hg	rtuť
HUTŘ	tříděné hnědé uhlí
LPG	Liquefied Petroleum Gas, zkapalněný ropný plyn
LTO	lehký topný olej

NH ₃	amoniak
Ni	nikl
NM VOC	neethanové těkavé organické sloučeniny
NO _x	oxidy dusíku
NT	nízký tarif
PAH, PAU	polycyklické aromatické uhlovodíky
Pb	olovo
PB	propan-butan
PCB	polychlorované bifenyly
PCDD/F	polychlorované dibenzo-p-dioxiny a dibenzofurany
PCP	fenylcyklidin
PM ₁₀	frakce tuhých znečišťujících látek menší než 10 μm
PM _{2,5}	frakce tuhých znečišťujících látek menší než 2,5 μm
POPs	perzistentní organické polutanty
REZZO	Registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší
SCCP	chlorované parafíny s krátkým řetězcem
Se	selen
SLBD	sčítání lidu, bytů a domů
SO ₂	oxid siřičitý
SO ₃	oxid sírový
Sp	obsah síry v původním vzorku paliva
SVOC	polotěkavé organické látky
TE	tuhé emise
TEQ	toxický ekvivalent
TSP	celkové suspendované částice

TZL	tuhé znečišťující látky
V ^{daf}	průměrný obsah prchavé hořlaviny
VOC	těkavé organické látky
VT	vysoký tarif
Zn	zinek
ZP	zemní plyn

Úvod

Teplo a tepelná pohoda jsou jednou ze základních potřeb člověka. V podmínkách střední Evropy je topení nedílnou součástí lidského života, ať se jedná o život ve městě či na vesnici. Je však důležité se zamyslet, co by opravdu tepelná pohoda měla znamenat. Opravdu potřebujeme obydlí vytápět na 26 °C? Je to jen o tom, kolik nás to bude stát? Určitě ne, neboť souvisejícím dopadem je úspora paliva, jehož zásoby nejsou neomezené, a snížení množství produkováných emisí. Pokud však topíme (myšleno příkládáme) nesprávným způsobem, pak teoreticky můžeme i část paliva uspořit, ale množství vyprodukovaných škodlivých emisí může být několikanásobně větší než podíl nespotebovaného paliva.

Na rozdíl od průmyslu, energetiky, dopravy apod. je však oblast malých zdrojů z hlediska legislativních opatření pro ochranu ovzduší zatím ošetřena jen okrajově. Kotle umístěné v rodinných domech musí v této chvíli splnit jen parametry uvedené v příslušných normách, které platí ve chvíli jejich výroby a prodeje. Následný provoz již není jakkoli regulován. Jelikož se zvyšuje počet problémů s čistotou ovzduší v místech, kde mají malé zdroje dominantní podíl na lokálním znečištění ovzduší, jsou vyvíjeny čím dál silnější tlaky na zavedení nějaké formy kontroly kotlů, umístěných v rodinných domech, i během jejich provozu. Díky aktuálně platným předpisům na ochranu osobního vlastnictví a komplikovanosti zavedení kontroly v obydlích občanů však zatím nebyly žádné legislativní prvky zavedeny. Nabízí se otázka: Není lepší odpovědným přístupem a obecnou informovaností dosáhnout toho, že by všechny malé zdroje byly provozovány tak, aby množství vznikajících emisí bylo minimalizováno? Poté by nebylo nutné aplikovat legislativní nástroje, které pro uživatele budou znamenat mj. další pravidelné výdaje.

Je nutné taktéž říci, že v případě vytápění rodinných domů je žádoucí použít kotel s vysokou účinností, nízkými emisemi škodlivých látek, ten správně provozovat, ale jako prvotní musí být snížení tepelných ztrát domů a vytápět jen tehdy, kdy je potřeba a nepřetápět. Uvedené prvotní investice jsou díky zlepšující se ekonomické situaci a dotacím „Zelená úsporám“ stále rozšířenější, což je jen dobře. Zaměřme se nyní na další provoz a jeho kvalitu danou samotným spalovacím nebo zplyňovacím zařízením, palivem, dovednostmi, znalostmi a zvyklostmi obsluhy.

Způsobů topení a paliv je několikero. V podstatě záleží, jaký komfort při topení požadujeme, jaký máme požadavek na úroveň ekologie provozu, kolik jsme ochotni investovat, jaké si představujeme provozní náklady a pracnost nakládání s palivem. Na základě tohoto rozhodnutí volíme daný způsob vytápění obydlí. Biomasa se řadí k nejpřirozenějšímu zdroji tepla a slouží lidstvu již po tisíciletí. Jednou z podmínek pro využití biomasy je co nejsnadnější a nejlevnější doprava

paliva. Z toho plyne, že topení biomasou bude optimálním řešením všude tam, kde je v blízkém okolí možnost získání vhodného paliva, ať v přírodní podobě nebo již v upravené. Topení uhlím patří k běžnému v mnoha domácnostech a s rozvojem spalovacích zařízení se zvyšuje komfort vytápění a obsluhy zařízení, účinnost a snižuje se množství emisí. Zemní plyn se pak bezpochyby řadí k nejkomfortnějšímu způsobu vytápění zároveň s nejlepšími parametry ve všech oblastech.

Tato příručka se věnuje způsobům správného topení, čemu se vyvarovat a jak dodržovat správné postupy, aby proces hoření probíhal tím neoptimálnějším způsobem. Publikace byla vytvořena v rámci projektu Podpora lokálního vytápění biomasou, který je řešen díky spolufinancování ze strukturálních fondů Evropské územní spolupráce, program Přeshraniční spolupráce Slovenská republika - Česká republika 2007 - 2013.

V úvodu se příručka zabývá přehledem druhů paliv a spalovacích zařízení. Neobsáhlejší části se věnují ekologickým dopadům topení v malých zdrojích, postupům správného topení, moderním trendům ve vytápění. V závěru je stanovení množství emisí škodlivých látek vznikajících při spalování.

1 Paliva

Zcela dominantním zdrojem energie jsou paliva. Zhruba 85 % světové spotřeby energie se získává spalováním různých druhů paliv, zbytek poskytuje jaderná energetika, vodní energie a obnovitelné zdroje, z nichž opět asi 80 % má původ ve spalování biomasy a odpadů. Spalování paliv je tedy převládajícím způsobem výroby elektřiny a tepla a každý spalovací proces produkuje celou řadu odpadních látek, plyných i tuhých, z nichž mnohé jsou považovány za škodliviny.

Podíváme-li se blíže na složení spalin, zjistíme, že je určeno druhem a složením použitého paliva. Při spalování vodíku, což je krásná vize budoucnosti, bude produktem spalování pouze voda. Jestliže použijeme jako palivo metan nebo jiné uhlovodíky, které tvoří základ zemního plynu a kapalných paliv, budou spaliny obsahovat vodu (ze spáleného vodíku) a oxid uhličitý (ze spáleného uhlíku). A podobně tomu bude při spalování tuhých paliv, tj. uhlí a dřeva, jejichž hlavními hořlavými složkami jsou uhlík a vodík [36].

Jenže žádné přírodní palivo neobsahuje pouze uhlík a vodík a každé z nich obsahuje další látky. Těžený zemní plyn obsahuje například určité množství sirovodíku, jehož spálením vznikne oxid siřičitý, tedy přísně sledovaná škodlivina. Proto se surový zemní plyn čistí rovnou v místě těžby a přepravuje se již vyčištěný s minimálním (a garantovaným) obsahem síry. Síra je rovněž přirozenou součástí ropy a při jejím zpracování přechází v různé míře do konečných produktů [28]. Většina jí skončí v mazutu, ale najdeme ji také v motorové naftě a ve velmi malém množství i v benzínu. Jde tedy o to, v jaké míře je palivo znečištěno dalšími látkami. Síra je uvedena jako příklad.

Nejhůře je na tom uhlí. Je doprovázeno popelovinou, která může mít velmi proměnlivé složení podle druhu a těžební lokality [14]. Všechny tyto doprovodné látky procházejí při spalování různými fyzikálními a chemickými procesy, přecházejí do spalin, nebo popela a řada z nich je považována za škodliviny. Jejich množství, produkované při spalování, pak závisí zejména na původním obsahu v palivu.

K hojně užívaným tuhým palivům patří také dřevo, případně obecně biomasa. Její složení je víceméně konstantní, s výjimkou obsahu vody, a byť popelovina obsahuje rovněž nejrůznější látky, podobně jako uhlí, je její podíl velice malý a nepředstavuje větší problémy [6].

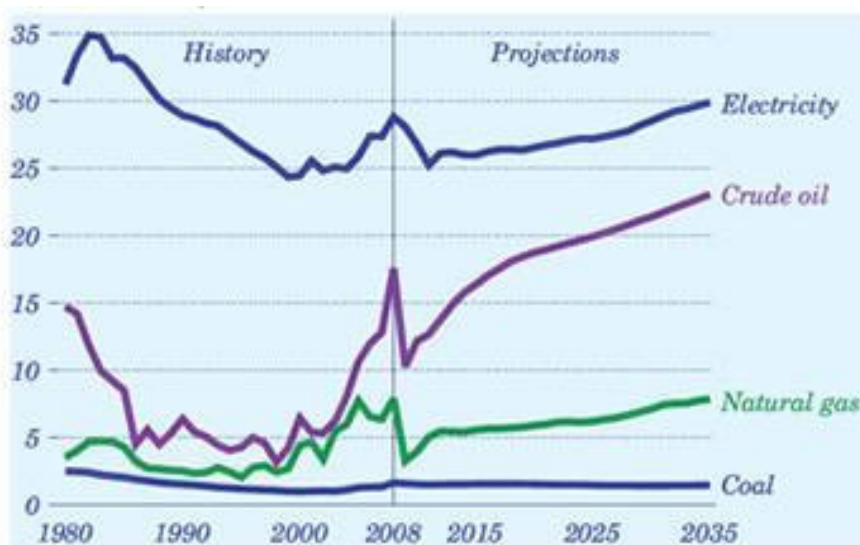
Popsaná stručná charakteristika nejběžněji používaných paliv ukazuje, že existují veliké rozdíly jejich složení a skupenství a to přirozeně také znamená, že také existují velké rozdíly ve způsobu jejich spalování. Je jistě snazší spalovat zemní plyn, než vysokopopelnaté hnědé uhlí. A logicky také platí, že

energetická hodnota zemního plynu bude vyšší, než hnědého uhlí, které obsahuje navíc popelovinu a vodu.

Energetická hodnota paliva se vyjadřuje výhřevností, která udává, kolik chemicky vázané energie je obsaženo v hmotnostní jednotce paliva. Nejčastěji se udává v MJ (megajoule) na kilogram – MJ/kg. Protože by bylo nepraktické udávat množství plynu v kilogramech, používá se u plyných paliv jednotky MJ/m³ a aby to nebylo tak jednoduché, byla u nás zavedena další jednotka a to kWh/m³. Pro běžného uživatele není jednoduché se ve všech těchto jednotkách orientovat, navíc jej zajímá zejména další, dosud nejmenovaný parametr, kterým je cena.

Bylo by jistě dokonalé, kdyby se palivo prodávalo na megajoule, protože když si kupuji palivo, kupuji si vlastně energii. Jenže množství uhlí se měří na váze na kilogramy, množství plynu plynoměrem na krychlové metry, množství benzínu na litry atd. Rovněž s cenou dřeva to není jednoduché, protože množství dřeva sice lze udávat v kilogramech, ale častěji se udává v krychlových metrech, anebo v prostorových metrech. Nezbyvá tedy než zavedený systém zvládnout a dobře se v něm orientovat. Existuje jistota, že prodávající bude chtít prodat co nejdraž a zákazník koupit co nejlevněji. Je to v jejich individuálním zájmu.

Další významnou jistotou je trvalý růst ceny paliv. Tento nepotěšitelný fakt je dán zejména tím, že nejdostupnější a nejsnáze vytěžitelné zásoby se postupně vyčerpávají a rostou náklady na těžbu v nových nalezištích, která jsou obtížněji dostupná a vyžadují nákladnější technologie. Ceny také samozřejmě ovlivňuje poptávka a tak si lze z grafů na Obrázek 1 udělat představu o budoucím vývoji podle prognózy Mezinárodní energetické agentury [18], [91].



Obrázek 1 Ceny energií v letech 1980 – 2035 (v dolarech na milion Btu , 1Btu = 1,055 kJ)

Tržní zákonitosti se markantně projeví u nás i v celé Evropě v souvislosti s rostoucím zájmem o spalování dřeva a z odvozených dalších paliv, jako jsou brikety, pelety, štěpka. Všeobecný růst ceny energie obrátil pozornost ke dřevu jako levnému a dostupnému palivu. Rostoucí poptávka z občanské sféry (dřevo pro vytápění) byla mnohonásobně umocněna průmyslovou poptávkou (zelená, dotovaná elektřina) a ceny se v krátké době výrazně zvýšily. Jedinou rozumnou reakcí na tento vývoj je snižovat spotřebu paliva. Lze používat kotle s vyšší účinností, lze snížit tepelné ztráty budov a lze se také v zimě tepleji oblékat.

1.1 Přehled druhů paliv

Základní dělení paliv se provádí podle kritérií uvedených v Tabulce 1. Poskytuje obecný celkový přehled, nicméně běžného uživatele budou zajímat praktičtější informace.

Tabulka 1 Základní dělení paliv dle

stáří		skupenství			původu	
fosilní	recentní	tuhá	kapalná	plynná	přírodní	umělá
z dávnějších geolog. období	ze současnosti, např. dřevo	uhlí, dřevo	topný olej	zemní plyn, PB	fosilní, recentní	produkty prům.technologie, např. svítiplyn

Nejběžnější je rozlišovat paliva podle skupenství, což má i praktický význam, protože stejně se dělí spalovací zařízení. Hovoříme tedy o tuhých, kapalných a plynných palivech a protože máme na zřeteli vytápění, musíme vzpomenout také ostatní zdroje, jako například solární či geotermální. Zdrojem energie pro vytápění může být také elektřina, což je řešení s pokaženou pověstí z počátku devadesátých let, která však nemůže zůstat, vzhledem k technickému a cenovému vývoji, stranou pozornosti.

Je nutné vzít na vědomí, že současná nabídka způsobů vytápění je mimořádně široká a zahrnuje celou škálu možností od řešení s vysokým uživatelským komfortem a tomu odpovídající cenou, až po řešení levná a pracná. Rozhodnutí, volba je individuální, musí však respektovat obecné požadavky legislativy a občanské slušnosti. Pro každé individuální řešení lze doporučit zabezpečení náhradního zdroje vytápění pro havarijní situace (diverzifikace zdrojů).

1.1.1 Tuhá paliva

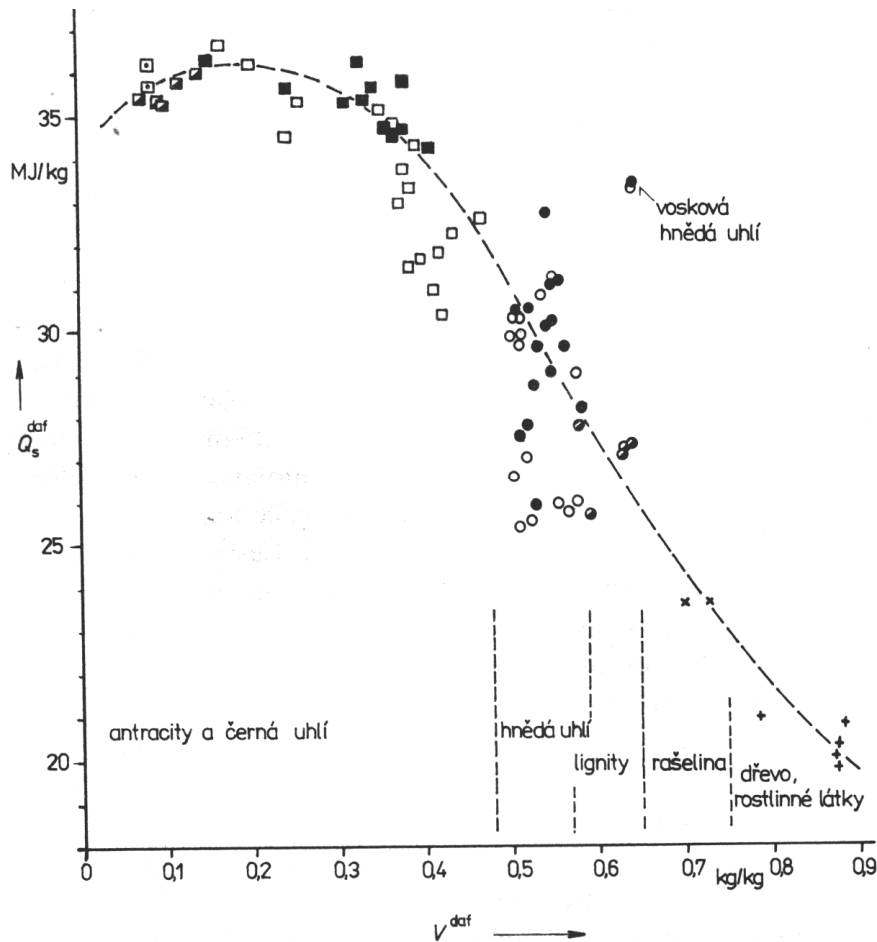
Do této skupiny patří všechny druhy uhlí a biomasa, z níž se pro vytápění používá především dřevo, a z nich vyrobená umělá paliva, jako koks, pelety, brikety apod. Při nejjednodušším energetickém hodnocení tuhých paliv vycházíme z předpokladu, že jsou složena z hořlaviny, popeloviny a vody [25]. Hořlavina představuje aktivní složku, neboť je nositelem chemicky vázané energie a je tvořena zejména uhlíkem, vodíkem a sírou. Z praktických důvodů se do hořlaviny zahrnuje také dusík a kyslík. Popelovina a voda jsou složky pasivní, nejsou nositeli energie, naopak energetickou hodnotu paliva snižují. Rozdíl mezi nimi je v tom, že zatímco obsah popeloviny, která je z části rozptýlena v uhelné hmotě, nelze jednoduchým způsobem ovlivnit, obsah vody lze poměrně snadno snížit sušením, viz Tabulka 2. Je logické, že vysušení paliva má za následek zvýšení jeho výhřevnosti, což má velký praktický význam zejména v případě dřeva.

Tabulka 2 Složení tuhých paliv před a po vysušení

Původní palivo	Po vysušení
0,3 kg vody	0,1 kg vody
0,2 kg popeloviny	0,27 kg popeloviny
0,5 kg hořlaviny	0,63 kg hořlaviny
Celkem 1 kg	Celkem 1 kg

Zvýšení obsahu hořlaviny vysušením paliva zvýší ve stejném poměru jeho výhřevnost. Palivo s nižším obsahem vody a vyšší výhřevností se lépe spaluje, což má význam jak ekonomický, tak především ekologický: při spalování vzniká méně škodlivin.

Významným parametrem tuhých paliv je průměrný obsah prchavé hořlaviny (V^{daf}). Tímto názvem jsou označovány hořlavé plyny, které se z paliva uvolňují při jeho zahřátí na cca 850 °C (existuje normativní postup stanovení V^{daf} , viz [13]). Čím více prchavé hořlaviny palivo obsahuje, tím snáze se zapaluje, protože od hořících plynů se odplyněný tuhý zbytek (koks, dřevěné uhlí) zapálí celkem spolehlivě. Obsah prchavé hořlaviny v palivech klesá s jejich geologickým stářím a protože jsou starší druhy uhlí více prouhelnatělé a obsahují více uhlíku, roste s jejich stářím výhřevnost [14]. Názorně to popisuje graf na Obrázek 2, kde je na svislé ose uveden energetický obsah paliva (spalné teplo). Klasifikace černých a hnědých uhlí těžených v ČR je uvedena v příslušných normách [12]. U černých uhlí V^{daf} dovoluje poměrně jasně rozlišit jednotlivé typy nebo původ uhlí, u hnědých uhlí je tento znak skoro nevýznamný [17].



Obrázek 2 Energetický obsah paliva a prchavá hořlavina [1]

Při spalování uhlí v malých ohništích pro vytápění, lokální i centrální, hraje obsah prchavé hořlaviny důležitou roli. Přiložíme-li najednou větší množství paliva, začnou se brzy poté v důsledku jeho zahřátí uvolňovat horké hořlavé plyny. Ty potřebují k tomu, aby vyhořely, dostatek spalovacího vzduchu, vhodnou teplotu a také čas. Pokud je ohniště malé, plyny jím rychle protečou do komína a nestačí vyhořet. Výsledkem je hustý, tmavý, silně aromatický kouř, který kazí pověst uhlí jako dobrého paliva. Řešením je správná volba spalovacího zařízení (kamen, kotle), přičemž platí, že čím větší je objem ohniště, tím lépe. Potíže lze také zmírnit častějším přikládáním a pomůže samozřejmě používání vhodného, tj. doporučeného paliva. Každé spalovací zařízení je určeno pro konkrétní palivo a univerzální ohniště většinou zklame. V některých případech nestačí pro posouzení vhodnosti paliva základní charakteristiky a je nutné se zaměřit také na detailnější charakteristiky paliva [19].

V této souvislosti se často hovoří o tzv. bezdýmném palivu. Je to vždy palivo s velmi nízkým obsahem prchavé hořlaviny, při jehož spalování se popsane potíže objeví pouze v minimálním rozsahu. Klasickým příkladem takového

paliva je koks, který však dnes zřídka připadá v úvahu pro jeho citelný nedostatek a vysokou cenu.

Kvalita uhlí (a také jeho cena) je významně ovlivněna obsahem síry. Ne všechna síra, v uhlí obsažená, je spalitelná. Po spalování část síry zůstane v popelu, větší část však shoří a vytvoří oxid siřičitý, který ve spalinách odchází do ovzduší. Protože neexistuje efektivní způsob, jak síru z paliva odstranit, řeší se u velkých zařízení odsíření navázáním oxidu siřičitého ze spalin na oxid vápenatý. Existuje několik technologií, jejichž společným znakem je vysoká investiční náročnost a proto se tato zařízení uplatní pouze u velkých energetických zdrojů. V případě malých zdrojů pro vytápění je jediným použitelným řešením spalování nízkosíratého uhlí [21]. Vyhláška č.13/09 k Zákonu o ochraně ovzduší předepisuje pro tyto případy maximální obsah celkové, tj. spalitelné i nespalitelné síry u hnědého uhlí 0,95 g/MJ, u černého uhlí 0,5 g/MJ a u briket 0,5 g/MJ.

To již činí problémy u domácích černých uhlí (viz Tabulka 6) a u hnědých uhlí jsme na hranici limitu. Je tedy nutné vybírat černé uhlí, jelikož ne všechna tyto limity splní. Například hnědá uhlí nabízená Mosteckou uhelnou společností vykazují tzv. síratost od 0,53 do 0,66 g/MJ [20].

Snaha o využití uhelných zásob s vyšším obsahem síry vedla k vytvoření nabídky tzv. aditivovaných paliv. Aditivace uhlí je jeho technická úprava podporující proces vazby vzniklého oxidu siřičitého na aditivum přimíchané do uhlí. Používá se buď mokrá aditivace uhlí vápenným hydrátem nebo suchá, kdy se do uhlí přimíchává mletý vápenec. Odsířovací efekt aditivovaných uhlí se plně uplatní ve fluidních kotlech, účinnost odsíření v roštových ohništích není příliš vysoká díky méně vhodným fyzikálně-chemickým podmínkám. V kotlích pro vytápění lze očekávat snížení emisní koncentrace oxidu siřičitého o cca 20-30 %. Parametry paliv (průměrné) a jejich ceny jsou uvedeny v následujících tabulkách, viz [80].

Tabulka 3 Kvalitativní parametry a ceny tříděného hnědého uhlí Mostecká uhelná, a.s.

Druh uhlí	Zrnitost (mm)	Výhřevnost (MJ/kg)	Obsah popela (%)	Obsah síry (%)	Cena Kč/100kg
kostka	40-100	18,7	10,2	1,0	296
ořech 1	20-40	19,1	9,5	1,1	275
ořech 2	10-20	18,3	11,5	1,2	166

Tabulka 4 Kvalitativní parametry a ceny hnědouhelných briket Sokolovská uhelná, a.s.

Druh briket	Zrnitost (mm)	Obsah vody (%)	Obsah popela (%)	Výhřevnost průměrná (MJ/kg)	Obsah síry (%)	Střední měrná sirnatost (g/MJ)	Cena Kč/100kg
kostky 3,5	63-95	8	13	23,4	0,6	0,26	380

Tabulka 5 Kvalitativní parametry a ceny otopového koksu OKD, a.s.

Druh koksu	Zrnitost (mm)	Výhřevnost (MJ/kg)	Obsah popela (%)	Obsah síry (%)	Obsah vody (%)	V^{daf} (%)	Cena Kč/100kg
ořech 1	40-60	27,43	11,0	0,8	11,0	2,0	560
ořech 2	20-40	26,78	11,5	0,8	12,0	2,5	490

Tabulka 6 Kvalitativní parametry a ceny černého uhlí OKD, a.s.

Druh uhlí	Zrnitost (mm)	Výhřevnost (MJ/kg)	Obsah popela (%)	Obsah síry (%)	Obsah vody (%)	V^{daf} (%)	Cena Kč/100kg
kostka	50-80	30,5	6,5	0,65	5,0	30,0	459
ořech	30-50	30,19	6,5	0,65	4,0	30,0	439

K tuhým palivům se řadí také biomasa, zdroj energie, který zcela jistě čeká velký rozvoj. Podle současné legislativy [23] je za biomasu *považován rostlinný materiál, který lze použít jako palivo pro využití jeho energetického obsahu, pokud pochází ze zemědělství, lesnictví, nebo potravinářského průmyslu, z výroby surové buničiny a z výroby papíru z buničiny, ze zpracování korku, ze zpracování dřeva s výjimkou dřevního odpadu, který obsahuje halogenové organické sloučeniny nebo těžké kovy v důsledku ošetření látkami na ochranu dřeva nebo nátěrovými hmotami a dřevní odpad ze stavebnictví*. Jednoznačně řečeno jde o veškeré palivo na rostlinné bázi, pokud není nebezpečně kontaminováno.

Rostoucí význam biomasy jako zdroje energie je dán snahou využít všechny dostupné zdroje a zmírnit tak rostoucí závislost evropských zemí na dovozu energetických surovin. Jedná se obvykle o domácí palivo a jeho pěstování a zpracování vytváří nové pracovní příležitosti a podporuje rozvoj podnikání. A protože se jedná o obnovitelný zdroj energie, přispívá spalování biomasy, pokud je náhradou za fosilní paliva, ke snížení produkce skleníkových plynů. V této

souvislosti se obvykle uvádí, že spalování biomasy je z hlediska emisí oxidu uhličitého neutrální, neboť množství produkovaného oxidu uhličitého je srovnatelné s množstvím, spotřebovaným rostlinami při jejich růstu (fotosyntéza) [16]. Je to ovšem poněkud zjednodušený pohled, neboť stromy rostou desítky let a dřevo z nich se spálí okamžitě, navíc vznikají při spalování další škodliviny, některé velmi nebezpečné jako jsou polyaromatické uhlovodíky, případně dioxiny. I v tomto případě platí, že o množství škodlivých emisí rozhoduje především způsob spalování. Jinými slovy, palivo za nic nemůže.

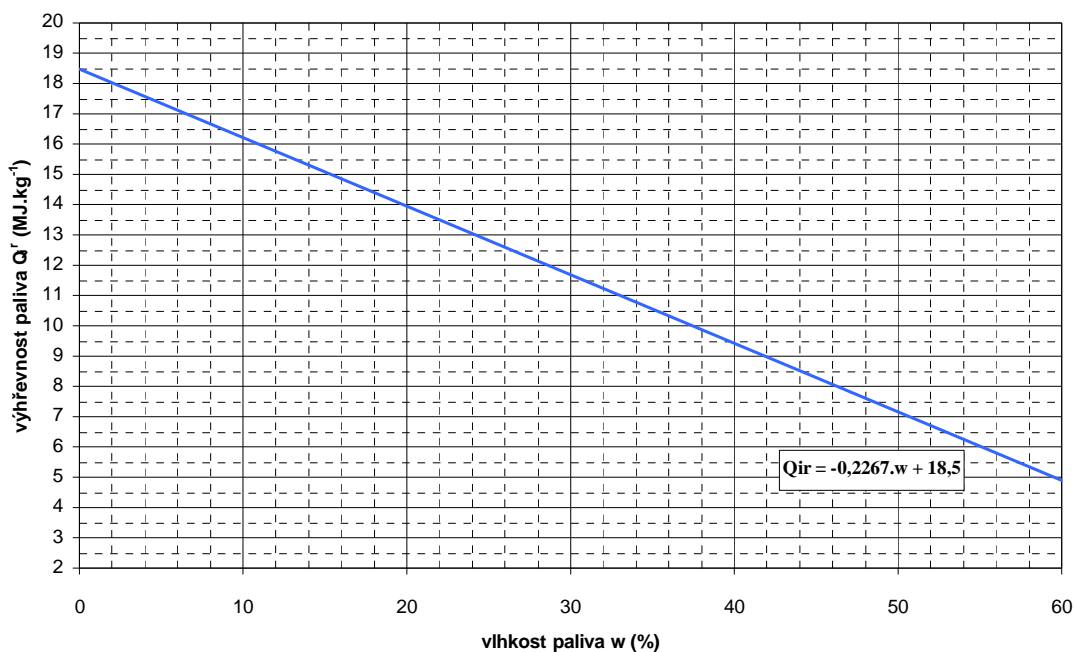
Značná pozornost se v poslední době soustřeďuje na možnosti pěstování energetických plodin, tj. plodin s velkými přírůstky hmoty, určených k energetickému využití. Mohou to být speciální druhy jako například vrba, topol nebo energetický šťovík, ale může se jednat také o běžné plodiny jako je obilí [5].

Pro vytápění malými zdroji půjde především o spalování dřeva a z něho odvozených paliv, případně o spalování upravených paliv, vyrobených z vhodných druhů energetických plodin, či zbytků ze zemědělské výroby. K dispozici dnes je kusové palivové dříví, štěpky, brikety a pelety [24].

Složení biomasy jako paliva se vyjadřuje stejně jako je tomu v případě uhlí. Záležitost je však podstatně jednodušší, neboť složení hořlaviny je víceméně konstantní (Tabulka 7) a obsah popelovin velmi nízký, cca kolem 1%. Proto můžeme považovat biomasu za směs hořlaviny a vody, tzn. že s rostoucím obsahem vody klesá její výhřevnost tak, jak to ukazuje Obrázek 3 [37].

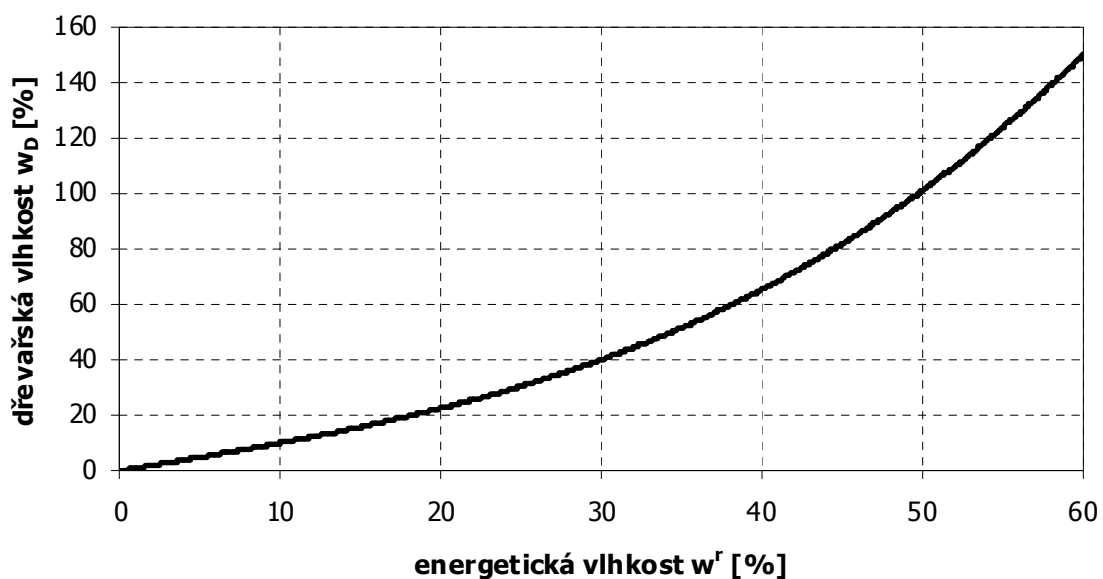
Tabulka 7 Složení hořlaviny a výhřevnost

Složka hořlaviny [%]	Druh dřevní hmoty			Průměrné složení dřevní hmoty	Hnědé uhlí
	Jehličnaté dřevo	Listnaté dřevo	Kůra		
uhlík	51,0	50,0	51,4	50,8	69,5
vodík	6,2	6,15	6,1	6,15	5,5
kyslík	42,2	43,25	42,2	42,55	23,0
dušík	0,6	0,6	0,3	0,5	1,0
síra	-	-	-	-	1,0
Popel [%]					
v sušině	1,0	1,0	2,3	1,4	25,0
v palivu	0,7	0,7	0,3	0,9	16,3
Voda [%]					
v palivu	30,0	30,0	35,0	32,0	32,2
Výhřevnost [MJ.kg ⁻¹]					
hořlaviny	18,4	18,4	18,4	18,4	26,8
paliva	12,0	12,0	10,8	11,6	12,9
Měrný obsah [g.kWh ⁻¹]					
síry	-	-	-	-	1,45
dušíku	1,25	1,25	0,63	1,17	1,45
popela	2,1	2,1	4,97	2,6	45,42



Obrázek 3 Závislost výhřevnosti biomasy na obsahu vody [1]

Je důležité v této souvislosti připomenout, že existují dva způsoby udávání obsahu vody v dřevu, energetický a dřevařský. Zatímco energetici udávají jakou část paliva představuje voda, dřevaři uvádějí poměr množství vody v palivu k množství sušiny, tj. hořlaviny a popeloviny [38]. Jestliže bude dřevo obsahovat polovinu vody a polovinu sušiny, udá energetik obsah vody jako 50 %, zatímco pro dřevaře to bude 100 %. Srovnání obou způsobů umožňuje graf na Obrázek 4. Dále v textu bude uváděn vždy energetický obsah vody.



Obrázek 4 Energetický a dřevařský obsah vody [63]

Rozhodujeme-li se pro vytápění dřevem (biomasou), měli bychom vzít na vědomí několik významných skutečností [70]:

- Cenová nabídka se pohybuje v širokém rozsahu, přičemž cena pelet a briket v některých případech převyšuje cenu uhlí.
- Z důvodu provozní spolehlivosti, vysoké účinnosti a zejména environmentální přijatelnosti je nutné spalovat dostatečně vysušené dřevo, doporučený obsah vody je cca 20 %, což vyžaduje nejméně roční skladování na dobře větraném místě.
- V případě briket a pelet není nutné tuto otázku řešit, obsah vody bývá kolem 10 %. Je však nutné věnovat pozornost jejich mechanické pevnosti. Během skladování a manipulace s nimi by se neměly rozpadat.
- Biomasa má vždy menší hustotu, než uhlí. Stejný energetický obsah bude představovat podstatně větší objem paliva a rovněž bude nutné, v případě kotle s automatickým příkládáním, použít složitějšího, rozměrnějšího a dražšího zařízení pro dopravu paliva do kotle.
- Při úvahách o spalování pěstovaných energetických plodin je nutné zodpovědně posoudit reálné roční výnosy a tomu odpovídající potřebné pěstební plochy. Oficiálně uváděné údaje bývají často až příliš optimistické.
- Instalace jakéhokoliv moderního systému vytápění nemůže přivést dostatečný efekt bez racionálních opatření na straně spotřeby tepla.

1.1.2 Plynná paliva

Plyn patří k nejrozšířenějším palivům používaným pro vytápění, ohřev vody, vaření a k mnoha dalším účelům. V současnosti se v domácnostech používá zemní plyn a propan-butan. V průmyslu se využívají i jiné druhy plynů. Z hlediska druhu plynu pro vytápění obytných domů a průmyslových budov je nejrozšířenější zemní plyn. V letech 1996 - 2002 probíhala na území ČR plynofikace. Do všech dobře přístupných míst s ekonomicky opodstatněným počtem odběratelů byl zaveden plynovod se zemním plynem. S rozvojem plynofikace vzrostla spotřeba zemního plynu díky zvýšení počtu plynových spotřebičů, hlavně automatických kotlů pro vytápění a ohřev vody pro užitkové účely.

Velkou výhodou zemního plynu je jeho vysoká výhřevnost a „ekologičnost“. Zemní plyn neobsahuje síru a tuhé částice, při spalování vzniká s porovnáním s tuhými i kapalnými palivy jen minimum emisí CO a uhlovodíků. U novějších

typů kotlů je vyřešen problém s emisemi NO_x , které jsou dnes také na velmi nízké úrovni. Dalším důležitým faktorem je komfort obsluhy, neboť plynové kotle mají automatické řízení, odpadá nutnost skladovacích ploch, doplňování paliva do zásobníku a vynášení popela, které jsou nezbytné u tuhých paliv. Regulace kotlů je jednoduchá a kotle dosahují vysoké účinnosti a množství odebraného plynu se jednoduše měří [1].

Nevyzpytatelnou vlastností zemního plynu je jeho cena, která je závislá na kurzu koruny k dolaru a jeho ceně na světových trzích. Ta zase úzce souvisí s cenou ropy. V posledních letech cena plynu neustále roste. Přibližně 99% zemního plynu se k nám dováží ze zahraničí.

Dalším plynem používaným pro vytápění je propan – butan (PB), který je také někdy označován zkratkou LPG (Liquid petroleum gas) – zkapalněné uhlovodíkové plyny. PB patří mezi plyny získané při zpracování ropy. Za normálního tlaku a teploty se jedná o směs plynou ovšem při zvýšení tlaku se mění v kapalinu a dochází k 260-ti násobnému zmenšení objemu. PB není jedovatý a při náhodném úkapu se vypaří. Proto lze velkou tepelnou kapacitu uskladnit v poměrně malém zásobníku. Spalováním propan - butanu v moderních kotlích vznikají minimální emise, jen o něco málo vyšší než při použití zemního plynu. Dodává se vždy ve zkapalněném stavu.

Ve srovnání se zemním plynem má několik nevýhod. Musí být uskladněn v dostatečně velkém zásobníku, aby se nemusel často doplňovat. Pro velké rodinné domy se používají zásobníky o objemu 1,2 tuny zkapalněného PB. Pro dobře tepelně izolované domy stačí menší zásobník známý jako „polokoule“ [20]. Pořizovací i provozní náklady jsou v současné době u PB vyšší než u zemního plynu a proto se použití PB doporučuje jen tam, kde není přípojka zemního plynu a přesto existuje požadavek na co nejekologičtější a komfortní vytápění.

Novým řešením je spalování čistého butanu, který je výhřevnější a levnější než propan. Princip je v tom, že butan, který se velmi špatně odpařuje za normální teploty, je v malém výměníku umístěném na nádrži předeříván pouze v množství nezbytně nutném pro zásobování hořáků. Cena butanu je cca 75 % vzhledem k ceně propanu a blíží se ceně zemního plynu, viz Tabulka 8.

Tabulka 8 Porovnání nákladů a výhřevnosti jednotlivých plynů [88], [92]

Ceny za 1 kWh energie získané z plynu (Kč bez DPH)	
butan	1,39
zemní plyn	1,51
propan	1,83
Výhřevnost	
butan	123,55 MJ/m ³
zemní plyn	33,93 MJ/m ³
propan-butan	106 MJ/m ³

1.1.3 Kapalná paliva

V našich ekonomických podmínkách jsou zatím kapalná paliva znevýhodněna svou cenou, kterou však můžeme považovat za tržní. V zemích EU jsou ceny jednotlivých paliv více vyrovnané než u nás a vytápění kapalnými palivy je konkurenceschopné. V našich podmínkách je vhodné zvažovat jejich použití při větších výkonech nebo při absenci zemního plynu. Kapalná paliva nabízejí prakticky bezobslužný provoz.

Z topných olejů je pro domovní kotelny a rodinné domky vhodný pouze extra lehký topný olej (ELTO). Základní vlastnosti ELTO jsou uvedeny v Tabulka 9 [79].

Extra lehký topný olej s obsahem síry do 0,2 % vyráběný v českých rafinériích od r. 1994 je vysoce výhřevné moderní palivo, které splňuje veškeré ekologické limity, není třeba jej přehřívát, čistit nádrže od úsad. Toto palivo je využíváno zejména v těch lokalitách, kde nebyla provedena plynofikace nebo připojení na centrální zdroj tepla. Topné oleje mají vysokou výhřevnost. Patří mezi paliva, jejichž spalováním vzniká poměrně malé množství škodlivin ve srovnání s hnědým nebo černým uhlím. Na spalování extralehkých topných olejů lze používat zařízení, která dokáží toto ušlechtilé palivo efektivně využít, často jsou to plynové kotle s jiným hořákem. Tyto kotle umožňují bezobslužný provoz a snadnou automatickou regulaci. Účinnost kotlů na kapalné palivo je od 70 % u starších typů a do 92 % u moderních zařízení. V současnosti trh nabízí nízkoteplotní olejová topná zařízení s účinností porovnatelnou s účinností plynových kondenzačních kotlů. Tato zařízení vyžadují nižší teploty teplotního média 50 °C oproti klasickým teplotním spádům 70 až 90 °C. Podobně jako u plynových kotlů se TUV může připravovat v zásobníkových ohřivačích samostatných nebo integrovaných s kotlovým tělesem.

Mezi nevýhody ELTO patří to, že se vyrábějí z ropy a při jejich výrobě (destilaci nebo rafinaci ropy) jsme plně závislí na zahraničních dodávkách této suroviny. Cena ELTO se odvíjí od světových cen ropy, je poměrně vysoká a navíc zatížena spotřební daní. Uživatelé a odběratelé ELTO musí budovat zásobníky paliva, které odpovídají přísným bezpečnostním, požárním a ekologickým předpisům.

Existují i další zdroje kapalných paliv jako uhlí (syntetické oleje) nebo bionafta (esterifikovaný rostlinný olej). Progresivním biopalivem je také etanol. Jeho použití pro vytápění však nelze ani v budoucnu očekávat [40]. Rozvíjená výroba etanolu je určena pro přimíchávání do kapalných paliv pro spalovací motory.

Tabulka 9 Základní vlastnosti ELTO

Vlastnosti	Jednotky	ELTO
hustota při 20 °C	kg/ m ³	max. 860
kinematická viskozita	mm ² /s	při 20 °C max. 6
obsah popela	hmotnostní %	max. 0,01
obsah mechanických nečistot	hmotnostní %	max. 0,05
bod vzplanutí	°C	56
bod tuhnutí	°C	max. - 10
obsah síry	hmotnostní %	max. 0,2
destilační zkouška do 350 °C předestiluje	objemová %	min. 85
výhřevnost	MJ/kg	min. 42

1.1.4 Elektrická energie

Vytápění elektrickou energií prožívalo největší rozvoj v letech 1992 – 1995, kdy vláda ČR propagovala elektrické přímotopné konvektory a další elektrické spotřebiče určené pro vytápění. Od roku 1996 byl rozvoj vytápění elektřinou nahrazenou rozvojem vytápění zemním plynem.

Vytápění elektrickou energií je čisté, bezpečné, ekologické, automaticky regulovatelné, s vysokou účinností zdroje. Nároky na obsluhu jsou minimální. U přímotopného vytápění kopíruje dodávka elektrické energie odběr tepla. Při akumulacím ohřevu kotel v době snížené sazby elektrické energie nabíjí – ohřívá topnou vodu v akumulacní nádrži. Náklady jsou u vytápění elektrickou energií vyšší než u jiných zdrojů vytápění, proto se často používá jako druhý

zdroj energie nebo jako zásobní zdroj energie u tepelného čerpadla nebo solární energie.

Elektrická vytápěcí tělesa se dělí do dvou základních skupin. První skupinu tvoří přímotopná tělesa – konvektory a topné ventilátory, která jsou určena především pro rychlý ohřev místnosti. Druhou skupinu tvoří akumulární tělesa – elektrická akumulární kamna a podlahové vytápění, které mají výrazně větší tepelnou setrvačnost než přímotopná tělesa a tudíž dokáží lépe využívat elektrickou energii, neboť mohou být v činnosti pouze v době nízkého tarifu, čímž šetří náklady na vytápění.

Elektrická energie používaná pro vytápění se odebírá v některé ze sazeb D26, D35 a D46. Volba sazby závisí na počtu a výkonu elektrických zdrojů tepla a na časovém vymezení odběru elektřiny v době nízkého tarifu. Nízký tarif (NT) je u sazeb D 25 minimálně 8 hodin denně, 16 hodin u sazby D35 a 20 hodin u sazby D45. Růst cen v těchto sazbách ukazuje Tabulka 10.

Spotřeba elektrické energie elektrickými topnými spotřebiči je různá. Nejmenší spotřebu mají topné koberce, jejichž výkon se pohybuje v rozmezí 50 – 200 W. Konvektory, akumulární kamna, radiátory a topné rohože podlahového vytápění mají výkon od 0,5 do 8 kW. Jejich výkon závisí na tepelné ztrátě vytápěné místnosti [20].

Tabulka 10 Ceny elektrické energie pro vytápění

	Cena za 1 kWh v Kč (VT/NT)					
	2008		2009		2010	
Sazba	E.ON	ČEZ	E.ON	ČEZ	E.ON	ČEZ
D26	3,29/1,66	3,21/1,59	3,86/1,97	3,58/1,78	3,64/1,89	3,44/1,65
D35	2,99/2,06	2,74/1,91	3,55/2,45	3,06/2,15	3,42/2,30	3,10/2,02
D45	2,65/2,16	2,64/2,08	3,23/2,59	2,97/2,34	3,31/2,40	2,98/2,19

Zvláštním typem vytápění jsou tepelná čerpadla. Tepelné čerpadlo převádí přírodní, tzv. nízkopotenciální, teplo na teplo vhodné pro vytápění, předehřev nebo ohřev TUV nebo větrání domu. Nízkopotenciální teplo je obnovitelným zdrojem energie. Je uloženo v zemi, podzemní nebo povrchové vodě nebo okolním vzduchu. Tepelné čerpadlo pracuje jako chladicí zařízení, jehož hnacím prvkem je kompresor, poháněný elektromotorem. Topný výkon tepelného čerpadla je dán součtem nízkopotenciální energie a potřebné elektrické energie pro pohon. Teplo odebírané z vnějšího prostředí činí cca 50-75 % výkonu tepelného čerpadla [26].

1.1.5 Porovnání jednotlivých druhů paliv

Následující tabulka (Tabulka 11) uvádí porovnání výhod a nevýhod jednotlivých nejčastěji používaných druhů paliva [20].

Tabulka 11 Porovnání výhod a nevýhod jednotlivých druhů paliv

Palivo	Výhody	Nevýhody
zemní plyn	automatická regulace kotle, velice nízké emise, vysoká účinnost	růst ceny, nutná přípojka plynu
propan-butan	automatická regulace kotle, vysoká účinnost	nutný zásobník, nutný dovoz paliva, cena závislá na vývoji ceny ropy a kurzu měny
kapalná paliva	vysoká účinnost, automatická regulace	vysoká cena, nutný zásobník, nutný dovoz paliva
uhlí	průměrná cena	vysoké emise, dovoz a skladování paliva, vynášení popela
dřevo	nízká cena, obnovitelný zdroj, energie	dovoz a skladování paliva, možné problémy s regulací, u neautomatických kotlů časté přikládání
biomasa	nízká cena, obnovitelný zdroj energie	dovoz a skladování paliva
elektrina	snadná regulace, vysoká účinnost	vysoká cena, nutná přípojka o dostatečné kapacitě

2 Spalovací zařízení

Za spalovací zařízení považujeme v případě malých zdrojů pro vytápění lokální topeniště, kotle pro ústřední vytápění a teplovodní kotle pro lokální centralizované systémy [39].

Podle způsobu vytápění lze rozlišit:

- Přímotopná spalovací zařízení (lokální topeniště), která teplo uvolněné spalováním bezprostředně předávají do místnosti (kamna, krby),
- Kotlová zařízení, ve kterých se předává teplo uvolněné spalováním a obsažené ve spalinách pracovní látce (vodě), která je pak rozváděna do jednotlivých místností, prostor či budov.

Lokální topeniště jsou téměř vždy určena pro spalování tuhých paliv (výjimku představují například plynové krby), nejčastěji uhlí či dřeva a jejich předností je možnost levného a efektivního vytápění jednotlivých místností. Nevýhodou je manipulace s palivem a popelem, potřeba periodického přikládání a s tím související zvýšená prašnost, znečištění. V poslední době rozšiřující užívání oblíbených krbů a krbových a kachlových kamen posiluje tento způsob vytápění, nejčastěji jako doplňkové k zavedenému systému ústředního vytápění. Takové řešení umožňuje významně snížit náklady na vytápění, použije-li se dřevo jako náhrada dražšího paliva v přechodném období nebo v době extrémních nároků na spotřebu [64]. Jeho výhodou je rovněž snížení rizika při náhlých výpadcích dodávky – diverzifikace zdrojů.

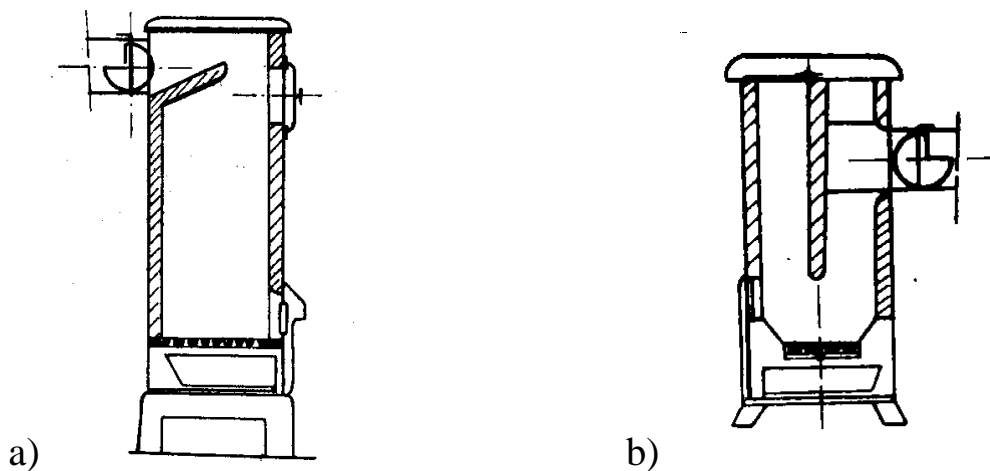
Systémy s ústředním (centrálním) vytápěním poskytují podstatně vyšší uživatelský komfort a nabízejí velké množství technických řešení jak na straně zdrojů, tak na straně spotřeby. Zdrojem tepla je palivo, spalované v teplovodním kotli a současná nabídka zahrnuje kotle pro spalování tuhých, kapalných i plyných paliv, dosahující vysoké účinnosti, zabezpečující svým konstrukčním řešením nízkou produkci škodlivin a umožňující automatickou regulaci provozu podle podmínek a potřeb. Lze si vybírat podle svých představ a možností a je rovněž k dispozici dostatečná poradenská síť. A poradit se s odborníky je vždy užitečné, protože současné environmentální požadavky a společenská očekávání jsou velice náročná a rovněž cenový vývoj není snadné odhadnout [77].

2.1 Kamna a sporáky

Kamna a sporáky představují nejjednodušší lokální topidla s ohništěm pro spalování tuhých paliv. Takové ohniště klade pouze minimální nároky na kvalitu paliva, jinak řečeno lze v něm spálit téměř všechno. Je věcí uživatele, jakým způsobem bude kamna provozovat, což může být problém. Při spalování

kvalitního tříděného uhlí, nebo kusového dřeva, se lze vyhnout nedokonalému spalování, projevujícímu se tmavým aromatickým kouřem, častějším přikládáním po malých dávkách [67]. Zájmem uživatele však bývá počet přikládání minimalizovat.

Je-li principu spalování na roštu použito u kamen, která jsou určena převážně pro vytápění, respektuje se požadavek minimální četnosti přikládání volbou velkého objemu ohniště, do kterého je možné najednou přiložit velké množství paliva. Taková ohniště lze v zásadě konstruovat dvojím způsobem a rozlišují se kamna s prohoříváním paliva a se spodním odhoříváním paliva (Obrázek 5).



Obrázek 5 Ohniště s prohoříváním paliva (a) a spodním odhoříváním paliva (b)

V prvním případě se násypná šachta naplní palivem, které se od žhavé vrstvy na roštu zapálí, žhavé spaliny prostupují vrstvou paliva nahoru a palivo tak postupně prohořívá. Je logické, že musí být kamna řešena tak, aby nemohlo dojít k zapálení celého objemu paliva najednou. To lze zajistit pouze regulací přívodu spalovacího vzduchu pod rošt. Regulační možnosti jsou velice široké a jejich použití záleží pouze na uživateli. Úplným otevřením dvířek popelníku lze dosáhnout hoření celého objemu paliva najednou, což představuje několikanásobek jmenovitého výkonu kamen se všemi negativními důsledky: nedokonalé spalování a výrazné snížení životnosti zařízení [1].

Ohniště se spodním odhoříváním je nesporně lepším řešením. Je rozděleno shora vedoucí svíslou přepážkou na dvě části. Levá představuje násypnou šachtu, kterou lze zcela naplnit, pravá pak vlastní ohniště s dole umístěným pevným roštem. Z dolní části násypné šachty se palivo odsypává na rošt, kde se zapálí a hoří. Spaliny prochází vzhůru ohništěm a přitom v nich dohořívají hořlavé složky. Kamna s tímto ohništěm nelze neomezeně přetěžovat, což spolu s možností dohořívání spalin přispívá k podstatně nižší produkci škodlivin [8]. Pro bezpečný provoz těchto kamen je nezbytný dostatečný tah komína a

spolehlivá těsnost násypného otvoru, protože v případě ztráty tahu by mohlo dojít k zapálení paliva v násypné šachtě.

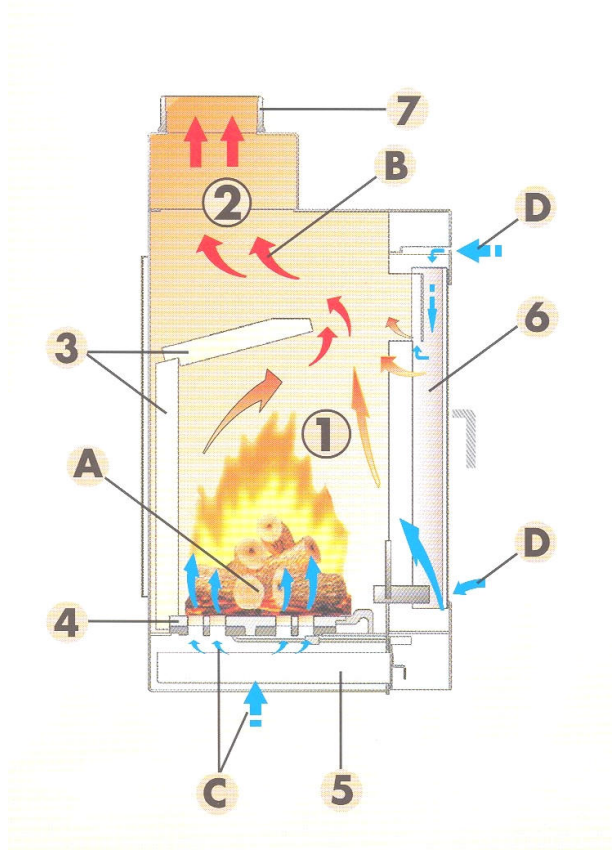
Předností obou druhů těchto kamen je jednoduchá konstrukce, snadná obsluha a nízká cena. Z pohledu kvality spalování a tvorby škodlivin je lze s výhradou doporučit pouze pro spalování kvalitních paliv, nejvhodnějším palivem je koks, tříděné černé uhlí a dřevo. Běžný uživatelský provoz znamená vždy vysoké emisní koncentrace oxidu uhelnatého, polyaromatických uhlovodíků a dalších škodlivin [30].

2.2 Krby a krbová kamna

Lokální vytápění dřevem, spalovaným v krbech a krbových kamnech, se těší velké oblibě. Krby jako zdroj tepla mají dlouhou historii a tradici. Vytvářejí příjemnou atmosféru tím, že lze pozorovat plameny, létající jiskry a poslouchat praskání dřeva. Jediným nedostatkem tradičních krbů je extrémně nízká účinnost. U otevřených krbů zhruba devadesát procent energie paliva uniká bez užitku komínem [27]. Současné technické možnosti dovolují uzavřít ohniště sklem a regulovat pak množství spalovacího vzduchu, a tak současné krby a krbová kamna dosahují špičkové účinnosti až 80%, tzn. že pouze 20 % tepla se nevyužije pro vytápění. Praktický význam této skutečnosti objasní následující příklad.

Moderní krbová kamna v kvalitním provedení mají účinnost při jmenovitém výkonu 80 %. Pro tepelný výkon 7 kW a při použití dostatečně vysušeného dřeva je zapotřebí spálit cca 2,5 kg dřeva za hodinu [69]. Abychom získali tentýž výkon z krbu s otevřeným ohništěm, musíme v něm za stejnou dobu spálit nejméně 16 kg dřeva. Jde tedy o to, nakolik si ceníme bezprostřední přítomnosti plamene a zda se přece jenom od něj neoddělíme sklem.

Dva a půl kilogramů dřeva je velice málo, dvě středně velká polena, a přitom jejich spálení dokáže poskytnout tepelný výkon 7 kW, což je srovnatelné s tepelnými ztrátami moderního rodinného domku. Podle obecných požadavků by měla ohniště krbů a krbových kamen zabezpečit pravidelné přikládání a vždy spolehlivé zapálení přiloženého paliva v hodinových intervalech. To vede k následujícímu konstatování: je snadné spálit 2,5 kg dřeva, ale je umění přinutit 2,5 kg dřeva, aby hořely celou hodinu a přitom ještě nebyly ve spalinách nepřijatelně vysoké koncentrace škodlivin [68]. A to právě moderní krby a krbová kamna, viz Obrázek 6, umí. Dno ohniště je tvořeno pevným roštem, kterým je k hořícímu palivu přiváděn spalovací vzduch. Dno ohniště může být také bezroštové, kdy je vzduch přiváděn stěnami spalovací komory.



Hlavní části kamen

- 1 Spalovací komora (topeniště)
- 2 Kouřová komora
- 3 Vyměnitelná šamotová vyzdívka
- 4 Vyměnitelný litinový rošt
- 5 Popelník
- 6 Prosklená příkládací dvířka
- 7 Odvod spalin

Spalování

- A Hořící palivo
- B Spaliny
- C Primární vzduch pro spalování
- D Sekundární vzduch pro odhoření plyných spalitelných složek (CO apod.) ve spalinách. Zároveň zabraňuje zašpinění skla.

Obrázek 6 Moderní krbová kamna, konstrukce ohniště [1]

Zatímco otázky účinnosti kamen a efektivity vytápěcího systému vesměs chápeme jako individuální záležitost, v případě produkce škodlivin tomu tak není. Přestože dřevo patří k nejekologičtějším palivům a převládá názor, že je z hlediska emisí oxidu uhličitého neutrální, může jeho nevhodné používání silně poznamenat lokální ovzduší. Jedná se převážně o spalování nedostatečně vysušeného dřeva. Příliš vysoký obsah vody má za následek snížení teploty

v sebelépe konstruovaném ohništi, hořlavé složky nestačí vyhořet a ve spalínách vycházejících z komínu do ovzduší pak najdeme vysoké koncentrace oxidu uhelnatého, polyaromatických uhlovodíků a dalších produktů nedokonalého spalování [61]. Pomoc je snadná. Spalované dřevo musí být dostatečně vysušené.

Oblíbenost a rostoucí využívání krbů a krbových kamen jako lokálních topenišť vedou ke snaze odvést část tepla do dalších místností, a to buď prostřednictvím teplého vzduchu nebo teplé vody. Technicky jsou taková řešení jednoduchá a jejich nabídka je dostatečná. Teplovzdušné krby a krbová kamna s výměníkem pro ohřev vody nabízí většina výrobců. Je však užitečné zamyslet se, zda bude některé z vybraných řešení opravdu přínosem, zda naopak nepřinese nové komplikace a jak hospodárný bude uvažovaný systém vytápění.

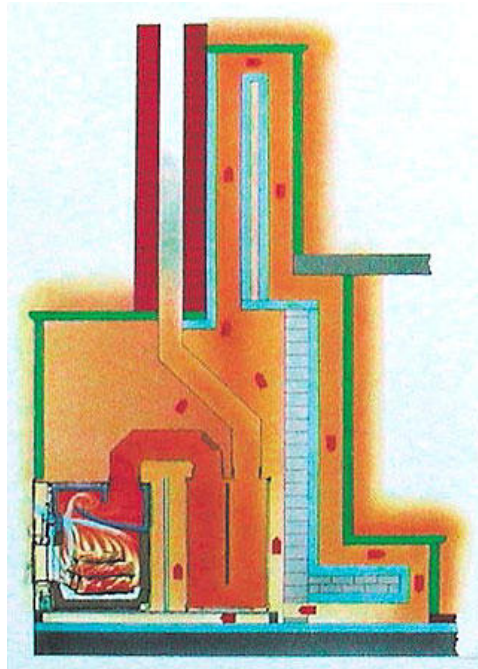
Aby nám krb dobře sloužil a dosáhli jsme požadovaného výkonu, je zapotřebí umět v něm správně zatápnět. Někdy však i přes správný způsob topení dochází k závadám, při kterých topidlo kouří a netáhne. Tyto závady se mohou týkat příliš velkého či malého průřezu komínového průduchu nebo malé účinné výšky komínu. Pokud má vychladlý komín malý tah, např. při delší prodlevě v používání, je třeba zajistit jeho prohřátí, například vložením suchého lihu do plechovky a jeho zapálením. S dalšími problémy při topení v krbu se můžeme setkat v letním období při intenzivním svitu slunce na komínovou hlavu. Problém je doprovázen nemožností zatopit a vrácením kouře do místnosti. Je to způsobeno roztažením vzduchu v ohřáté komínové hlavě, kdy vzduch teplem řídne a následně se vytvoří zátka ze studeného vzduchu vespod komína. Při nedostatečném přívodu vzduchu do místnosti, který je potřebný pro správné spalování v lokálním topidle, se může stát, že se komín nebo i topidlo zanáší dehtovými zplodinami. Palivo při tlumeném výkonu krbu nedostatečně prohořívá a spaluje se při nedostatku vzduchu. Probíhá tak suchá destilace, při níž dehtové složky paliva kondenzují a usazují se jak v topidle, tak v kouřových cestách [76]. Toto je několik nejčastějších závad vyskytujících se při topení v krbech a krbových kamnech.

2.3 Kachlová kamna

Vedle krbů je to nejstarší způsob vytápění, jehož předností je vysoká efektivita, daná možností využívat akumulace tepla. Z dnešního pohledu je jejich velikou předností také poměrně spolehlivé zabezpečení dokonalého spalování a proto nízká produkce škodlivin (samozřejmě lze i v dokonalých kachlových kamnech spalovat, zejména uhlí, způsobem zcela nepřijatelným).

Klasická konstrukce kachlových kamen (viz Obrázek 7) je charakteristická velkou hmotností (několik set kilogramů) keramických hmot, které

při spalování paliva akumulují uvolněné teplo a postupně, často máme pocit, že až příliš pomalu, se zahřívají. Teprve po nahřátí předávají teplo do místnosti a mohou vytápět místnost ještě dlouho poté, co palivo definitivně vyhaslo. Kachlová kamna této konstrukce jsou dnes označována jako kamna s těžkou vyzdívkou.

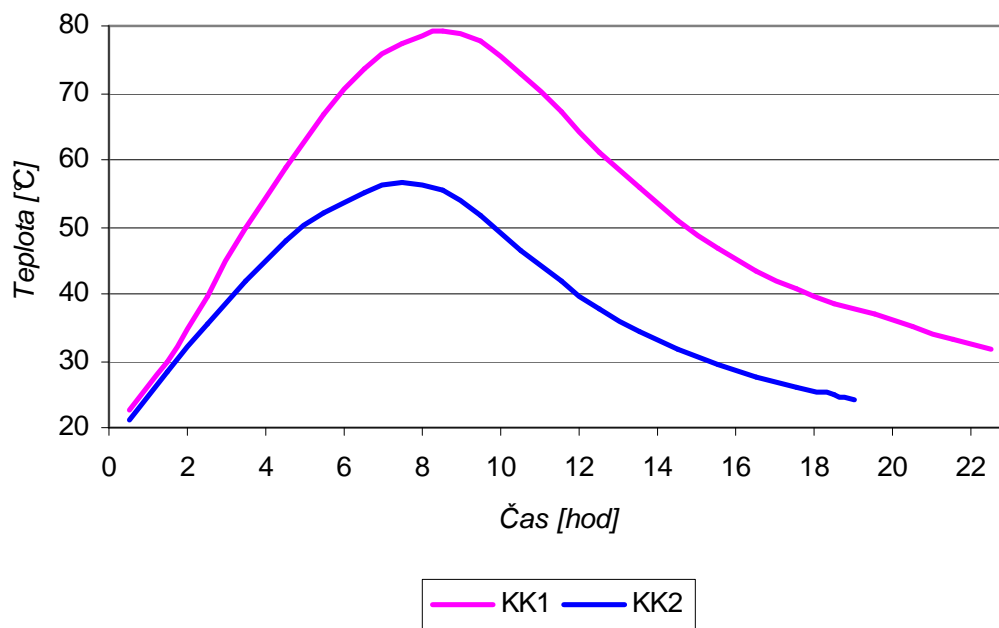


Obrázek 7 Průřez kachlovými kamny a zobrazení průtoku vzduchu [93]

V ohništi kamen se spaluje palivo, dnes nejčastěji dřevo, při dostatečně vysoké teplotě, neboť stavba ohniště a použitý materiál zajišťuje velmi dobrou tepelnou izolaci. Díky vysoké spalovací teplotě vyhoří podstatná část hořlavých složek a dokonalému spalování napomáhá možnost spolehlivé regulace množství spalovacího vzduchu. Z ohniště vstupují horké spaliny do horní části keramického výměníku s přepážkami, značně prodlužujícími dráhu spalin a zabezpečujícími co možná nejintenzivnější přestup tepla ze spalin do veškeré keramické hmoty kamen. Zpočátku ještě vysoká teplota umožní dohoření hořlavých složek, postupně směrem nahoru teplota klesá a nakonec spaliny vstupují do komína. V průběhu spalování paliva roste teplota kamen a teplo se stále více akumuluje do jejich stěn. Možnost akumulovat další teplo ze spalin se postupně snižuje a teplota spalin na vstupu do komína roste. V tomto stadiu je spalování dalšího paliva zbytečné. Kamna se uzavřou, aby vzduch neproudil ohništěm v důsledku komínového tahu a nevychlazoval kamna zevnitř a kamna pak ještě dlouho předávají naakumulované teplo do místnosti [62].

K tomu, aby popsáný jednoduchý, spolehlivý a efektivní způsob vytápění fungoval, je zapotřebí zvolit dobrou konstrukci kamen s dostatečně kapacitními stěnami a s možností těsně uzavřít ohniště po posledním přiložení paliva. Je samozřejmé, že malá dvířka budou těsnější, na druhé straně možnost uzavřít

ohniště velkými prosklenými dvířky představuje mnohem lákavější řešení. Při dnešní pestré a kvalitní nabídce kachlí a vzhledem k možnosti téměř neomezeného tvarového řešení zájem o kachlová kamna stále roste. Stále více se staví kamna tzv. lehké konstrukce, u kterých jsou spaliny z ohniště naváděny přímo do komína a horní prostor je pouze obestaven keramikou. Toto provedení má výrazně menší schopnost akumulace tepla, což ovšem uživateli nevadí, protože kamna nejsou hlavním zdrojem tepla. Jak ovlivní konstrukce kamen jejich provozní vlastnosti ukazuje Obrázek 8, na kterém jsou uvedeny výsledky srovnávacích měření.



Obrázek 8 Srovnání provozních vlastností kachlových kamen těžké (KK1) a lehké (KK2) konstrukce – průběh průměrných povrchových teplot

Křivky popisují průběh průměrné povrchové teploty kamen při dlouhodobé zkoušce, kdy byla kamna prvních 8 hodin vytápěna dřevem na jmenovitý tepelný výkon cca 12 kW a po dosažení konstantní teploty spalin na vstupu do komína uzavřena. Srovnání ukazuje, že klasická kamna těžké konstrukce dosáhla při chladnutí povrchové teploty 40 °C o šest hodin později, než kamna lehká a to za srovnatelných podmínek pro jejich ochlazování [1].

2.4 Kotle pro ústřední vytápění

K vytápění rodinného domu je zapotřebí kotle o výkonu nanejvýš několika málo desítek kilowatt. Záleží to na klimatických podmínkách, lokalitě, celkové dispozici, konstrukci a způsobu využívání domu. Tepelné ztráty moderních domů se vyjadřují v jednotkách kilowatt. Při rozhodování o druhu paliva a typu

kotle bude vždy stát na jedné straně uživatelský komfort a na straně druhé celkové, tj. investiční a provozní náklady.

2.4.1 Plynové kotle

Ze současné široké nabídky je nutné na prvním místě uvést plynové kotle pro spalování zemního plynu. Díky rozsáhlé plynofikaci je zemní plyn poměrně široce dostupný a jeho energetické a environmentální parametry jsou bezkonkurenční. K dispozici je široká škála kotlů, lišících se cenou i technickým provedením a protože není cílem této publikace představit aktuální sortiment, chceme pouze upozornit na význam provozní spolehlivosti, životnosti a dosažitelnosti servisu při rozhodování.

Snaha výrobců o dosažení co možná nejvyšší účinnosti plynových kotlů vedla k vývoji kotlů schopných částečně využít kondenzační teplo vodní páry, vždy obsažené ve spalinách. Je to technicky dokonalé řešení a při nabídce těchto kondenzačních kotlů výrobci argumentují mimořádně vysokou účinností, převyšující sto procent. To samozřejmě není možné. Taková argumentace pouze upozorňuje na to, že standardní metodika výpočtu v tomto případě selhává. Nicméně dosahují kondenzační kotle velmi vysoké účinnosti, blíží se 100%, jenže nic není zadarmo. Kondenzační kotle jsou vždy výrazně dražší a aby bylo možné využít jejich dobrých vlastností je nutné jim přizpůsobit systém vytápění. Pro maximální využití kondenzačního efektu musí být použito nízkoteplotní vytápění, nejlépe podlahové, protože jedině tak lze zajistit, že ve spalinách obsažená vodní pára bude ještě v kotli kondenzovat. Teplota rosného bodu, tj. teplota při níž začne vodní pára kondenzovat, je cca 42 °C. Část vodní páry bude pak kondenzovat v komíně, který proto musí být vybaven odvodem kondenzátu.

Účinnost kotle tedy není zdaleka jediným významným parametrem. Vzhledem k jistotě trvalého růstu cen všech paliv, nejen zemního plynu, je v zájmu snižování nákladů na vytápění zapotřebí věnovat pozornost celému systému vytápění a zejména tepelným ztrátám a způsobu vytápění budovy. Zde jsou k dispozici podstatně větší možnosti dosažení úspor, než nabízí pouhé použití kotle s vysokou účinností.

Vytápění zemním plynem představuje v dlouhodobém výhledu nejracionalnější řešení. Jistý cenový růst paliva lze výrazně kompenzovat hospodárnějším provozem a nakonec bude nutné vzít na vědomí, že energie bude stále vzácnějším zbožím.

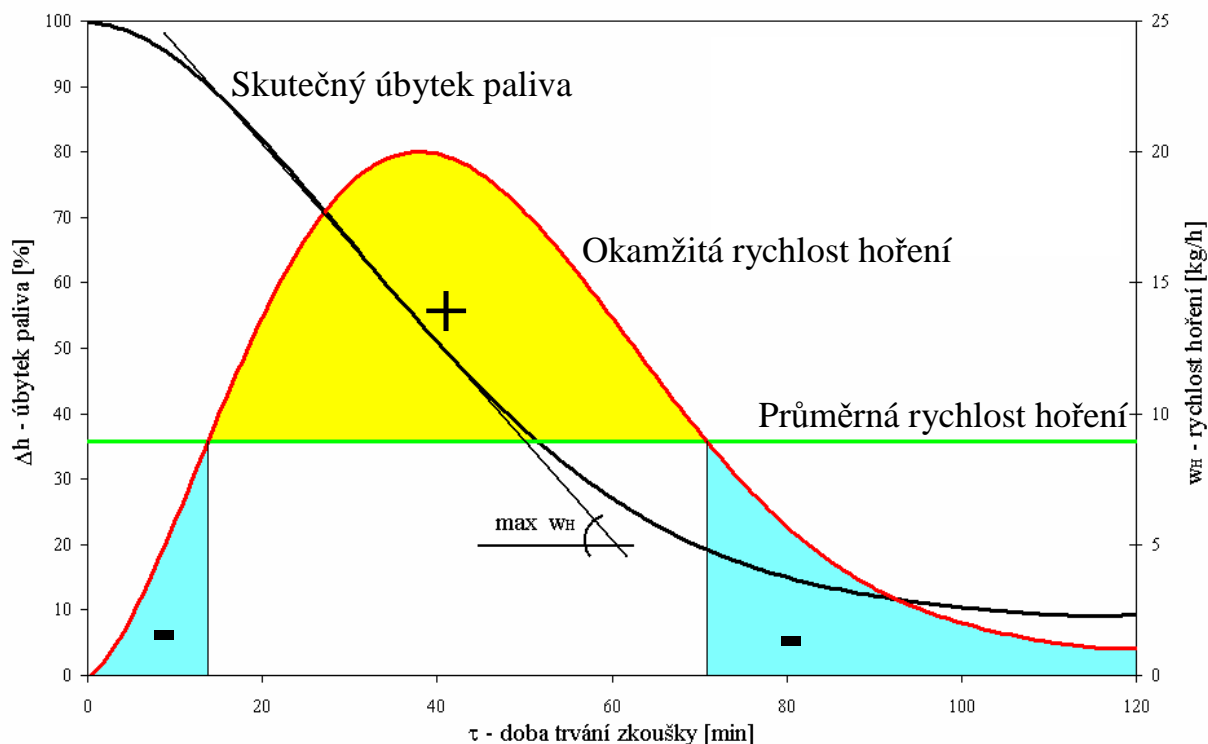
2.4.2 Kotle na tuhá paliva s pevným roštem

Klasickým palivem pro ústřední vytápění bylo donedávna uhlí, případně obecněji tuhá paliva. I dnes se k němu mnozí obracejí, zaskočení růstem nákladů na komfortnější způsoby vytápění. V zásadě nelze proti vytápění uhlím

nic namítat. Jenže je nutné vzít na vědomí, že žijeme na počátku 21. století a systémy spalování z poloviny minulého století již nejsou přijatelné.

Klíčový problém představuje, samozřejmě vedle nákladů, nevhodná technologie spalování. Výrobci oprávněně vycházejí z toho, že kotle určené pro spalování jednoho z nejlevnějších paliv, musí být také levné a proto jednoduché. Klasickým a dosud nejrozšířenějším konstrukčním řešením je velkoobjemové ohniště (se spodním odhoříváním, nebo prohořívací), do kterého lze pro co možná nejdelší periodu přikládání přiložit najednou velké množství paliva. Čerstvě přiložené palivo se postupně zahřívá, vysušuje a poté se začíná uvolňovat prchavá hořlavina, jejíž zapálení představuje počátek hoření. Tento proces probíhá různou rychlostí, danou konstrukcí a kvalitou provedení kotle, vždy však je ve fázi zapalování a počátku hoření v ohništi nedostatek spalovacího vzduchu [39]. Ten vede k nedokonalému spalování a tvorbě typických škodlivin, značně obtěžujících okolí. Na první pohled se zdá, že by věci pomohla regulace množství spalovacího vzduchu. Jde však o levné kotle a jednoduchý způsob regulace nebývá dostatečně účinný.

Celou záležitost objasňuje ve zjednodušené formě Obrázek 9, popisující podstatná fakta o vyhořívání dávky uhlí, přiložené najednou do ohniště. V průběhu dvouhodinové zkoušky se spálilo 18 kg uhlí, průměrně tedy 9 kg za hodinu – viz křivka průměrné rychlosti hoření. Z průběhu křivky skutečného úbytku paliva vidíme, že brzy po přiložení začíná palivo hořet, jeho spotřeba (tj. úbytek v ohništi) stále narůstá a teprve po čtyřicáté minutě začne, nejprve zvolna, klesat. Z křivky okamžité rychlosti hoření (spotřeby paliva) vyplývá, že okamžitá rychlost hoření (cca 20 kg/hod ve 40. minutě) je více než dvakrát větší, než průměrná. Rychlost hoření určuje tepelný výkon ohniště a měl by jí také odpovídat přívod spalovacího vzduchu. To není snadné zajistit a proto je obvykle na počátku a na konci příkládacího cyklu v ohništi přebytek vzduchu („+“ oblast grafu) a ve střední části („-“ oblast grafu), kdy je výkon kotle největší, jeho nedostatek [1].

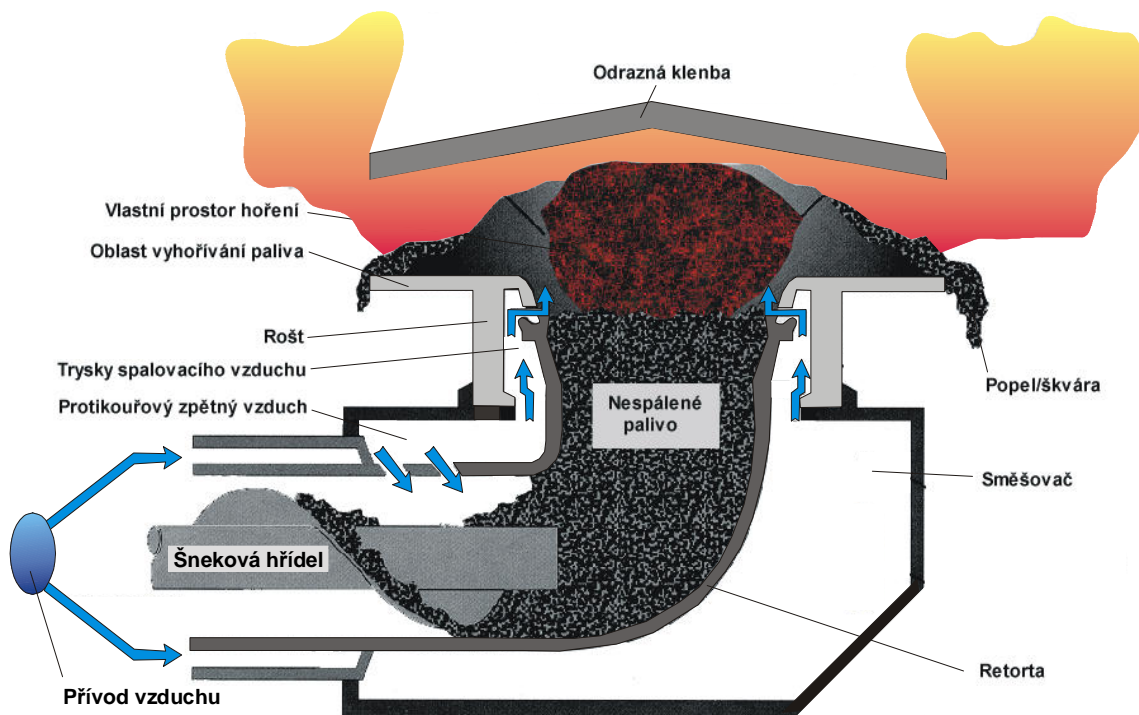


Obrázek 9 Vyhořívání dávky uhlí v ohništi

Není možné jednoduchou, spolehlivou a levnou regulací zajistit aktuálně potřebné množství spalovacího vzduchu do ohniště a proto budou kotle tohoto typu stále dělat ostudu uhlí a obtěžovat okolí. Samozřejmě a bohužel jsou stále nejpoužívanější.

2.4.3 Automatické kotle na tuhá paliva

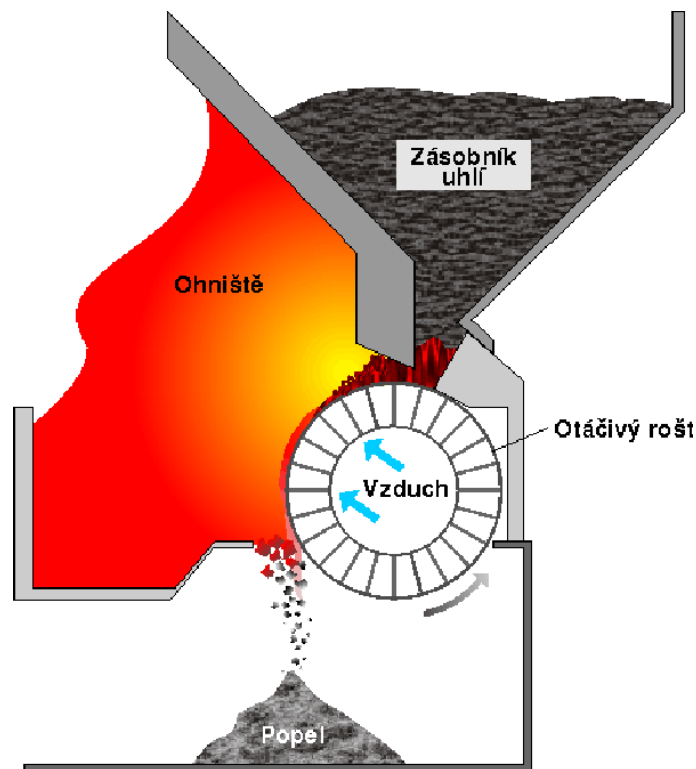
Moderní kotle na spalování uhlí používají systém kontinuálního přívodu paliva do ohniště. To musí být konstrukčně řešeno zcela jinak. Zůstaneme-li u předchozího příkladu s průměrnou spotřebou paliva 9 kg/hod znamená to, že budeme nepřetržitě přivádět do ohniště velmi malé množství uhlí, 150 g/min. Spalovací proces bude vyrovnaný, rovnoměrný, rovněž tak spotřeba spalovacího vzduchu a nebude činit potíže spalování optimalizovat k vysoké účinnosti a minimální produkci škodlivin. Technicky má takové řešení jeden háček. Čím menší množství uhlí je zapotřebí nepřetržitě dopravovat do ohniště, tím musí být jeho jednotlivé částice jemnější, menší. Je dosti obtížné představit si dopravní zařízení, které během minuty spolehlivě dopraví do ohniště pouhých 15 dkg uhlí. Je však možné palivo dopravovat přetržitě, periodicky a celý proces automatizovat tak, že impulsem k spuštění dopravníku bude výstupní teplota spalin, nebo vody. Příkladem takového řešení je ohniště, moderního kotle s (dis) kontinuálním přívodem paliva, jehož principiální schéma uvádí Obrázek 10 a které bylo poprvé vyvinuto firmou CRE v Anglii [1].



Obrázek 10 Schéma ohniště kotle CRE

Šnekový dopravník dopravuje tříděné uhlí velmi zvolna do retorty, kde horní vrstva paliva trvale hoří. Prostor nad vrstvou je kryt keramickou klenbou, která napomáhá udržení dostatečně vysoké teploty hoření. V horní vrstvě uhlí vyhořívá a nepřetržitým tokem paliva vypadává popel přes okraj vrstvy dolů do popelníku. Popsané řešení poskytuje uživateli podstatně vyšší komfort. V zásobníku palivo vydrží na více dní, provoz kotle lze regulovat podle potřebného tepelného výkonu a obsluha kotle se usnadní. Je pouze nutné občas doplnit zásobník a vyprázdnit popelník. Podobné vlastnosti jako kotel se šnekovým dopravníkem a retortou má kotel, používající ohniště s otáčivým roštem podle Obrázek 11.

Princip činnosti je velmi jednoduchý. Pomalu se otáčející bubnový rošt odebírá palivo ze zásobníku, palivo se poté zapálí a vyhoří a v poslední fázi vypadává popel do popelníku. Spalovací vzduch je přiváděn středem bubnového roštu a jeho množství, stejně jako otáčky roštu, lze regulovat podle požadovaného tepelného výkonu.



Obrázek 11 Ohniště s otáčivým roštem

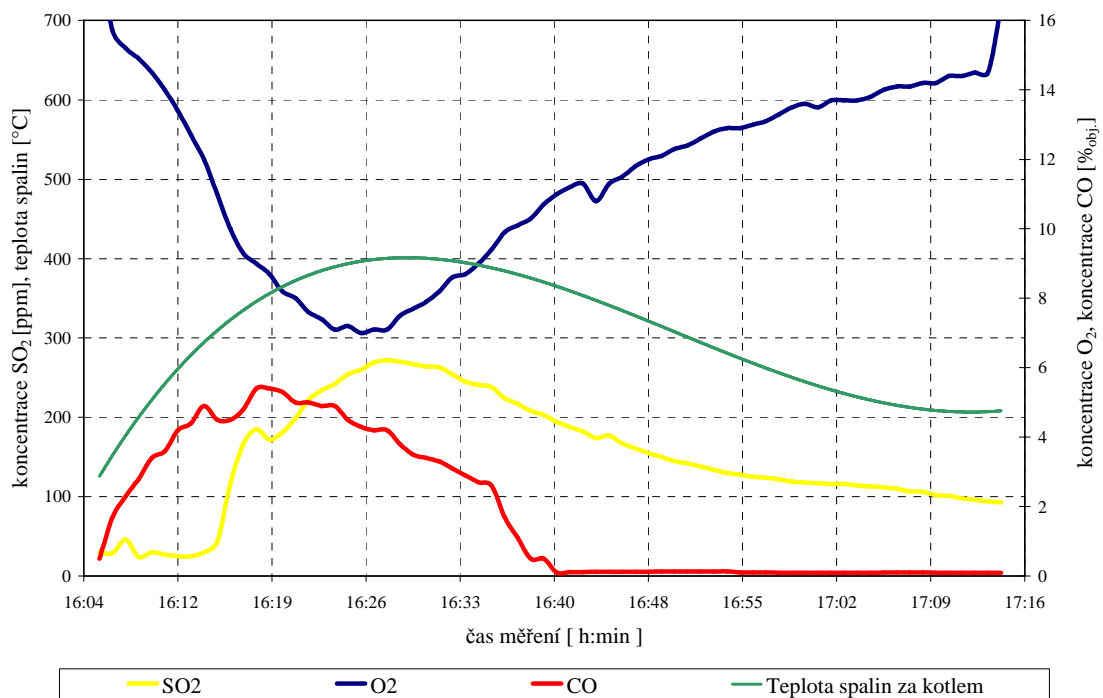
Oba popsané principy spalování dnes domácí výrobci kotlů nabízí. Z již uvedených důvodů nemůže být doprava paliva kontinuální, ale uskutečňuje se v častých a poměrně krátkých periodách, daných potřebným výkonem kotle. Z tohoto ohledu umožňuje ohniště se šnekovým dopravníkem a retortou podstatně větší regulační rozsah výkonů, neboť uhlí v retortě zůstává žhavé po velmi dlouhou dobu.

Provozní a uživatelské vlastnosti klasických velkoobjemových a moderních ohnišť jsou zřejmé. Ohniště s kontinuální dopravou paliva umožňují automatickou regulaci podle okamžité potřeby tepelného výkonu a vyžadují pouze dočasnou obsluhu, spočívající v doplnění zásobníku a odstranění popela. Jejich velikou předností je, že poskytují možnost optimalizovat spalovací proces a výrazně tak snížit produkci škodlivin. Dokládají to záznamy kontinuální analýzy spalin, pocházející z akreditovaných zkoušek dvou typů kotlů srovnatelného výkonu při spalování stejného paliva, Obrázek 12 a Obrázek 13.

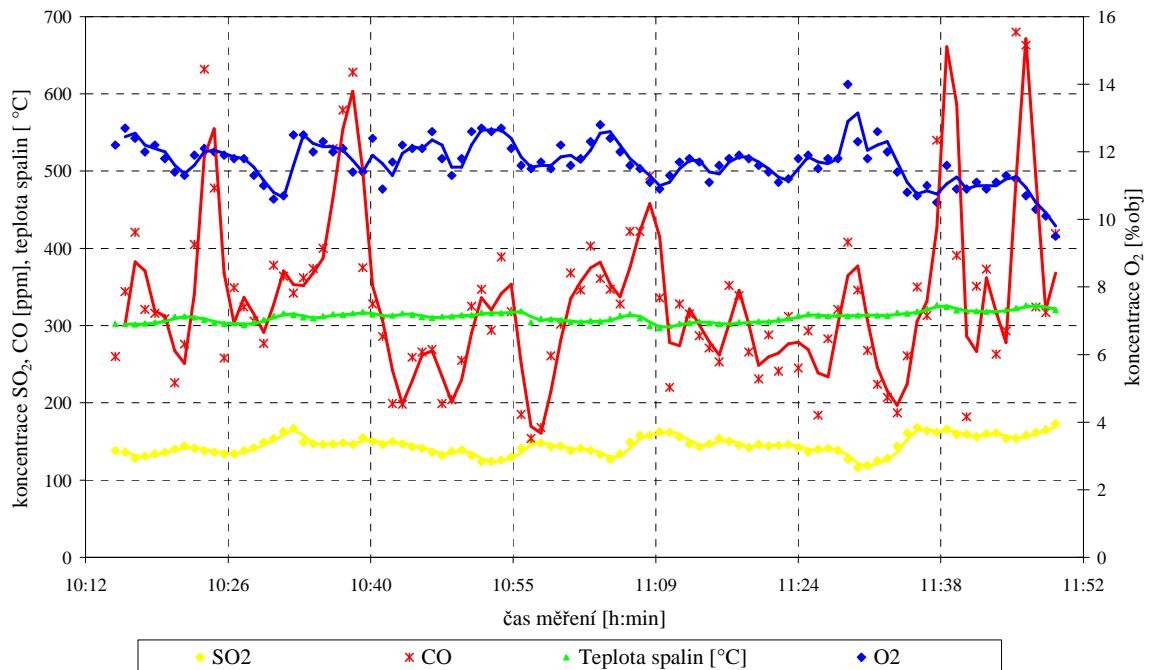
Při první zkoušce byla do kotle, vyhřátého na provozní teplotu, najednou přiložena dvouhodinová dávka uhlí. Ta se postupně ohřívala, uvolňovala prchavou hořlavinu, která se zapalovala, jenže díky nízké teplotě se částečně spalovala pouze na oxid uhelnatý. Jeho koncentrace ve spalinách dosáhla po patnácti minutách více než pěti procent. Podobný trend je zaznamenán také u oxidu siřičitého, jehož koncentrace však závisí na obsahu spalitelné síry v palivu. Koncentrace oxidu uhelnatého klesá na přijatelné hodnoty teprve po více než půlhodině a právě tato půlhodina poškozuje pověst uhlí. Do komína

odcházejí spaliny s vysokým obsahem oxidu uhelnatého, najdeme zde vysoké koncentrace polyaromatických uhlovodíků, sirovodíku a nespálených jemných uhelných částic [33].

Zkouška na kotli s kontinuálním přívodem paliva ukazuje zcela odlišný průběh všech sledovaných složek spalin. Kolísavé průběhy koncentrací odpovídají regulaci výkonu, přerušované dodávce paliva v několikaminutových intervalech. Kvalita spalování se výrazně zvýšila, neboť průměrná koncentrace oxidu uhelnatého dosahuje hodnoty cca 350 ppm, tj. 0,035 %. V takových podmínkách je spalovací proces stabilní, vyrovnaný a dobře zásobovaný kyslíkem, nebudou se proto vytvářet další nepříjemné a škodlivé složky spalin a ukázalo se také, že spalovací podmínky v retortě znatelně posilují odsiřovací efekt při použití aditivovaného uhlí [33].



Obrázek 12 Složení spalin, klasický kotel



Obrázek 13 Složení spalin, kotel s kontinuálním přívodem paliva

Aditivace uhlí pro spalování v malých zdrojích je v zásadě velmi dobrá myšlenka. Uhlí se smíchá s vhodným množstvím alkalického sorbetu, nejčastěji s mletým vápencem, nebo vápenným hydrátem, na který se pak naváže vzniklý oxid siřičitý [34]. Záleží však na tom, zda konkrétní ohniště takový proces umožňuje.

Ve velkoobjemovém ohništi klasických kotlů se zapaluje a hoří najednou velké množství uhlí a ve vrstvě žhavého uhlí, kde se nachází aditivum, je nedostatek kyslíku a síra nemůže shořet na oxid siřičitý. Za těchto podmínek přecházejí organismy vázané sloučeniny síry do plynné fáze jako sirovodík, organické sulfidy a další sirnaté organické látky [46]. Tyto plynné složky dohoří na oxid siřičitý až v prostoru nad vrstvou uhlí, kde však není přítomno aditivum. Odsiřovací efekt je proto v těchto případech velice malý.

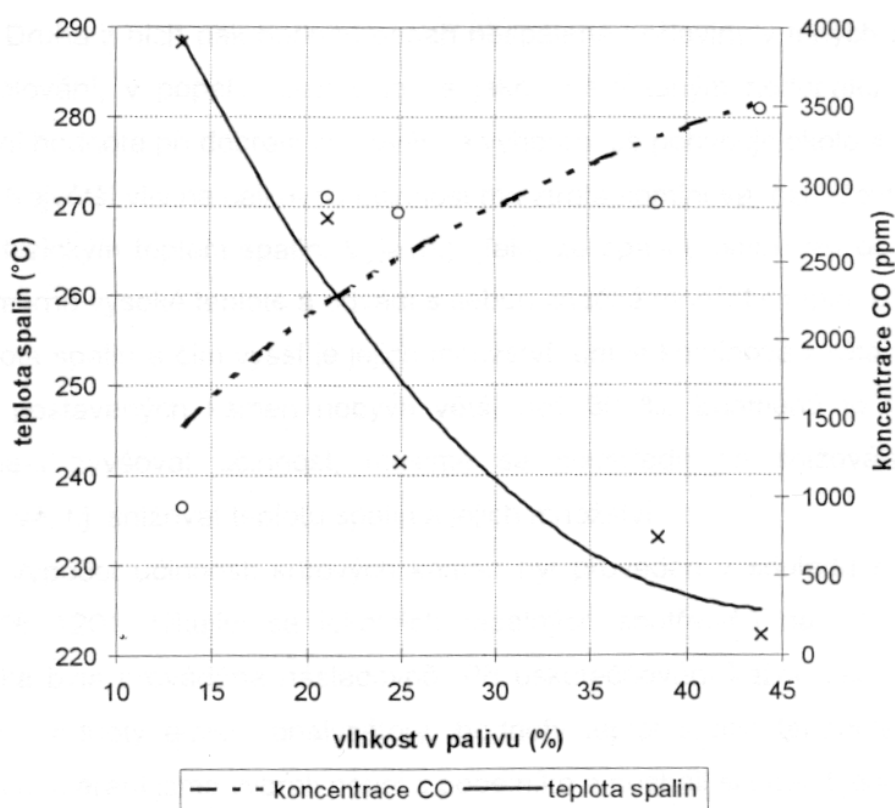
U ohniště s kontinuálním přívodem paliva je stále zajištěno prostředí s dostatkem kyslíku a ve vrstvě vzniklý oxid siřičitý může rovnou reagovat s aditivem. Účinnost odsíření při použití aditivovaného uhlí na kotli s otáčivým roštem se při zkouškách pohybovala kolem 16 % a při spalování v kotli s retortou v rozsahu 30 – 45 % [1].

Z uvedených faktů je zřejmé, že budoucnost uhlí, jako paliva pro ústřední vytápění, musí vycházet ze zásadní modernizace kotlů. Rozdíly jsou přesvědčivé, jenže velmi rozdílné jsou také náklady. Pro spalování v kotlích s kontinuálním přívodem paliva je bezpodmínečně nutné používat dražší tříděné uhlí a moderní kotel bude ve srovnání s klasickým zhruba čtyřikrát dražší. Nicméně nabídka existuje a zájemce si může vybírat.

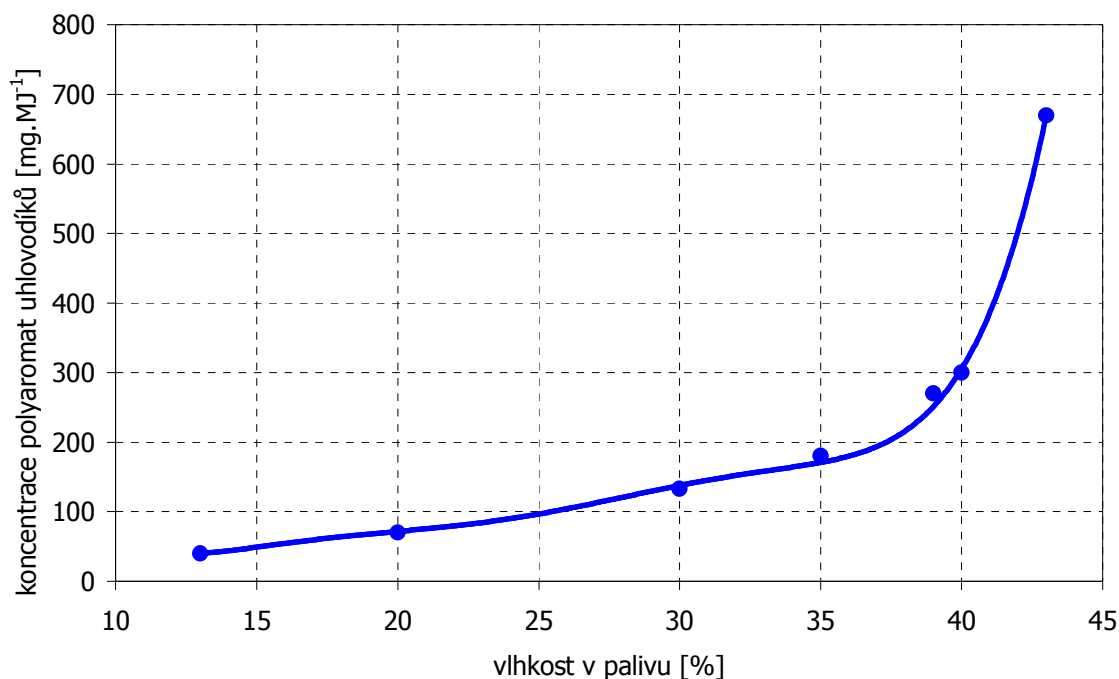
2.4.4 Kotle používající dřevo

Přirozený zájem o snižování nákladů na vytápění obrací pozornost veřejnosti ke dřevu. Je navíc umocňován propagací obnovitelných zdrojů energie, mezi něž dřevo, či obecněji biomasa, samozřejmě patří. Existuje proto široká nabídka kotlů na spalování dřeva, zahrnující rozmanitá technická řešení od kotlů s pravidelným přikládáním kusového dřeva až po kotle se zásobníkem paliva a jeho rovnoměrnou dodávkou do ohniště.

Z hlediska spalovacího procesu je pro dřevo typický vysoký obsah prchavé hořlaviny. Ohniště pro spalování dřeva musí proto mít dostatečně velký objem, aby uvolněné hořlavé plyny v něm mohly co nejdokonaleji vyhořet. Pro spalování dřeva platí stejné principy, jako pro spalování uhlí. U kotlů s jednorázovým přikládáním větší dávky paliva bude spalovací proces probíhat v podobném cyklu, jaký je popsán na Obrázek 13 s tím, že emisní koncentrace škodlivin ve fázi maximálního hoření budou nižší a svou skladbou celkově příznivější (dřevo neobsahuje síru) [65]. Právě v těchto případech se nejvíce projeví vlhkost spalovaného dřeva, neboť voda, obsažená v palivu, snižuje teplotu v ohništi a podporuje tak produkci oxidu uhelnatého a polyaromatických uhlovodíků, jak ukazují závislosti na Obrázek 14 a Obrázek 15.



Obrázek 14 Vliv vlhkosti dřeva na produkci oxidu uhelnatého



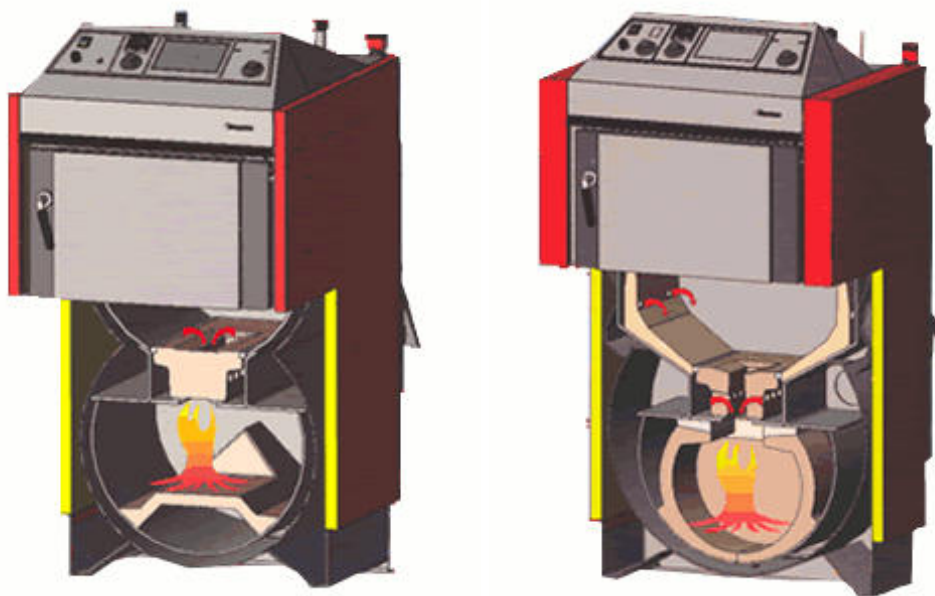
Obrázek 15 Vliv vlhkosti dřeva na produkci polyaromatických uhlovodíků

Jakkoliv patří dřevo bezesporu k palivům „přátelským“ k životnímu prostředí, je nutné vždy respektovat požadavky spalovacího procesu a spalovacího zařízení. Zejména u nejjednodušších konstrukčních kotlů je zapotřebí používat dostatečně vysušené palivo (cca 20 % vody) a nepřetěžovat kotel velkými dávkami najednou přiloženého paliva.

U kotlů pro jednorázové přikládání paliva se nabízí vedle klasického provedení s jedním rozměrným ohništěm také tzv. zplyňovací kotle. Je nutno vzít na vědomí, že spalování každého tuhého paliva probíhá nejdříve ve fázi zplyňovací, kdy se tuhá hořlavina přemění na hořlavé plyny a po ní následuje fáze spalovací, ve které hořlavé plyny dohoří. U zplyňovacích kotlů jsou tyto dvě fáze od sebe prostorově odděleny, což umožňuje lepší řízení celého procesu a dosažení vysoké účinnosti spalování.

Kotle jsou konstruovány tak, že vrchní část kotle slouží jako zásobník paliva a spodní část jako spalovací komora a popelník. Mezi nimi je umístěna zplyňovací část, která je nazývána zplyňovací tryskou nebo také zplyňovacím roštem, viz Obrázek 16. Nejčastějším palivem bývá dřevo a hnědé uhlí. Kotle jsou vybaveny automatickým řízením a proto se nároky na obsluhu minimalizují a zůstává pouze u občasného naplnění zásobníku (cca 1-3x za den) a odstraňování popele. Ve zplyňovacích kotlích, které dosahují účinnosti 85 – 90%, lze docílit výrazné úspory paliva oproti klasickému systému prohořívání paliva. Podmínkou vysoké účinnosti je použití suchého dřeva s vlhkostí do 20% [5].

Zplyňovací kotel má dvě hlavní konstrukční varianty podle způsobu práce ventilátoru. Ten může buď vhnět spalovací vzduchu do kotle, což vytváří přetlak v kotli (Obrázek 16), nebo v druhé variantě je ventilátor umístěn na výstupním hrdle kouřovodu a odsává spaliny z kotle ven. V kotli se tak vytváří podtlak, který zabraňuje možnému úniku spalin z kotle ven netěsnostmi do místnosti, umožňuje prakticky bezprašné vybírání popela a obecně zvyšuje účinnost kotle a zlepšuje kvalitu spalování.



Obrázek 16 Řez zplyňovacím kotlem [95]

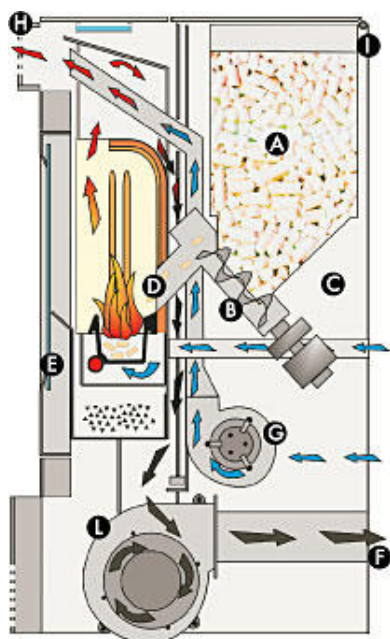


Obrázek 17 Zplyňovací kotel na dřevo s ventilátorem na přívod vzduchu [94]

Dokonalejším technickým řešením jsou kotle s kontinuální dopravou paliva do ohniště, která přináší podobné výhody, jako tomu je u spalování uhlí. Stabilní a vyrovnaný spalovací proces minimalizuje emisní koncentrace škodlivin a není také tolik citlivý na obsah vody v palivu. Standardním řešením je rozdělení ohniště na dvě části, menší, do níž se přivádí palivo a ve které se uvolňuje prchavá hořlavina a větší, kde hořlavé složky dohořívají. Samotná konstrukce ohniště není příliš obtížná. Vlastnosti paliva se výrazně nemění, obsah popelovin je nízký a tak jediným náročným úkolem je zabezpečení dokonalého vyhoření hořlavých plynů. Náročné je však řešení dopravy paliva, lépe řečeno manipulace s palivem.

Systém zásobování kotle palivem vyžaduje zásobník, zařízení pro dopravu paliva do ohniště, zabezpečení proti zahoření paliva v dopravní cestě, či v zásobníku a komplexní regulační systém. To vše klade dosti omezující požadavky na úpravu paliva, neboť systém musí být spolehlivý a bezpečný. Z těchto důvodů přichází v úvahu palivo, upravené jako štěpka, brikety, nebo pelety vhodných rozměrů. Je samozřejmé, že všechny naznačené požadavky vedou k dosti složité konstrukci, která nemůže být levná.

Jestliže na levný konec nabídky postavíme klasický a běžně známý kotel s velkoobjemovým ohništěm na ruční přikládání kusového dřeva, který lze pořídit za řádově deset tisíc korun, pak na druhém konci může stát kotel s automatickou dopravou štěpky a pelet do ohniště s plně automatickým řízením spalování (vč. automatického zapalování paliva, řízení množství kyslíku ve spalínách pomocí Lambda sondy, regulací podtlaku ve spalovací komoře, automatického řízení množství primárního a sekundárního vzduchu, apod., Obrázek 18, Obrázek 19), s cenou v řádu statisíců korun.



- A – zásobník na pelety
- B – šnekový podavač paliva
- C – pohon podavače
- D – spalovací komora
- E – odporový elektrický člen
- F – výstup spalin z kotle
- G – ventilátor pro ohřívání vzduchu
- H – výstup ohřátého vzduchu
- I – ovládací panel
- J – spalinový ventilátor

Obrázek 18 Automatický kotel na pelety [96]



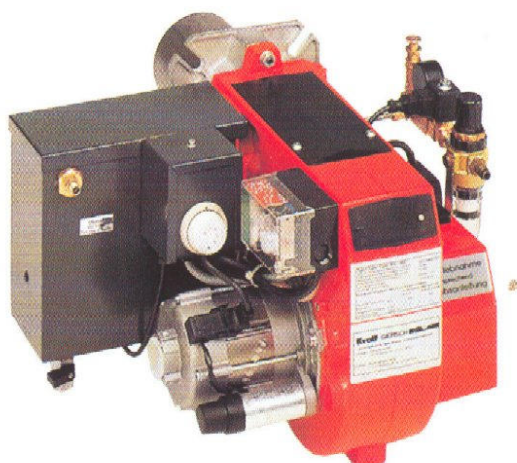
Obrázek 19 Automatický kotel na pevná paliva [97]

Znovu se potvrzuje, že relativně nízká cena tuhých paliv je v případě moderních a současným provozním a environmentálním požadavkům vyhovujících zařízení na jejich spalování kompenzována vysokou cenou spalovacích zařízení, kotlů. Není snadné orientovat se v aktuální nabídce a ještě obtížnější je učinit ekonomicky správné rozhodnutí.

2.4.5 Kotle na kapalná paliva

V poslední době zůstávají stranou zájmu kotle na kapalná paliva. Po jejich poměrně intenzivním rozvoji počátkem 90. let minulého století nastal útlum díky rozsáhlé plynofikaci a nabídce dodávky zkapalněných či komprimovaných plynů. Kotle jsou vesměs vybaveny rozprašovacím hořákem, který je schopen topný olej dostatečně jemně rozprášit, což je jedna z podmínek dokonalého vyhoření. Jejich provoz je automatický, vyžaduje však pravidelnou údržbu hořáku a čištění kouřovodu (odstraňování popílku).

Lákavě vypadá možnost spalovat odpadní oleje. Jsou to oleje, vznikající vyřazením motorových, převodových, hydraulických, turbínových a dalších olejů z provozu po skončení doby jejich životnosti [45].



Obrázek 20 Hořák na olej kroll o výkonu 35 – 59 kW

Tyto oleje jsou znečištěny produkty oxidace, tepelného namáhání a otěrem kovových mechanických částí. Jejich spalování je upraveno Zákonem o ochraně ovzduší a podléhá schválení Českou inspekcí životního prostředí. Příklad hořáku na kapalná paliva je uveden na Obrázek 20.

3 Emise znečišťujících látek z malých zdrojů na vytápění

Každý spalovací proces, při kterém je palivo spalováno za přítomnosti vzduchu, jako okysličovadla, produkuje jisté množství látek, které jsou považovány za škodliviny. Ty jsou pak ve větším, nebo menším množství obsažené ve spalinách, vypouštěných do ovzduší. Podstatnými a vždy ve spalinách přítomnými složkami spalin jsou dusík (ze spalovacího vzduchu), oxid uhličitý (konečný produkt hoření uhlíku), vodní pára (voda z paliva a ze spalovacího vzduchu a voda vzniklá spálením vodíku z paliva) a při spalování nevyužitý vzdušný kyslík. Všechny další složky se ve spalinách vyskytují ve výrazně menším množství a mnohé z nich jsou označovány jako škodliviny.

Všeobecný zájem omezit produkci škodlivin a jejich emise do ovzduší vedl k legislativnímu opatření, realizovanému zákonem o ochraně ovzduší před znečišťujícími látkami, který definuje škodliviny a stanovuje jejich přípustné emisní koncentrace ve spalinách. Spalování paliv pro jejich energetické využití je tímto zákonem v obecné rovině znevýhodněno tím, že je předepsán pouze omezený počet sledovaných škodlivin: oxid uhelnatý (CO), oxid siřičitý (SO₂), oxidy dusíku (NO_x) a tuhé znečišťující látky (TZL) [42].

Systém omezování emisí škodlivin ze spalovacích zařízení vyžaduje stanovení zákonných emisních limitů a způsobu kontroly jejich dodržování a metodiku zpoplatňování produkce škodlivin. Není obtížné uplatnit takový systém u velkých průmyslových zdrojů, s jistým omezením lze podobně uspět i u menších zdrojů z podnikatelské sféry, velmi obtížné, ne-li nemožné, je zavést efektivní systém omezování emisí škodlivin u malých zdrojů pro vytápění v občanské sféře. Každý typ vyráběného spalovacího zařízení musí být před uvedením na trh podroben zkouškám v autorizované zkušebně. Tyto zkoušky prokazují, že při výrobcem předepsaném způsobu provozování a při spalování předepsaného paliva zařízení splňuje zákonné podmínky [2]. Dále již legislativa nesáhá a uživatel si může zařízení provozovat po svém a spalovat libovolně palivo. Zde může pomoci především osvěta a posílení občanské odpovědnosti a ohleduplnosti.

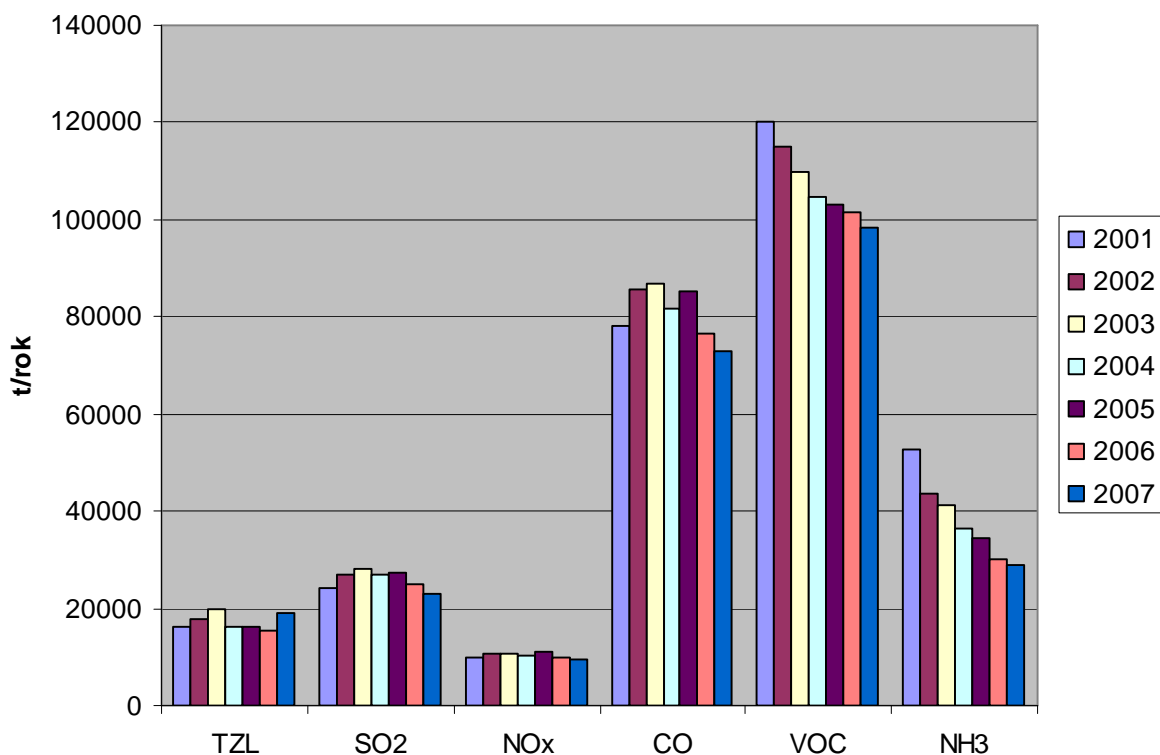
3.1 Vývoj emisí znečišťujících látek z malých zdrojů vytápění

Vývoj vypočtené hodnoty emisí v letech (2001 – 2007) dle metodiky stanovování emisí z malých zdrojů znečišťování v rámci Registru emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO 3), produkovaných spalováním fosilních paliv v

malých zdrojích znečišťování, pro jednotlivé znečišťující látky je uveden na Obrázek 21.

K největšímu poklesu celkového množství emisí škodlivých látek došlo u NH_3 o 40 % a u VOC o 20 %. U emisí ostatních škodlivin (TZL, SO_2 , NO_x a CO) byl vývoj kolísavý a v podstatě k výraznějšímu snížení nedošlo. Emise TZL a NH_3 tvoří cca 50 % z celkových emisí ze stacionárních zdrojů znečištění. U emisí CO je to 30 % a u SO_2 19 %. Nejmenší podíl tvoří emise NO_x (6 %) a VOC (9 %). Srovnáním celkových emisí vznikajících spalováním fosilních paliv ve zdrojích znečištění ovzduší dojdeme k důležitému poznání. Emise z malých zdrojů znečištění tvoří podstatnou část celkových emisí. Z pohledu rozptylu a charakteristické výšky komínů se toto konstatování jen umocňuje. Porovnání absolutních hodnot ročních produkcí emisí pro jednotlivé REZZO neposkytuje přesnou informaci o závažnosti postižení životního prostředí. Emise u REZZO 3 jsou místem svého vypouštění do okolí („nízkoúrovňové emise“) zcela odlišné od emisí z větších zdrojů [43]. Výška komínů u malých zdrojů se ve většině případů pohybuje v rozmezí 5 až 12 metrů, zatímco výška komínů u velkých zdrojů je několikanásobně větší.

K posouzení území z hlediska imisní situace je nezbytná nejen bilance škodlivin, ale i podrobná znalost zákonitostí a lokálních podmínek pro přenos škodlivin. Zjednodušeně řečeno, hodnocení rozptylu vychází z podmínek statické teorie turbulentní difúze a popisu náhodného pohybu částice ve vzduchu. Nejdůležitější, člověkem měnitelný parametr ovlivňující rozptyl škodlivin, je výška komínu. Obecně platí, čím vyšší je komín, tím menší budou koncentrace imisí u zemského povrchu (v přízemní vrstvě) na závětrné straně (turbulentní difúze) [29].



Obrázek 21 Množství produkovaných emisí škodlivých látek REZZO 3 v letech 2001 – 2007 [90]

3.2 Látky znečišťující ovzduší

Znečišťující látky definuje zákon o ovzduší (Zákon č. 86/2002 Sb.) [10] jako látky tuhé, kapalné a plynné, které přímo nebo po chemické či fyzikální změně v ovzduší nebo po spolupůsobení s jinou látkou nepříznivě ovlivňují ovzduší a tím ohrožují a poškozují zdraví lidí nebo ostatních organismů, zhoršují jejich životní prostředí, nadměrně je obtěžují nebo poškozují majetek.

Látky znečišťující ovzduší jsou tedy hmotné látky, které nepříznivým způsobem ovlivňují životní prostředí. Nepříznivé ovlivňování se může projevovat různými způsoby, např.:

- škodami na zdraví lidí a zvířat,
- poškozováním prostředí nebo některé jeho složky,
- nepříznivými změnami přirozeného složení ovzduší,
- obtěžováním okolí, zhoršením pohody prostředí (prachem, snížením viditelnosti atd.).

Z hlediska skupenství se znečišťující látky rozdělují na tuhé, kapalné a plynné. V praxi se tyto tři skupiny spojují do skupin podle různých hledisek, např. způsobu odlučování, stanovení úletu atd. [41].

Dle zákona o ochraně ovzduší jsou znečišťující látky rozděleny do pěti hlavních skupin. Nultou skupinu představují tzv. základní znečišťující látky. Mezi tyto látky řadíme:

- tuhé znečišťující látky (TZL),
- oxid siřičitý (SO_2),
- oxidy dusíku (NO_x),
- těkavé organické látky (VOC),
- těžké kovy,
- oxid uhelnatý (CO),
- amoniak a amonné soli,
- polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH).

Z hlediska chemického složení se látky znečišťující ovzduší dělí např. do těchto skupin:

Sloučeniny síry

- a) anorganické
 - oxidy síry (celkový obsah, suma) – oxid siřičitý, oxid sírový
 - kyselina sírová (mlha), sirovodík, sirouhlík, jiné anorganické sloučeniny síry
- b) organické
 - trioly (merkaptany, např. metanthiol), dimetylsulfid, dimetyldisulfid, jiné organické sloučeniny síry

Sloučeniny dusíku

- a) anorganické
 - oxidy dusíku (celkový obsah, suma) – oxid dusnatý, oxid dusičitý, oxid dusný
 - kyselina dusičná, amoniak, dusitany, kyanovodík, kyanidy, peroxodusičnany, jiné anorganické sloučeniny dusíku
- b) organické

- aminy, peroxyacetylnitrát, dimethylformamid, jiné organické sloučeniny dusíku (rozpouštědla)

Sloučeniny halogenů

- a) anorganické
 - fluor, fluorovodík, fluorid křemičitý, chlor, chlorovodík, brom, jiné anorganické sloučení halogenů
- b) organické
 - chlorované uhlovodíky (např. DDT, trichloretylen, perchloretylen, chlorbenzen, chloroform), trifluormetan, jiné organické sloučeniny halogenů

Sloučeniny uhlíku

- a) anorganické
 - oxidy uhlíku – oxid uhelnatý, oxid uhličitý
- b) organické
 - uhlovodíky – alifatické, nasycené i nenasycené, aromatické (benzen, toluen, xylen), alicyklické, polycyklické a heterocyklické
 - alkoholy (metanol, etanol, propanol, butanol, etylenglykol), fenol, kresol, xylenom, ethery a estery, aldehydy a ketony, organické kyseliny, benzen a jeho deriváty, jiné organické sloučeniny a směsi (mlhy a páry olejů apod.)

Jiné plynné a kapalné znečišťující látky

- sloučeniny kovů jako je arsenovodík, oxid arsenitý a řada dalších

Někteří autoři rozlišují ještě další skupiny podle jiných vlastností, např. alergeny, karcinogeny, těžké kovy, radioaktivní látky, uhlovodíky, zápach apod. Další podstatné hledisko pro rozdělení znečišťujících látek je míra škodlivosti (nebezpečnost, rizikovost), které představuje samostatná oblast, toxikologie.

3.3 Tuhé znečišťující látky

Tuhé znečišťující látky v proudících spalinách jsou definovány jako částice tuhého skupenství jakéhokoliv tvaru, struktury a hustoty rozptýlené v plynné fázi [11]. Tuhé znečišťující látky obsažené v emisích mohou pocházet pouze

z látek vstupujících do spalovacího procesu. To je především palivo (nedokonale spálená hořlavina, popelovina, produkty tepelného rozkladu paliva jako saze apod.), spalovací vzduch (tuhé příměsi) a samotné spalovací zařízení (rez). Důležitým parametrem TZL je velikost jednotlivé částice, která je základním údajem pro stanovení granulometrického složení prachu. Jelikož se prach skládá z částic různých velikostí, vyjadřuje se poměrné zastoupení jednotlivých velikostí v souboru obvykle zbytkovou charakteristikou. V některých případech se jako charakteristický parametr používá rychlost pádu částice.

Popelovina obsahuje stopové prvky - těžké kovy, které se při spalování distribuují v emisích s popílkem do ovzduší nebo do tuhých zbytků po spalování (škvára, popel). TZL mohou být také ve formě aerosolů. Charakteristickým rysem prašných aerosolů emitovaných ze spalovacích procesů je heterogenita struktur částic. Hrubé částice o rozměrech $10\ \mu\text{m} \div 100\ \mu\text{m}$ jsou tvořeny částicemi polokoksu, koksu, tuhých pyrolýzních zbytků a minerálních látek zbylých po spálení. Složitými fyzikálně-chemickými procesy probíhajícími na povrchu a v okolí hořících částic uhlí vznikají ultrajemné částice, které nesedimentují za určitých podmínek po celé týdny nebo dokonce měsíce a jsou zpravidla značně obohaceny těžkými kovy. Mezi stopové prvky provázející spalování uhlí patří Ba, Be, Pb, Zn, Cr, Ni, Cd, As, Co, Sr, V, Cu, Mo, Tl a Se. Tyto prvky se po spadu dostávají do půdy a narušují půdní ekosystém, resp. se dostávají až do potravinového řetězce.

3.4 Oxidy síry

Oxidy síry vznikají při spalování uhlí oxidací síry obsažené v palivu. Dalšími zdroji jsou energetika a výroba kyseliny sírové. Oxidace síry je exotermická reakce, a proto je síra považována za součást hořlaviny. Nad energetickým přínosem výrazně převažuje negativní dopad oxidů síry na životní prostředí. Některá uhlí obsahují více než 5 % síry (severočeská uhlí 1 – 4 % síry, ostravská uhlí 0,7 %). Síru obsaženou v palivu ve formě řady sloučenin lze rozdělit na část spalitelnou a část nespalitelnou. Nespalitelná část sloučenin síry je obsažena v tuhých zbytcích po spálení ve formě síranů.

Hlavním produktem oxidace síry obsažené v palivu je oxid siřičitý (SO_2) a částečně (cca 1 – 2 %) i oxid sírový (SO_3), jehož množství závisí na obsahu sirných látek v palivu a způsobu spalování. Při špatném seřízení spalovacího procesu může ze sirných komponentů v palivu vznikat ve spalínách sirovodík (H_2S) a to především za redukčních podmínek (nedostatek O_2). Rychlost oxidace SO_2 na SO_3 závisí na povětrnostních podmínkách – teplota, sluneční svit, přítomnost katalyzátorů. SO_3 je okamžitě hydratován vzdušnou vlhkostí na aerosol H_2SO_4 . Kyselina sírová reaguje s alkalickými prachovými částicemi za vzniku síranů. Je-li v ovzduší nedostatek částic, dostává se H_2SO_4 do

srážkových vod, které okyselí na $\text{pH} < 4$. Takto vznikají kyselé deště, jež uvolňují z půdy Cu, Pb, Cd a poškozují půdní organismy a vodu.

Při spalování se vždy část spalitelné síry váže na popelovinu a u uhlí, které má vyšší obsah alkálií se takto může vázat 10 – 20 % vzniklého oxidu siřičitého. Tento stupeň zachycení síry na škváru lze ovlivnit vhodným vedením spalovacího procesu, avšak vždy záleží na poměru obsahu alkálií v popelovině ku obsahu síry v palivu [15]. Tzv. „ekouhlí“, které se dováželo z Ruska, mělo velký obsah vápníku, cca 50 %hm v popelu.

Působení oxidu siřičitého způsobuje poškození dýchacích cest, zvýšení akutního a chronického astmatu, bronchitidy, rozedmy plic [47]. Malé koncentrace SO_2 zapříčiňují hynutí lišejníků a poškození fotosyntetického aparátu vyšších rostlin. Nejvíce působí na jehličnany.

Koncentrace s vyššími hodnotami způsobují:

- 50 mg.m^{-3} – dlouhodobě choroby krevního oběhu bronchitida, zvýšení úmrtnosti,
- 100 mg.m^{-3} – dráždění očí a horních dýchacích cest,
- 500 mg.m^{-3} – poškození činností mozkové kůry,
- $2\,500 \text{ mg.m}^{-3}$ – snižuje průchodnost kyslíku v plicích (udušení).

V zásadě tedy platí, že tvorba oxidů síry je dána složením uhlí a jen málo ji lze snížit vhodným řízením spalovacího procesu. Proto existují pouze dvě použitelné metody snižování jejich emisí. První z nich spočívá v úpravě uhlí před spalováním, při níž je uhlí zbaveno části spalitelné síry. Druhá pak v odstranění vzniklých oxidů síry ze spalin.

3.5 Oxidy dusíku

Oxidy dusíku, souhrnně označované NO_x , představují směs oxidu dusnatého (NO), který tvoří cca 90 %, oxidu dusičitého (NO_2) a oxidu dusného (N_2O , rajský plyn). Dále zde patří N_2O_4 a N_2O_3 , které se však vyskytují velmi omezeně [48]. Ve spalinách představuje podíl NO_2 z celkového množství NO_x jen 5 – 10 %. Podíl N_2O je minimální. Hlavními producenty jsou spalovací zařízení s vysokými teplotami.

Tvorba NO_x je dána reakcí mezi atomem kyslíku a molekulou dusíku. Množství molekulárního kyslíku je úměrné stupni disociace molekuly kyslíku. Tyto procesy mají vysokou energetickou bariéru a jsou tedy výrazně závislé na teplotě.

Podle vzniku se rozlišují tři druhy NO_x , označované jako:

- termické (exponenciální závislost na teplotě, vznikají reakcí s dusíkem dopraveným do ohniště ve spalovacím vzduchu),
- palivové (oxidace dusíkatých složek obsažených v palivu),
- rychlé (vazba molekul dusíku s radikály v reakcích s nízkou energetickou potřebou, svázáno s hořením uhlovodíků, malá oblast plamene).

Fyziologické působení NO_x - nepříznivě působí na vnitřní orgány lidí:

- váže se na hemoglobin – zhoršuje transfer O₂ z plic do krevního oběhu,
- vznik nádorových onemocnění, onemocnění dýchacích cest,
- zvyšuje oxidační potenciál atmosféry,
- novodobé smogy – vysoký obsah NO_x.

Po vstupu spalin do atmosféry dochází k dookysličením NO na několika násobně toxičtější NO₂. Zde hraje hlavní roli atmosférický ozón, který reaguje s NO 10⁵ krát rychleji než molekulární kyslík. Tak dochází k rychlé spotřebě ozónu, který např. zcela chybí v kouřové vlečce (rozptyl znečišťujících příměsí). Oxidy dusíku jsou jedním z hlavních původců fotochemického smogu.

Velikosti emisí NO_x u různých typů kotlů:

- plynové 240 – 1 400 mg.m⁻³
- na topný olej 500 – 1 500 mg.m⁻³
- uhelné 800 – 2 500 mg.m⁻³

Imisní limit NO_x je 100 μg.m⁻³, přičemž krátkodobé maximum je 200 μg.m⁻³. Množství emisí NO_x lze zásadně snížit vhodnou konstrukcí spalovacího zařízení a vhodným řízením spalovacího procesu [66].

3.6 Oxid uhelnatý

Oxid uhelnatý jako bezbarvý plyn bez zápachu vzniká nedokonalým spalováním uhlíku z paliva. Je součástí kouřových výfukových plynů, je obsažen rovněž v koksárenském, vysokopecním a degazačním plynu. Je silně toxický, na hemoglobin se váže mnohem rychleji a cca 200krát pevněji než kyslík, za vzniku karboxyhemoglobinu. Vznik karboxyhemoglobinu pak vede k udušení a otravě [49].

Příčinou nedokonalého spalování je nedostatek spalovacího vzduchu v zóně hoření a může jí být také rychlé ochlazení plamene (nedostatek času potřebného pro proběhnutí oxidace uhlíku na CO₂). Řízením spalovacího procesu se může vznik CO omezit, ačkoliv zcela zabránit vzniku této látky nelze. Doba potřebná pro oxidaci CO na CO₂ představuje několik měsíců až let. Velké množství emisí vzniká v ohništích s periodickým spalováním, kdy je přiložena najednou velká dávka paliva.

3.7 Organické polutanty

Uhlovodíky se vyskytují ve všech geologických formacích v litosféře, hydrosféře i v atmosféře. Některé pak vstupují do živých organismů, kde dále působí. Uhlovodíky řadíme do kategorie organických polutantů. Organické polutanty můžeme rozdělit podle jejich těkavosti na těkavé organické látky (Volatile organic compounds – VOC), polotěkavé organické látky (Semivolatile organic compounds – SVOC) a netěkavé organické látky (Non-volatile organic compounds). Těkavost je schopnost látky změnit se v páru nebo plyn bez chemické přeměny [32].

VOC – do této skupiny řadíme všechny organické sloučeniny s výjimkou metanu, které při běžných podmínkách (20 °C, 100 kPa) vykazují tlak par nejméně 0,01 kPa nebo které jsou srovnatelně těkavé za daných podmínek jejich aplikace.

SVOC – jsou organické látky, které se při běžných podmínkách (20 °C, 100 kPa) pomalu vypařují. Z definice VOC vyplývá, že to jsou látky, které při běžných podmínkách vykazují tlak par menší než 0,01 kPa. Do této skupiny patří např. PCDD/F, PCB, většina PAU. Naftalen patřící do skupiny PAU je na hranici rozdělení VOC a SVOC.

NETĚKAVÉ ORGANICKÉ LÁTKY – tyto sloučeniny nejsou schopné přeměnit se z pevného nebo kapalného skupenství na plyn nebo páru. Jsou to strukturně složité sloučeniny, např. plasty, jejichž teplota vypařování je vyšší než teplota, při které dochází k jejich tepelnému rozkladu.

DEHET - obecně lze dehty považovat za všechny sloučeniny plynu mimo vodní páru, které kondenzují při teplotě blízké 0 °C. Při hrubém rozdělení jsou dehty složeny z lehkých a těžších frakcí, přičemž jejich dělení je provedeno na základě teploty 155 °C (sloučeniny, které kondenzují při teplotě vyšší než 155 °C je možno označit za těžké dehty; sloučeniny kondenzující mezi teplotami 0 °C a 155 °C jsou považovány za lehké dehty.) Dehty jsou tedy složeny z více sloučenin. Můžeme je rozdělit na fenolové sloučeniny (aromatické uhlovodíky s jednou nebo více hydroxylovými skupinami OH, např. fenol, xylenol, creosol a kresol), furany (benzofuran, methylbenzofuran, di-methylbenzofuran di-benzofuran), aromatické sloučeniny (benzen, toluen,

xylen), polyaromatické uhlovodíky (naftalen, pyren, fluoren, atd.) a aromáty obsahující dusík (pyridin, methylpyridin, picolin, chinolin). Nejvíce se dehet vyrábí z uhlí jako vedlejší produkt výroby koksu, dále též z ropy, rašeliny a dřeva. Uhelny dehet vzniká při vysokoteplotní karbonizaci černého uhlí.

SAZE - tmavý prachový nános nespálených palivových zbytků, obvykle složený hlavně z amorfního uhlíku. Vzniká při spalování organických paliv bohatých na uhlík za nedostatku kyslíku.

Z hlediska setrvávání organických látek v prostředí je významná skupina perzistentních organických polutantů (POP). Jedná se o látky, které mají schopnost zůstat v prostředí po dlouhou dobu beze změny. POP jsou odolné vůči chemickému, fotochemickému, termickému i biochemickému rozkladu. To umožňuje jejich koloběh v prostředí a kumulaci v půdách, sedimentech i živých organismech. Řadíme zde látky patřící do skupiny pesticidů (Aldrin, DDT, Chlordan, aj.), průmyslové chemikálie (Hexabrombifenylyl, Hexachlorbenzen, PCB) a látky vznikající jako nežádoucí vedlejší produkty (PCDD/F, PAU) [35]. Z pohledu platné legislativy není postoj k emisím uhlovodíků nikterak jednoznačný. Pokud platná legislativa hovoří o základních znečišťujících látkách (skupina nula), hovoří o těkavých organických látkách (VOC). Naproti tomu pokud stanovuje emisní limity, hovoří o organických látkách jako ΣC . U hodnot emisních faktorů pro stanovení množství emisí výpočtem se hovoří o C_xH_y [1]. U metod měření a technických požadavků na přístroje pro kontinuální měření se hovoří o uhlovodících a organických látkách. Je zřejmé, že se jedná o rozpor, které jsou hlavně poplatné postupnému vývoji poznání organických látek stejně jako tvorbě návrhů vyhlášek a předpisů.

3.8 Oxid uhličitý a skleníkový efekt

Problematika obsahu oxidu uhličitého v atmosféře, a s tím související otázky skleníkového efektu a globálního oteplování, patří k velmi často diskutovaným tématům současnosti. Nutno říct, že oxid uhličitý není považován za škodlivinu, je přirozenou součástí atmosféry a mimo jiné je konečným produktem dokonalého spalování uhlíku, jenž je podstatnou složkou všech fosilních paliv. Ta dnes zajišťují zhruba 85 % světové spotřeby energie a tvoří tak základ světové ekonomiky.

Příznivé zemské klima je zajišťováno skleníkovým efektem. Atmosférická vrstva zemské kůle, tvořená především směsí plynů a vodní páry, působí jako jednosměrný filtr. Vysokofrekvenční sluneční záření celkem snadno atmosférou prochází a dopadá na zemský povrch, kam přináší cca 1 kW na čtvereční metr energie. Ta se promění v teplo a teplý povrch země sálá energii zpět do vesmíru. Tepelné záření je však nízkofrekvenční a atmosféra ho z velké části odráží zpět k zemskému povrchu. Tím je teplo zadržováno u zemského povrchu a atmosféra

funguje jako skleník. Díky tomuto jevu je průměrná teplota zemského povrchu 15 °C, zatímco bez existence skleníkového efektu by to bylo – 18 °C. Skleníkový efekt je nezbytnou podmínkou života na zemi.

Skleníkový efekt, zabraňující tepelnému záření sálat do vesmíru, způsobují zejména tří a vícemocné plyny obsažené v atmosféře. Mezi ně patří také oxid uhličitý, a protože celá moderní historie lidstva od počátku průmyslové revoluce byla ovlivněna používáním fosilních, uhlík obsahujících paliv, bylo přirozeně dáno současné oteplování planety do souvislosti se spalováním uhlíkatých paliv a produkcí oxidu uhličitého. Jeho koncentrace v ovzduší vzrostla ze zhruba 280 ppm na počátku průmyslové revoluce na cca 380 ppm v současnosti [53].

Nicméně je nepochybné, že intenzivní spalování fosilních paliv, která představují uhlíkové konzervy z období třetihor, produkuje stále rostoucí množství oxidu uhličitého, který se stává součástí uhlíkového cyklu planety. Zhruba dvě třetiny skleníkového efektu zajišťuje vodní pára, asi třicet procent oxid uhličitý a zbytek mají na starosti zbývající plyny. V této bilanci má antropogenní, tj. člověkem způsobená, produkce skleníkových plynů nepříliš velkou, přesto však významnou váhu. Posiluje přirozený skleníkový efekt, hovoříme o dodatkovém skleníkovém efektu a uvažujeme o tom, jak jej zmírnit. Ještě dlouho to nebude možné vyloučením uhlíkatých fosilních paliv, která tvoří ekonomický základ současné společnosti. Je možné pouze hledat způsoby jak snížit jejich spotřebu, aniž by se projevil nedostatek energie. Řešení je nasnadě, vyžaduje zvýšení účinnosti energetického systému, účinnou motivaci k racionálnímu hospodaření s energií a využívání všech dostupných neuhlíkatých zdrojů energie. Vše uvedené přirozeně vede ke snížení spotřeby paliv, prodloužení životnosti jejich konečných zásob i ke snížení produkce škodlivin. A bylo by velice naivní očekávat, že se přijatá a realizovaná opatření okamžitě projeví [71].

Dosud převládá názor, že nejvíce oxidu uhličitého do ovzduší produkují energetické zdroje, spalující uhlí. Kdysi dávno tomu tak skutečně bylo, dnes to však neplatí. Vyjdeme-li z bilance světové spotřeby paliv a průměrného obsahu uhlíku v nich zjistíme, že cca 50 % emisí oxidu uhličitého pochází ze spalování ropy (tzn. kapalných paliv), 30 % z uhlí a o 20 % se postará zemní plyn. Situace tedy není ani zdaleka tak jednoduše řešitelná, jak je to předkládáno veřejností a celou problematiku brzy čeká zásadní přehodnocení [52].

Současná legislativa nepovažuje oxid uhličitý za látku znečišťující ovzduší, obavy z nárůstu jeho koncentrace v ovzduší antropogenními procesy však vedou k celé řadě opatření směřujících k omezení nárůstu jeho koncentrace zejména ze spalovacích procesů (např. tzv. uhlíková daň). Z existence mnoha protichůdných teorií o rozsahu antropogenního vlivu na trvalý nárůst jeho koncentrace v ovzduší vyplývá, že tyto vlivy nejsou v současné době dostatečně

prozkoumány a je třeba k jejich pochopení delšího časového období včetně cíleného výzkumu renomovaných výzkumných institucí.

3.9 Zdravotní nebezpečí jednotlivých znečišťujících látek

V domácnostech s lokálními topeništi na pevná paliva často přetrvává nešvar spalování komunálních odpadů. Dle údajů EPA z listopadu 1997 vznikají při spalování papíru, plastů, odpadů z potravin apod. následující látky: benzen, aceton, styren, naftalen, fenol, di-, tri-, tetra-, penta- a hexachlorbenzeny, acenaphtylen, phenantren, aldehydy a ketony, polychlorované dibenzodioxiny (PCDD), polychlorované dibenzofurany (PCDF), polychlorované bifenyly (PCB), polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH), kyselé plyny HCl, HCN, vyšší koncentrace CO a pevné látky [1]. Tabulka 12 uvádí přehled zdravotních rizik pro člověka způsobených nejvýznamnějšími emisemi škodlivin vznikajícími při spalování různých druhů paliv.

Tabulka 12 Přehled vlivu jednotlivých druhů emisí na člověka při spalování různých druhů paliv

ŠKODLIVINY	ZDRAVOTNÍ RIZIKO
plynná paliva (např. zemní plyn – nejvýznamnější škodlivina)	
NO _x (oxidy dusíku, NO, NO ₂)	štiplavý zápach (NO ₂), zvýšení činnosti plicních enzymů, zvyšuje nebezpečí vzniku plicního edému (astmatici), nebezpečí změny plicních funkcí
kapalná paliva (např. topné oleje – nejvýznamnější škodliviny)	
SO ₂ (oxid siřičitý), kyselý aerosol	dráždivý zápach, způsobují akutní i chronickou bronchitidu, ovlivňují smyslové a dýchací funkce, snížení plicních funkcí u dětí, zvýšení respiračních chorob u dospělých
CO (oxid uhelnatý)	při vysoké koncentraci působí blokádu hemoglobinu a dochází k buněčné hypoxii, nebezpečí u lidí trpících srdečními chorobami
NO _x (oxidy dusíku, NO, NO ₂)	štiplavý zápach (NO ₂), zvýšení činnosti plicních enzymů, zvyšuje nebezpečí vzniku plicního edému (astmatici), nebezpečí změny plicních

ŠKODLIVINY	ZDRAVOTNÍ RIZIKO
	funkcí
TK (těžké kovy, např. Ni)	alergické kožní reakce, podráždění nosní sliznice, nebezpečí u astmatiků
pevná paliva (např. černé a hnědé uhlí – nejvýznamnější škodliviny)	
SO ₂ (oxid siřičitý), kyselý aerosol	dráždivý zápach, způsobují akutní i chronickou bronchitidu, ovlivňují smyslové a dýchací funkce, snížení plicních funkcí u dětí, zvýšení respiračních chorob u dospělých
CO (oxid uhelnatý)	při vysoké koncentraci působí blokádu hemoglobinu a dochází k buněčné hypoxii, nebezpečí u lidí trpících srdečními chorobami
NO _x (oxidy dusíku, NO, NO ₂)	štiplavý zápach (NO ₂), zvýšení činnosti plicních enzymů, zvyšuje nebezpečí vzniku plicního edému (astmatici), nebezpečí změny plicních funkcí
TZL (tuhé znečišťující látky)	nebezpečí malých částic obsahujících těžké kovy a různé uhlovodíky (frakce pod 10 μm), usazují se v plicních sklípcích, nebezpečí částeček pod 0,1 μm klesá (molekuly plynu)
TK (těžké kovy, např. As)	arsen ovlivňuje metabolismus tuků a cukrů, způsobuje bolesti hlavy, závratě, poruchy trávení až křeče v břiše, ekzémy, vřídky
domovní odpad, PET láhve, uhelné kaly, chemicky ošetřené dřevní hmoty	
PCDD/PCDF (polychlorované dibenzo-dioxiny a dibenzofurany)	již při nízké koncentraci poškozuje periferní nervy, játra, způsobuje poruchy metabolismu tuků, silně mutagenní a karcinogenní
PCB (polychlorované bifenyly)	již při nízké koncentraci poškozuje a dráždí dýchací cesty, spojivky, způsobuje poškození jater, podporuje nádorové onemocnění
PAH (polycyklické aromatické	již při nízké koncentraci poškozuje a

ŠKODLIVINY	ZDRAVOTNÍ RIZIKO
uhlovodíky, např. benzo(a)pyren)	dráždí sliznice, mutagenní a karcinogenní (rakovina plic)
ostatní aromatické uhlovodíky (např. styren, benzen, fenol)	způsobují útlum centrální nervové soustavy, dráždí dýchací cesty, poškozují kostní dřeň, poruchy krevtvorby, očních nervů)
chlor, fluor - benzeny	již při nízké koncentraci poškozují dýchací cesty a kůži, dráždí oči, vyvolává bolesti hlavy a závratě, poškozují ledviny a játra, vyvolává změny krevního obrazu
TK (těžké kovy, např. As, Cd, Cr, Hg, Pb)	arsen ovlivňuje metabolismus tuků a cukrů, způsobuje bolesti hlavy, závratě, poruchy trávení až křeče v břiše, ekzémy, vřídky; kadmium způsobuje pálení v hrdle a sucho v ústech, poruchy ledvin, kadmium je zaměnitelné v těle za vápník => nebezpečí postižení kostí; chrom ovlivňuje dýchací cesty, dráždí kůži, vyvolává ekzémy, karcinogen plic; rtuť poškozují CNS, kůži, zažívací trakt; olovo ovlivňuje krevtvorbu, poškozují periferní nervový systém, reprodukční funkce
HCN (kyanovodík)	inhibuje (utlumuje) více než enzymů a tím znemožňuje tkáňové dýchání
CO (oxid uhelnatý)	při vysoké koncentraci působí blokádu hemoglobinu a dochází k buněčné hypoxii, nebezpečí u lidí trpících srdečními chorobami
SO ₂ (oxid siřičitý), kyselý aerosol	dráždivý zápach, způsobují akutní i chronickou bronchitidu, ovlivňují smyslové a dýchací funkce, snížení plicních funkcí u dětí, zvýšení respiračních chorob u dospělých
NO _x (oxidy dusíku, NO, NO ₂)	štiplavý zápach (NO ₂), zvýšení činnosti plicních enzymů, zvyšuje nebezpečí vzniku plicního edému (astmatici), nebezpečí změny plicních

ŠKODLIVINY	ZDRAVOTNÍ RIZIKO
	funkcí
TZL (tuhé znečišťující látky)	nebezpečí malých částic obsahujících těžké kovy a různé uhlovodíky (frakce pod 10 μm), usazují se v plicních sklípcích, nebezpečí částíček pod 0,1 μm klesá (molekuly plynu)

Při spalování plastů mohou vznikat PAH, PCB, PCDF, PCDD, styren, vyšší koncentrace CO, kyselé plyny – např. HCl, pevné látky [51].

V popelu ze spalování komunálního odpadu byly nalezeny i PCDD, PCDF, PCB, chróm (Cr), měď (Cu), olovo (Pb) a zinek (Zn) [50].

4 Proč správně topit v malých zdrojích na vytápění

4.1 Ekologické dopady

Za hlavní ekologický aspekt záměny fosilních paliv za biomasu je považována oblast emisí škodlivých látek vznikajících při spalování. Emisní faktory jednotlivých škodlivin jsou vyjádřením produkce škodliviny v takových jednotkách, ve kterých je produkce porovnatelná pro jednotlivá paliva, druhy spalovacích zařízení, tepelné výkony. Emisní faktor může být vyjádřen jako množství škodliviny vyprodukované spálením jednotky paliva (t, m^3), např. kg_{CO}/t_{paliva} . Jelikož mají paliva různou výhřevnost, je výhodnější používat vyjádření dané jako množství škodliviny vyprodukované spálením paliva o jednotkovém energetickém obsahu (GJ, kWh), např. $kg_{CO}/GJ_{v\ palivu}$. Jak uvádí příklad, jedná se o energii v palivu, ale je možné použít i energii vyrobenou, např. $kg_{CO}/GJ_{vyrobený}$, toto vyjádření je však ovlivněno účinností použité technologie [3].

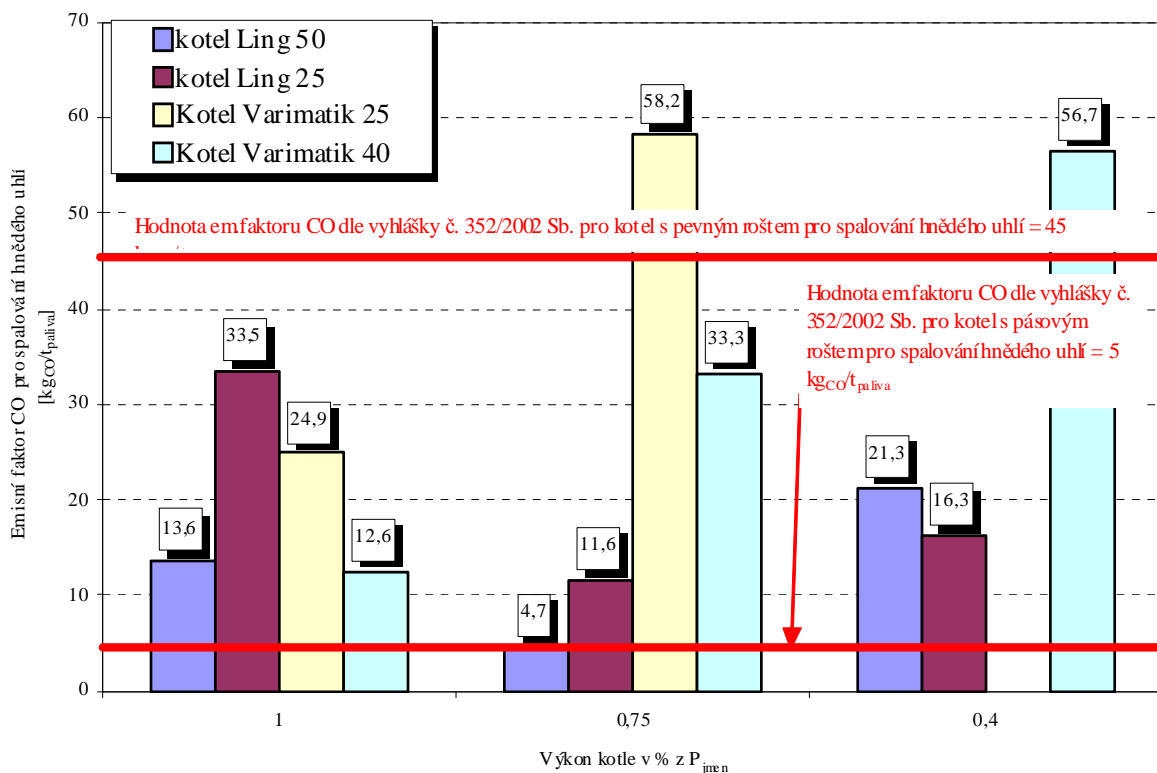
Emisní faktory CO

Koncentrace CO ve spalinách za kotlem nejlépe ukazuje na kvalitu spalovacího procesu. Nedohořelý CO představuje nevyhořelou hořlavinu, která také ovlivňuje účinnost spalovacího zařízení. Pro porovnání skutečných a předepsaných hodnot emisních faktorů CO je zde uvedeno několik příkladů při spalování hnědého a černého uhlí a biomasy (Obrázek 22 - 24). Obsah CO nejlépe vyjadřuje dokonalost spalování. Z uvedených hodnot je zřejmé, že:

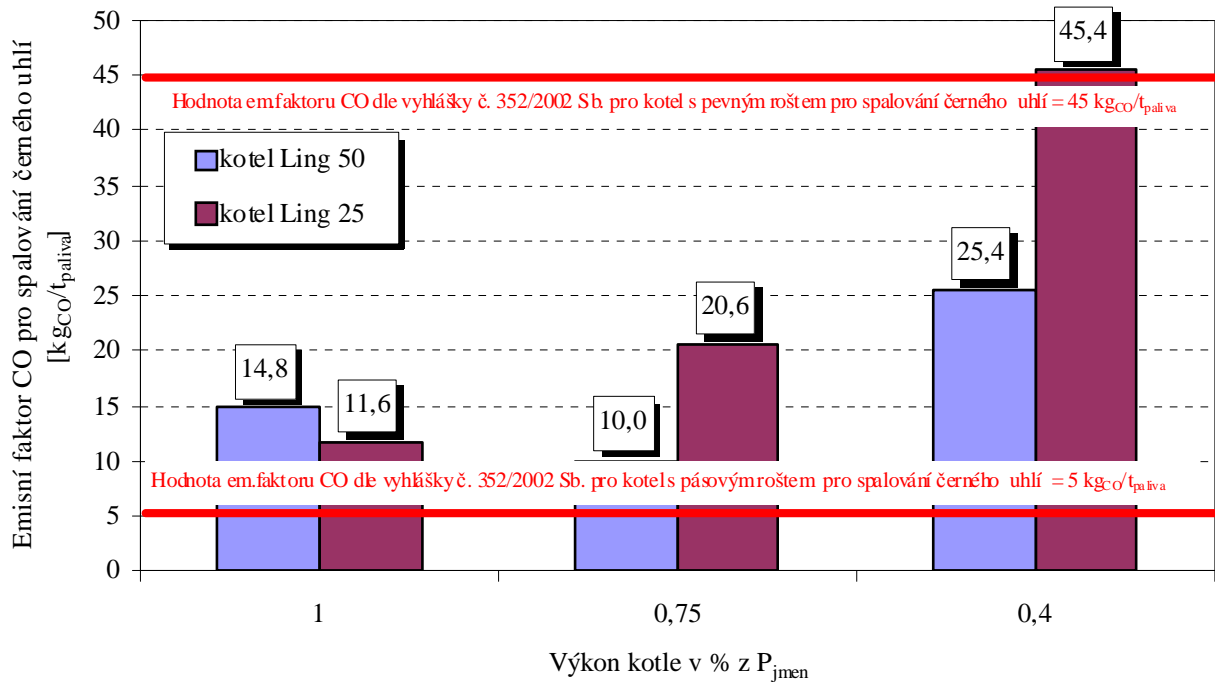
- při spalování hnědého uhlí v moderních kotlích (Obrázek 22) byla průměrná hodnota emisních faktorů cca $26\ kg_{CO}/t_{paliva}$, což je přibližně čtyřnásobné překročení předepsané hodnoty. Dokonce byly v některých případech také překročeny hodnoty emisních faktorů stanovených pro kotle s pevným roštem.
- při spalování černého uhlí v moderních kotlích (Obrázek 23) byla průměrná hodnota emisních faktorů cca $21\ kg_{CO}/t_{paliva}$, což je cca trojnásobné překročení předepsané hodnoty.
- při spalování biomasy v moderních kotlích (Obrázek 24) byla průměrná hodnota emisních faktorů cca $19\ kg_{CO}/t_{paliva}$, což je cca osmnáctinásobné překročení předepsané hodnoty.

- předepsaný emisní faktor pro spalování biomasy je přísnější než u uhlí, ale pro porovnání výsledných hodnot lze konstatovat, že nižších hodnot nebylo dosaženo.

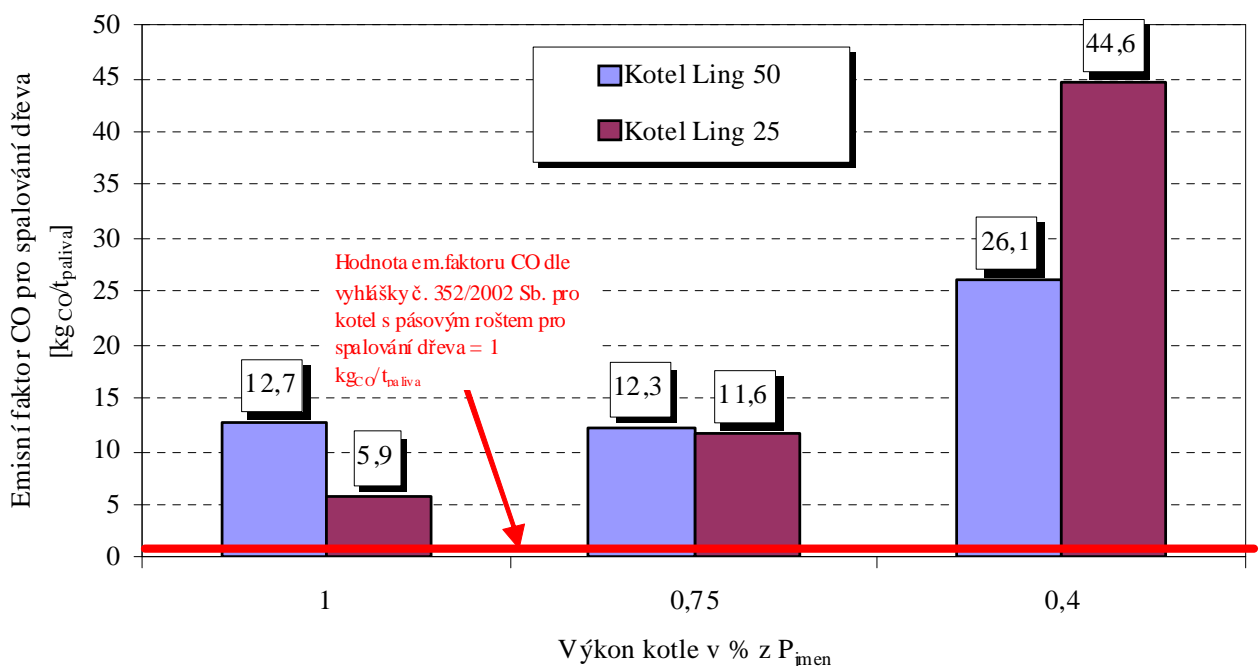
Jak ukazují výsledky experimentů, při spalování biomasy bylo dosaženo nižších emisních faktorů oxidu uhelnatého než při spalování fosilních paliv. Při srovnání s hnědým uhlím, jehož výhřevnost se přibližuje výhřevnosti biomasy, byl by emisní faktor přepočtený na výhřevnost paliva nejlepší výhřevností cca $1,091 \text{ kg}_{\text{CO}}/\text{GJ}_{\text{v palivu}}$, u hnědého uhlí pak tento faktor vychází $1,231 \text{ kg}_{\text{CO}}/\text{GJ}_{\text{v palivu}}$. Pro černé uhlí tento emisní faktor vychází $0,705 \text{ kg}_{\text{CO}}/\text{GJ}_{\text{v palivu}}$. Podle těchto dat vychází z experimentu z pohledu produkce oxidu uhelnatého nejlépe černé uhlí. Biomasa se svou produkcí oxidu uhelnatého řadí před hnědé uhlí [9].



Obrázek 22 Porovnání skutečných a předepsaných hodnot emisních faktorů CO pro spalování hnědého uhlí



Obrázek 23 Porovnání skutečných a předepsaných hodnot emisních faktorů CO pro spalování černého uhlí



Obrázek 24 Porovnání skutečných a předepsaných hodnot emisních faktorů CO pro spalování biomasy

S ohledem na vysokou hodnotu emisního faktoru CO, kterého bylo dosaženo u kotle U22 (pro hnědé uhlí), nebylo možné tyto hodnoty zobrazit (s ohledem na přehlednost) ve výsledných grafech.

Tabulka 13 Průměrné emisní faktory pro jednotlivé kotle ze všech zkoušek pro spalování hnědého uhlí

Typ kotle		U 22	Ling 25	Ling 50	Varimati k 25	Varimat ik 40	Em. faktor dle vyhlášky
Prům. výkon kotle	kW	27,4	17,8	30,9	19,4	28	
CO	mg/kWh	484 023	3 479	3 376	14 104	6 476	
	kg/t _{paliva}	1 450,1	20,5	13,2	41,5	34,2	45
NO _x	mg/kWh	7 685	1 180	997	881	380	
	kg/t _{paliva}	4,6	4,2	3,6	3,8	2	3
SO ₂	mg/kWh	7 108	3 842	2 547	3 581	1 935	
CO ₂	g/kWh	3 008	469	427	495		
	kg/t _{paliva}	1 742	1 747	1673	1 739		1 450

Průměrné hodnoty jednotlivých emisních faktorů pro všechny kotle pro spalování hnědého uhlí jsou uvedeny v Tabulka 13. Srovnáním hodnot, které uvádí Tabulka 13, je zřejmý zásadní rozdíl v tvorbě emisí CO při užití technologie využívající jednorázové přikládání paliva, prohořivací princip pro palivo s velkým obsahem prchavé hořlaviny a technologie spalování s kontinuální dopravou paliva. Emise CO u kotle s prohoříváním byly přibližně stonásobně větší než emise CO u kotlů s kontinuální dopravou paliva [1].

Emisní faktory NO_x

Porovnání skutečných a předepsaných hodnot emisních faktorů pro NO_x při spalování hnědého uhlí, černého uhlí a biomasy je zobrazeno jako Obrázek 25 až Obrázek 27. Z uvedených hodnot je zřejmé, že:

- při spalování hnědého uhlí (Obrázek 25) byla průměrná hodnota emisních faktorů cca 3,4 kg_{NO_x}/t_{paliva}, což představuje minimální překročení předepsané hodnoty.

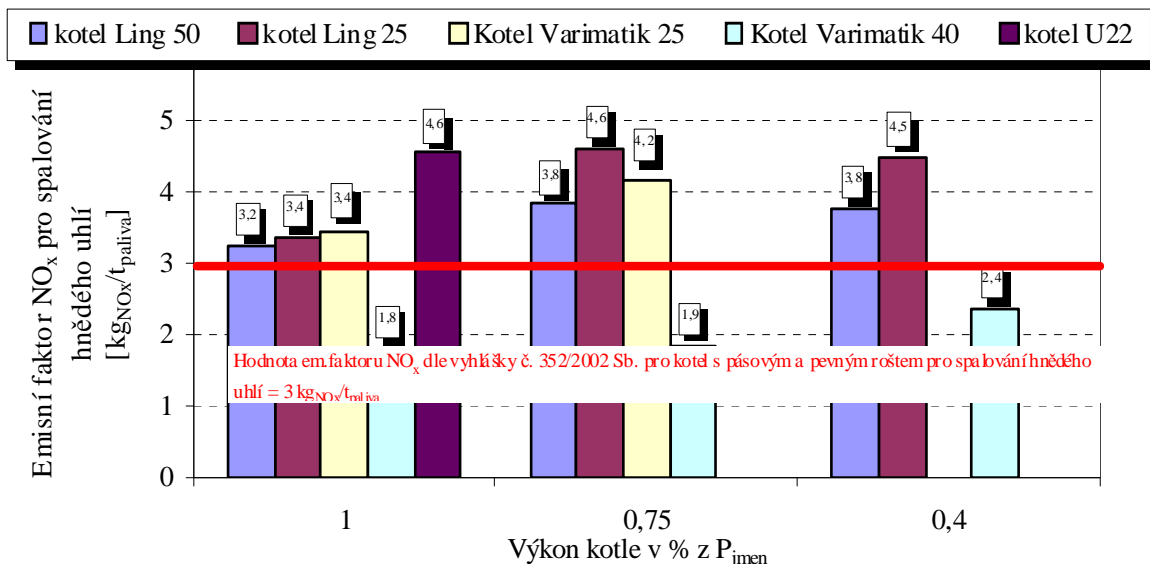
- při spalování černého uhlí (Obrázek 26) byla průměrná hodnota emisních faktorů cca $5,0 \text{ kg}_{\text{NO}_x}/\text{t}_{\text{paliva}}$, což je cca dvojnásobné překročení předepsané hodnoty.
- při spalování biomasy (Obrázek 27) byla průměrná hodnota emisních faktorů cca $2,1 \text{ kg}_{\text{NO}_x}/\text{t}_{\text{paliva}}$, což je cca 70 % z předepsané hodnoty.
- Největší hodnoty emisních faktorů bylo dosaženo při spalování černého uhlí, což je způsobeno vyšší teplotou ve spalovací komoře, a tím také větším množstvím termických NO_x .

Emise NO_x jsou nejvíce ovlivněny obsahem dusíku v palivu a teplotou ve spalovací komoře. Vysoká teplota (nad $1\ 000\ ^\circ\text{C}$) způsobuje vznik tzv. termických NO_x . Teplota v ohništích malých výkonů je ve většině případů menší než kritická hodnota, takže termické NO_x netvoří hlavní díl výsledných emisí NO_x . Hlavní podíl na tvorbě emisí NO_x má obsah dusíku v palivu. Tato skutečnost byla také potvrzena výsledky měření. Nejmenší hodnoty emisních faktorů bylo dosaženo při spalování pelet, což je způsobeno menším obsahem dusíku v palivu při porovnání s uhlím [3].

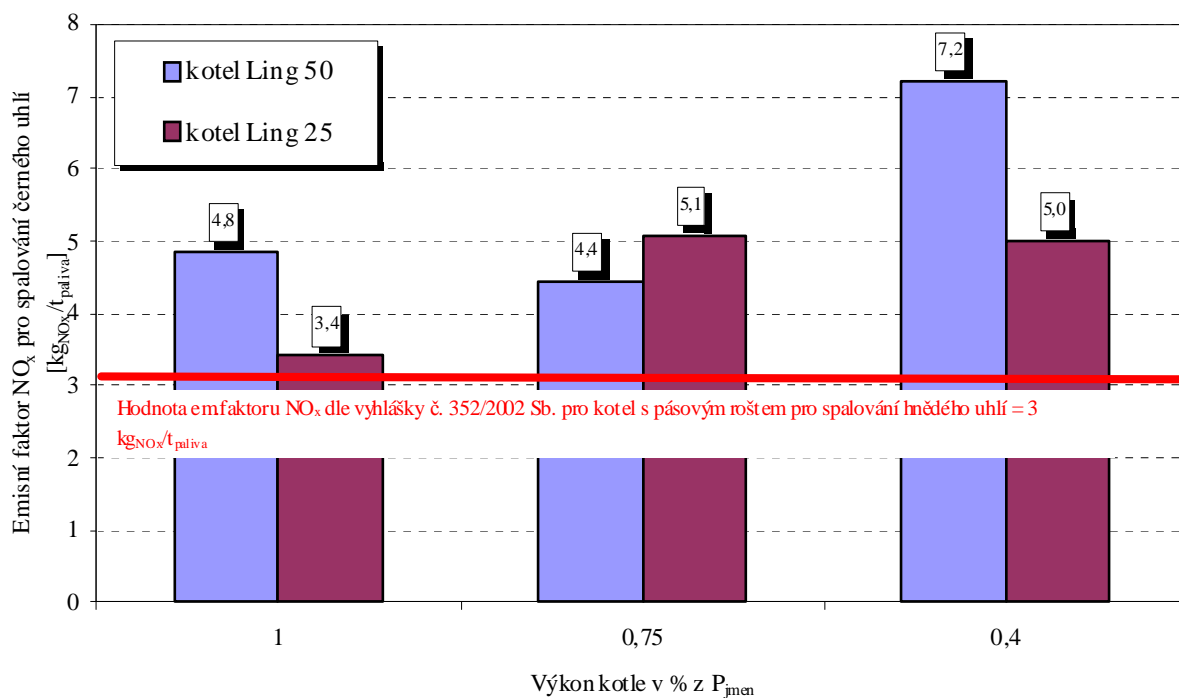
Při přepočtení na výhřevnost jednotlivých druhů paliv vychází emisní faktory takto:

- pro hnědé uhlí - $161 \text{ g}_{\text{NO}_x}/\text{GJ}_v \text{ palivu}$,
- pro černé uhlí - $167 \text{ g}_{\text{NO}_x}/\text{GJ}_v \text{ palivu}$ a
- pro biomasu - $120 \text{ g}_{\text{NO}_x}/\text{GJ}_v \text{ palivu}$.

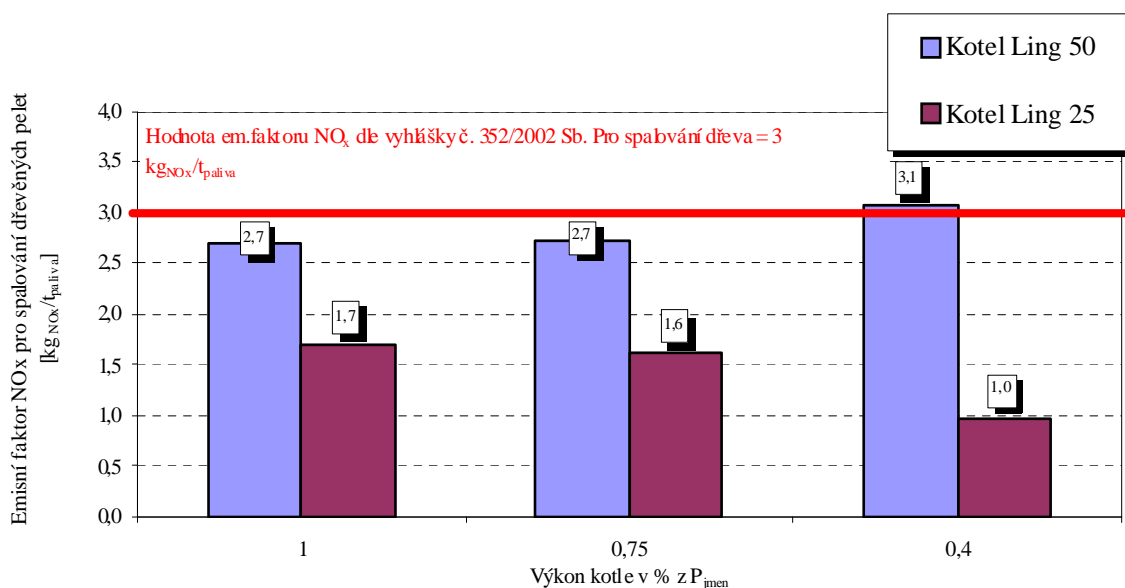
Podle těchto dat vychází jednoznačně z experimentu nejlépe biomasa.



Obrázek 25 Porovnání skutečných a předepsaných hodnot emisních faktorů NO_x pro spalování hnědého uhlí.



Obrázek 26 Porovnání skutečných a předepsaných hodnot emisních faktorů NO_x pro spalování černého uhlí



Obrázek 27 Porovnání skutečných a předepsaných hodnot emisních faktorů NO_x pro spalování biomasy

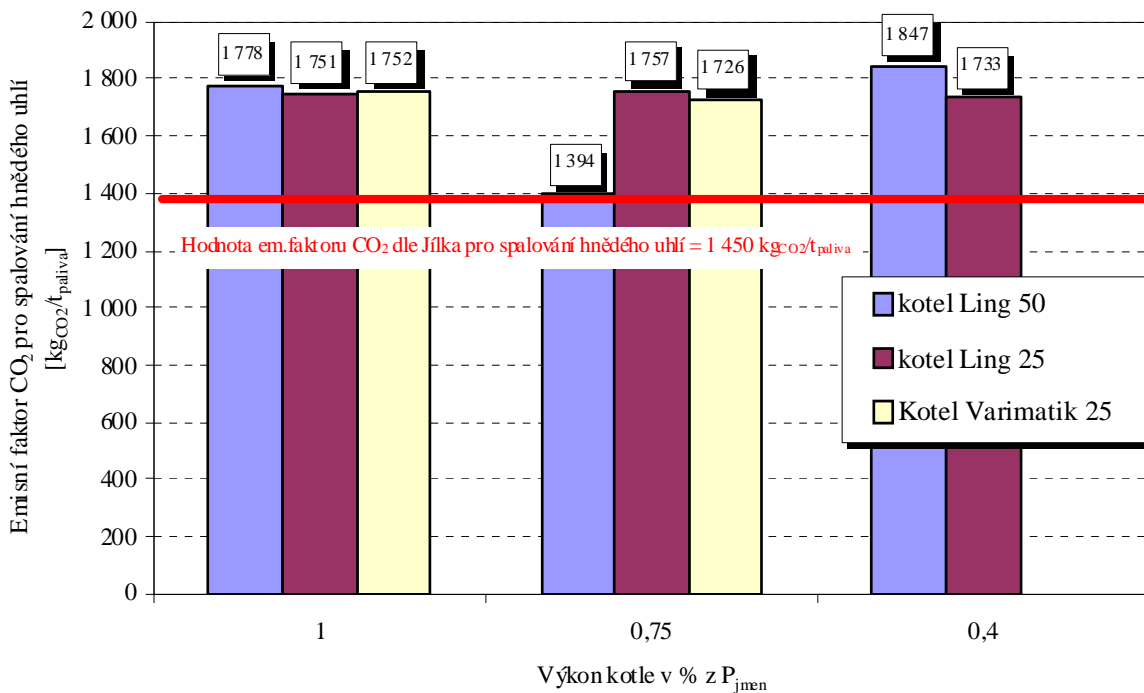
Emisní faktory CO₂

Přestože se současná legislativa nezabývá emisemi CO₂, byly pro zajímavost hodnoty skutečných emisních faktorů dosažených při spalovacích zkouškách

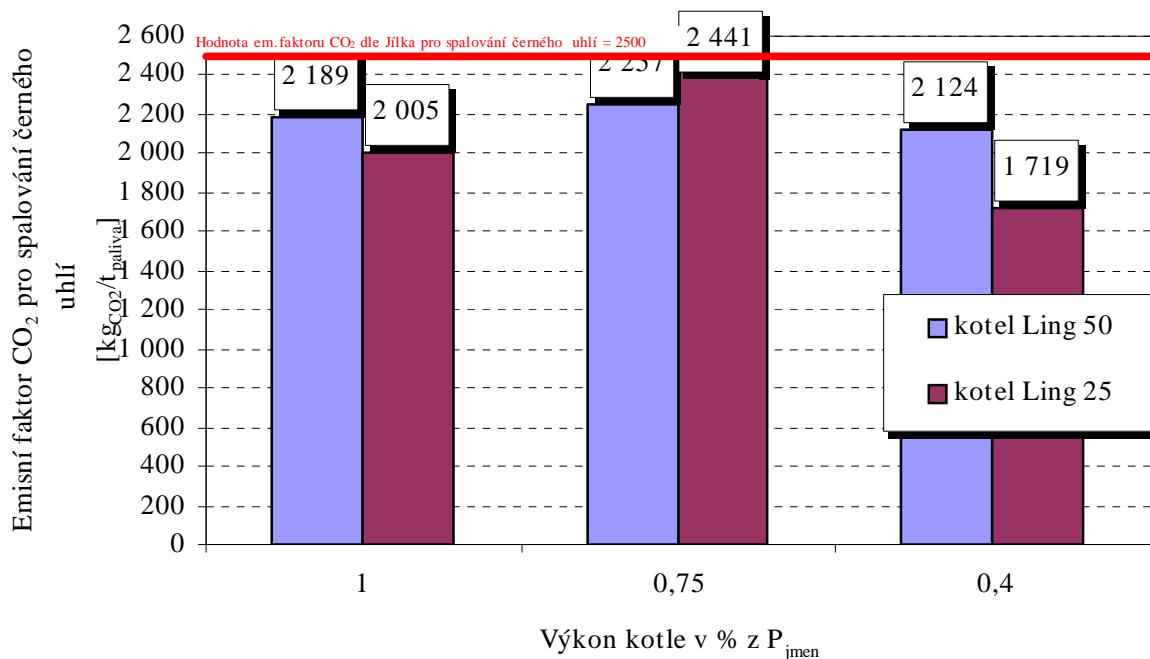
pro CO₂ srovnány s hodnotami uváděnými v literatuře [71], které se používají při bilanci emisí z malých zdrojů znečištění ovzduší.

Porovnání bylo s ohledem na tok uhlíku při spalování biomasy provedeno pouze pro spalování černého a hnědého uhlí (viz Obrázek 28 a Obrázek 29). Pro biomasu je charakteristické, že stejné množství oxidu uhličitého, které vznikne spálením biomasy, je biomasou absorbováno během růstu. Emisní faktor při spalování není nulový, ale lze jej za nulový považovat. Z uvedených hodnot je zřejmé, že:

- při spalování hnědého uhlí (Obrázek 28) byla průměrná hodnota emisních faktorů cca 1 717 kg_{CO2}/t_{paliva}, což představuje překročení hodnoty uváděné v literatuře cca o 20 %.
- při spalování černého uhlí v moderních kotlích (Obrázek 29) byla průměrná hodnota emisních faktorů cca 2123 kg_{CO2}/t_{paliva}, což je cca o 15 % méně než je hodnota uváděná v literatuře [3].



Obrázek 28 Porovnání skutečných a doporučených hodnot emisních faktorů CO₂ pro spalování hnědého uhlí



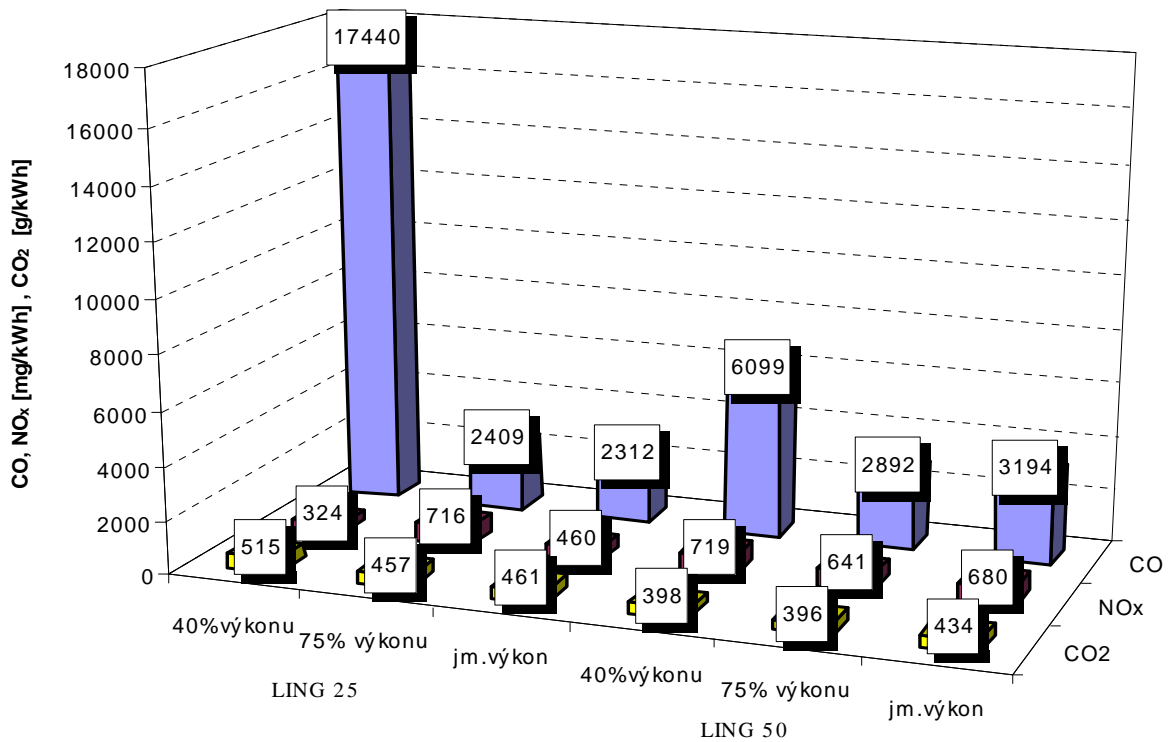
Obrázek 29 Porovnání skutečných a naměřených hodnot emisních faktorů CO₂ pro spalování černého uhlí

Po přepočtení emisních faktorů na výhřevnost paliva vychází emisní faktor pro hnědé uhlí 81,3 kg_{CO2}/GJ_{v palivu}, u černého uhlí se pak jedná o hodnotu asi 71,3 kg_{CO2}/GJ_{v palivu}.

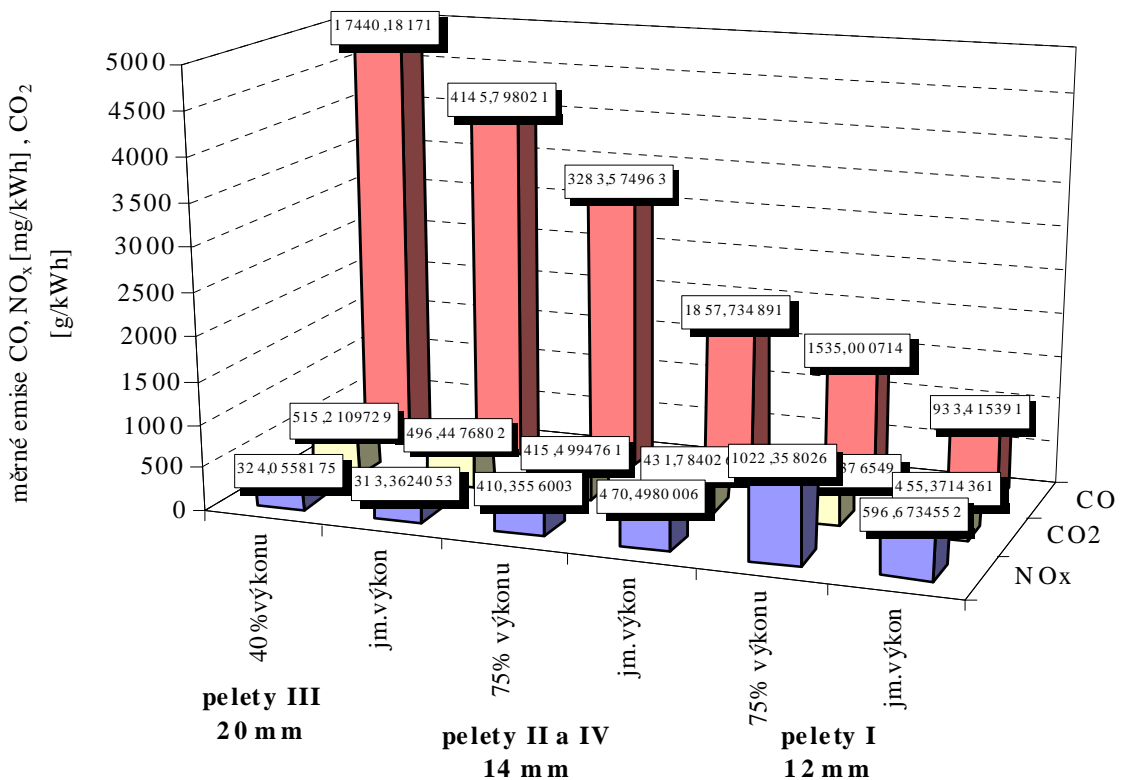
Spalování biomasy a tvorba znečišťujících látek

Biomasa byla spalována ve formě dřevěných pelet v kotlích Ling 25 a Ling 50. Velkou výhodou spalování biomasy v porovnání se spalováním ostatních druhů pevných paliv je minimalizace emisí SO₂. Stejně tak emise CO₂ s ohledem na svůj charakter vzniku nepředstavují problém. Závislosti zvýšené tvorby CO na snižujícím se výkonu kotle se projevila u spalování biomasy (viz Obrázek 30). Příčina kolísání výsledných emisí NO_x (u kotle Ling 25) není známa.

Byla sledována závislost tvorby emisí na průměru dřevěných pelet (Obrázek 31). Měrné emise CO rostou se zvětšujícím se průměrem spalovaných pelet, což je dáno jejich menším měrným reakčním povrchem.



Obrázek 30 Měrné emise ze spalování pelet I až IV v závislosti na výkonu kotle Ling 25 a Ling 50 [3]



Obrázek 31 Měrné emise ze spalování pelet v závislosti na průměru pelet [3]

4.2 Účinnost teplovodních kotlů

Kotel je zařízení určené k přenosu tepla získaného z procesu spalování do vody. Množství tepla získaného spalováním závisí na množství tepla obsaženého v palivu (výhřevnost paliva). Teplo získané ze spalování v kotli se označuje jako tepelný příkon Q_B [W] a vztahuje se přímo k množství paliva spalovaném v kotli. Produktem spalování uvnitř kotle jsou hořící plyny, které spolu s tepelným zářením ohřívají vodu v topném systému. U kondenzačních kotlů, část vodní páry obsažená v produktech spalování, předává teplo do vody v topném systému při kondenzaci uvnitř kotle. Teplo odevzdané vodě v kotli se označuje jako užitečný výkon Q [W], protože představuje energii využitelnou pro topný systém. Tepelná účinnost je pak definována jako poměr vyrobené energie (užitečný výkon) k energii přivedené v palivu (tepelný příkon) [86], [87].

Zjišťování účinnosti kotle je standardní operací v testovacích laboratořích a vyžaduje znalost tepelného příkonu a užitečného výkonu. Pro stanovení tepelného příkonu se měří výhřevnost paliva a spotřeba paliva v kotli nebo průtok paliva na přívodu k hořáku. Výhřevnost paliva je závislá na jeho chemickém složení a může být vyjádřena v $\text{kWh}\cdot\text{kg}^{-1}$, resp. $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, což představuje množství energie na jednotku paliva. Spotřeba paliva kotlem se pak určuje vážením úbytku hmotnosti paliva a může být vyjádřena v $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$. Tepelný příkon potom získáme jako součin výhřevnosti paliva a jeho spotřeby v průběhu měření.

Při stanovení užitečného výkonu se měří průtok vody kotlem, teploty na vstupu a výstupu z kotle. U kondenzačních kotlů se měří i množství kondenzátu odvedeného z kotle. Tato data umožňují určit teplo odevzdané vodě (užitečný výkon).

Ke stanovení tepelné účinnosti kotlů se používají dvě metody, přímá a nepřímá. U přímé metody se všechny veličiny potřebné pro výpočet stanovují přímo. Problémem při stanovení tepelné účinnosti kotle na tuhá paliva touto metodou je určení hmotnostního toku paliva. Proměnlivý výkon zařízení a dlouhý čas hoření znemožňují přesné určení hmotnostního toku. Další nepřesnosti jsou způsobeny kolísavými parametry tuhých paliv, zejména kolísáním výhřevnosti. Z tohoto důvodu je metoda přímého stanovení vhodná především pro plynná a kapalná paliva.

Zjišťování účinnosti kotlů v provozu se často nemůže spoléhat na měření tepelného příkonu a užitečného výkonu, tzn. není možné přímo na místě měřit veličiny jako je výhřevnost, průtok paliva, průtok vody apod. V těchto případech se používá tzv. nepřímá metoda, která stanoví tepelné účinnosti kotlů zjednodušuje. Metoda vychází z úvahy, že dokonalé zařízení má účinnost 100% a skutečné zařízení účinnost dokonalého zařízení sniženu o jednotlivé ztráty. Mezi tyto ztráty patří komínová ztráta, která je způsobená únikem tepla

ve spalinách proudících do atmosféry. Je definovaná jako rozdíl tepelného obsahu spalin na výstupu z kotlové části spalovacího zařízení a tepelného obsahu vzduchu přiváděného do ohniště k množství tepla obsaženém v 1 kg paliva. Mezi další ztráty se řadí ztráta tepla chemickým nedopalem. Ta vyjadřuje ztrátu v důsledku nedokonalého spalování prchavé hořlaviny paliva. Ztráta souvisí s výskytem CO, H₂, CH₄, respektive jiných uhlovodíků (C_xH_y) ve spalinách odváděných ze zdroje tepla do atmosféry. Nejvíce se vyskytující měřitelnou složkou chemického nedopalu při spalování je oxid uhelnatý (CO). Ztráta odevzdáním tepla do okolí sáláním a vedením závisí na konstrukci spalovacího zařízení, na materiálu použitém pro izolaci, tloušťky a povrchové úpravy stěn. Ztráta citelným teplem v tuhých zbytcích - v popelu se vyskytuje jen při spalování tuhých paliv. Tato ztráta souvisí s tepelným obsahem tuhých zbytků odstraňovaných ze spalovacího zařízení při spalování paliva ve formě popela, mechanického nedopalu a popílku. Ztráta mechanickým nedopalem je způsobená propadem tuhé hořlaviny přes rošt do popelníku. Vyskytuje se jen v roštových ohništích při spalování tuhých paliv. Podíl tuhé hořlaviny v popelu je závislý na zrnitosti paliva, konstrukci roštu a na obsluze spalovacího zařízení. Při nepřímé metodě se měří pouze tři veličiny, obsah kyslíku nebo oxidu uhličitého ve spalinách, teplota spalin vycházejících z kotle komínem a vnější teplota (teplota přívodního vzduchu pro spalování).

U kondenzačních kotlů se dále měří množství kondenzátu odcházejícího z kotle nebo relativní vlhkost okolního vzduchu a spalin. Tato tři, resp. čtyři jednoduchá měření se zabývají pouze spalinami a okolním vzduchem a umožňují stanovit energetickou ztrátu komínem a tak, s přiměřenou přesností, účinnost kotle. Měření se mohou realizovat přenosnými multifunkčními měřicími přístroji. Měření spotřeby paliva nebo průtoku vody v topném systému již není nutné.

Charakteristiky paliv (zemní plyn, propan, olej) používaných k vytápění jsou všeobecně známé. Dané palivo je charakterizované obsahem oxidu uhličitého ve spalinách v případě stechiometrického spalování, tj. s minimálním množstvím vzduchu potřebným k dokonalému spálení paliva. Tento obsah oxidu uhličitého je hodnota teoretická, která představuje maximum v praxi nedosažitelné. Měření skutečného obsahu kyslíku nebo oxidu uhličitého ve spalinách je možné určit, jak daleko od této teoretické hodnoty kotel pracuje. To umožní stanovit množství vzduchu, které prochází kotlem, i když není pro spalování potřebné (přebytek vzduchu). Potom rovnice, které počítají s přebytkem vzduchu, vnější teplotou a teplotou spalin (a případně s množstvím kondenzátu) umožní stanovit tepelnou ztrátu komínem.

K úplnému získání přibližné hodnoty účinnosti musí být stanovená ještě jedna veličina, a to tepelné ztráty pláštěm kotle. I přesto, že jsou stěny kotle izolované, stěny tělesa kotle mají teplotu o něco vyšší než je teplota okolí, což vede k určitému úniku tepla. Tepelné ztráty pláštěm kotle jsou však

u moderních kotlů velmi nízké (výrazně menší než 1% tepelného příkonu) a proto pro jejich stanovení nejsou nutné. U starších kotlů, kde je izolace méně, případně je poškozená, mohou tepelní ztráty dosáhnout i několika procent tepelného příkonu a proto se určují měřením teploty stěn pláště kotle.

4.2.1 Účinnost spalování

S výše uvedenou účinností zdrojů tepla (teplovodních kotlů) se velmi často zaměřuje účinnost spalování. Účinností spalování se rozumí míra dokonalosti transformace chemické energie v palivu na tepelnou energii spalin. Rozdíl mezi účinností zdroje tepla a účinností spalování je v tom, že účinnost spalování je závislá na poměrné ztrátě vlivem chemického a mechanického nedopalu.

4.2.2 Porovnání účinnosti malých zdrojů tepla

Účinnost moderních kotlů spalujících kapalná a plynná paliva je díky kvalitní regulaci velmi málo závislá na provozním výkonu kotle. Opačný případ nastává u zdrojů spalujících tuhá paliva. V tomto případě je nejvyšší účinnost dosahována při ustáleném provozu kotle na výkonu blízcím se výkonu jmenovitému. Na výslednou účinnost mají největší vliv druh paliva, teplota spalin na výstup z kotle, nedopal v tuhých zbytcích po spalování, kvalita spalování (vyhoření oxidu uhličitého), provozní parametry kotle (výkon, přebytek spalovacího vzduchu) a provozní charakteristiky celého systému.

Tabulka 14 uvádí průměrné účinnosti vybraných malých zdrojů tepla.

Tabulka 14 Průměrná účinnost malých zdrojů tepla

Typ zdroje	Průměrná účinnost při jmenovitém výkonu (%)
Tuhá paliva	
klasický kotel na uhlí	70 – 80
klasický kotel na koks	70 – 80
automatický kotel na uhlí	90
kamna na uhlí	50 – 55
krbová kamna	60 – 80
kotel na spalování kusového dřeva	70 – 80
kotel na zplyňování dřeva	85 – 90
kotel na spalování štěpky	80 – 90
automatický kotel na dřevěné pelety	85 – 95
Kapalná a plynná paliva	
kotel na lehký topný olej	80 – 90

běžný plynový kotel	89 – 91
nízkoteplotní plynový kotel	do 95
kondenzační plynový kotel	normovaný stupeň využití 102
Ostatní zdroje	
elektrická akumulární kamna	95
elektrický kotel	95
elektrické přímotopy	98 – 99
tepelné čerpadlo	topný faktor 2,8

4.3 *Ekonomika*

Při vyhodnocování ekonomiky výroby tepla jsou většinou samostatně vyčísleny palivové a ostatní (nepalivové) náklady spojené s provozem daného zdroje. V případě domácností nejsou do nepalivových nákladů zahrnovány náklady spojené s obsluhou zdroje, případně přípravou a skladováním paliva, tzv. mzdové náklady. V tomto případě je navíc provedeno vyhodnocení ekonomiky variantně pouze pro palivové náklady a dále pro kompletní vyhodnocení včetně shrnutí ostatních palivových položek a to zejména odpovídající části nákladů spojených s pořízením nového kotle. K tomuto přístupu vedou následující důvody:

- v posuzovaném období nemusí dojít s ohledem na předpokládané životnosti zejména plynových a litinových kotlů k jejich výměně,
- řada majitelů rodinných domků a bytů podvědomě do nákladů na teplo zahrnuje pouze náklady spojené s úhradou paliva a investiční náklady spojené s výměnou nebo záměnou kotle opomíjí,
- neustále roste počet rodinných domů s vícepalivovým systémem vytápění. Např. kombinace zemní plyn a hnědé uhlí, zemní plyn a dřevo nebo elektrická energie a uhlí apod. Způsob vytápění je pak volen na základě výše palivových nákladů, pohodlnosti a operativnosti vytápění [7].

Palivové náklady na vytápění domácností

Vzhledem k tomu, že celkovou spotřebu paliv pro vytápění jednotlivých objektů a tím i výši palivových nákladů ovlivňuje účinnost využití energie paliva, jsou u jednotlivých paliv uvažovány následující technologie spalování a spotřebiče:

- u hnědého uhlí ocelové násypné kotle s účinností zařízení v průběhu topného období 55 %, kde je převažujícím palivem ořech 1 a dále automatické hnědouhelné kotle s účinností 80 % a používaným palivem ořech 2,
- u palivového dřeva litinové kotle (případně krbové vložky) s prohoříváním s účinností cca 50 % s převažující spalováním měkkého palivového dřeva a dále zplyňovací kotle na dřevoplyn s účinností 85 % a převažujícím spalováním tvrdého palivového dřeva,
- u zemního plynu nástěnné nebo stacionární plynové kotle s účinností 90 % a dále kondenzační plynové kotle s účinností kotle až 106 % (vztaženo na výhřevnost, ne na spalné teplo).

Tabulka 15 Palivové náklady na vytápění domácnosti (výpočtová spotřeba tepla 65 GJ)

Palivo	Spalovací zařízení	Spotřeba paliva/rok	Náklady na vytápění (Kč)	Pořizovací investiční náklady (Kč)	Životnost (roky)
hnědé uhlí (18 MJ/kg)	klasický kotel (70 % účinnost)	6 566 kg	16 414,-	23 000,-	15
	automatický kotel (90 % účinnost)	4 514 kg	11 285,-	55 000,-	15
černé uhlí (23,1MJ/kg)	klasický kotel (70% účinnost)	5 116 kg	20 464,-	23 000,-	15
	automatický kotel (90 % účinnost)	3 517 kg	14 069,-	55 000,-	15
koks (27,5 MJ/kg)	klasický kotel na koks (70 % účinnost)	3 812 kg	28 592,-	25 000,-	15
dřevo (14,6 MJ/kg)	kotel na zplyňování dřeva (80 % účinnost)	5 936 kg	11 279,-	50 000,-	15
dřevěné pelety (18,5 MJ/kg)	kotel na pelety (85 % účinnost)	4 134 kg	17 774,-	65 000,-	15
zemní plyn (37,8 MJ/m ³)	běžný kotel na plyn (89 % účinnost)	22 524 kWh 2 145 m ³	27 342,-	38 000,-	15
	kondenzační kotel (102 % účinnost)	19 653 kWh 1 872 m ³	24 317,-	50 000,-	15
elektrina	přímotopné panely (98 % účinnost)	18 424 kWh	45 104,-	20 000,-	20
tepelné čerpadlo	průměrný roční topný faktor: 2,8	6 019 kWh	17 093,-	250 000,-	20

Roční potřeba tepla pro vytápění jednoho bytu je dle podkladů ČHMÚ v závislosti na našich klimatických podmínkách uvažována ve výši 52,2 GJ pro jeden byt v rodinném domku a ve výši 33 GJ pro byt v bytovém domě za jedno

topné období. S ohledem na skutečnost, že v rodinném domku je v převážné většině více než jeden byt, je v propočtu uvažována roční potřeba tepla variantně ve výši 60 a 100 GJ na topné období [4].

Roční potřeba tepla za topné období se neustále snižuje. Jednak z důvodu mírnějších průběhů zimních období, ale zejména z důvodu úspor a realizovaných úsporných opatření jako je regulace a zejména prováděné zateplení. Roční projektovaná potřeba tepla pro nově postavený vícepodlažní rodinný dům dosahuje maximálně 70 GJ za topné období [2].

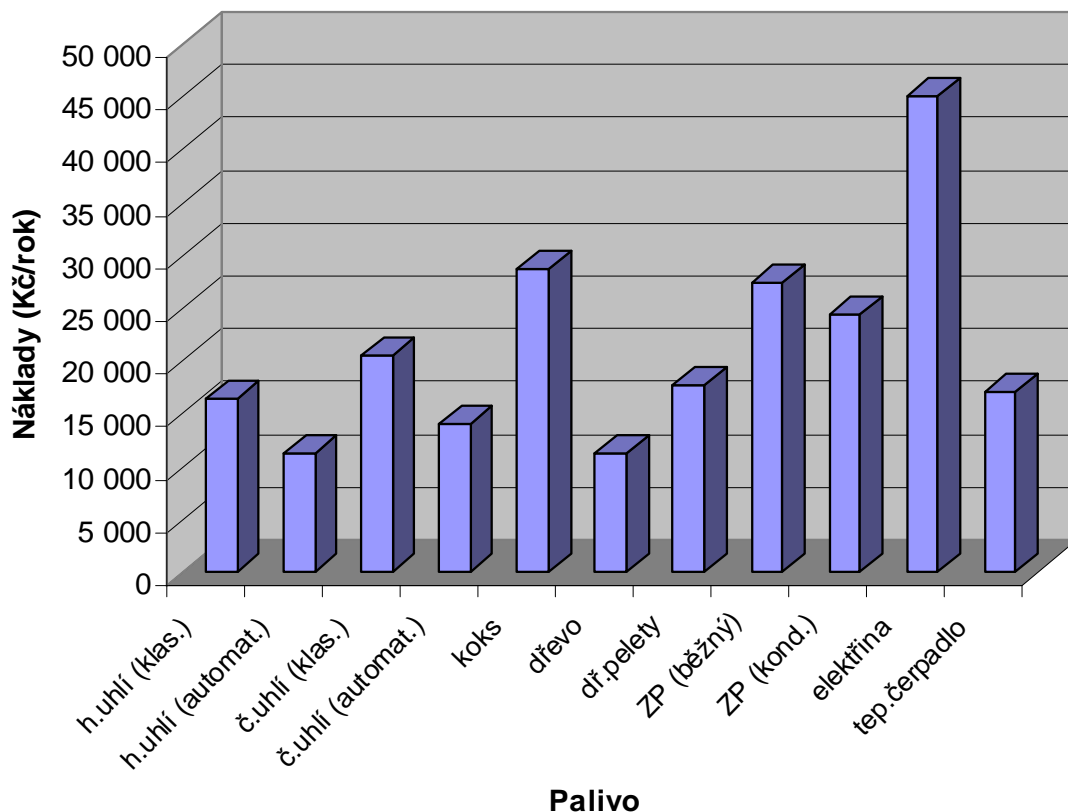
Pro ocenění výše palivových nákladů jsou použity ceny paliv platné k 1.1.2010 a zahrnují i ostatní náklady (např. revizi kotle, odvoz popela, atd.), viz Tabulka 15.

Ostatní (nepalivové) náklady na vytápění domácností

Mezi nepalivové náklady pro vytápění domácností jsou zařazeny ostatní náklady spojené s provozem daného typu kotle, zejména odpovídající podíl pořizovacích nákladů, náklady na likvidaci popela, údržbu, revize atd. V případě domácností nejsou uvažovány náklady spojené s obsluhou zdroje, přípravou paliva apod.

Do dalších investičních nákladů jsou zahrnuty v případě kotlů na pevná paliva nutné náklady na regulaci, elektroinstalaci a případnou úpravu komínů, v případě plynových kotlů pak rovněž náklady na elektroinstalaci a odvod spalin, v případě spalování peletek pak navíc samostatný zásobník paliva a automatická dodávka paliva do kotle. Do ročních provozních nákladů jsou pak zahrnuty náklady na popel, nutnou údržbu a revize. V případě plynových kotlů není započítána v souladu s všeobecným trendem cena plynové přípojky, která je chápána jako součást nemovitosti a její zhodnocení. Při výpočtu měrných ročních investičních nákladů je uvažována doba životnosti a to v případě kotlů na pevná paliva 12 let a v případě plynových kotlů 18 let.

Náklady na vytápění domácností (Kč/rok) - potřeba tepla 65 GJ

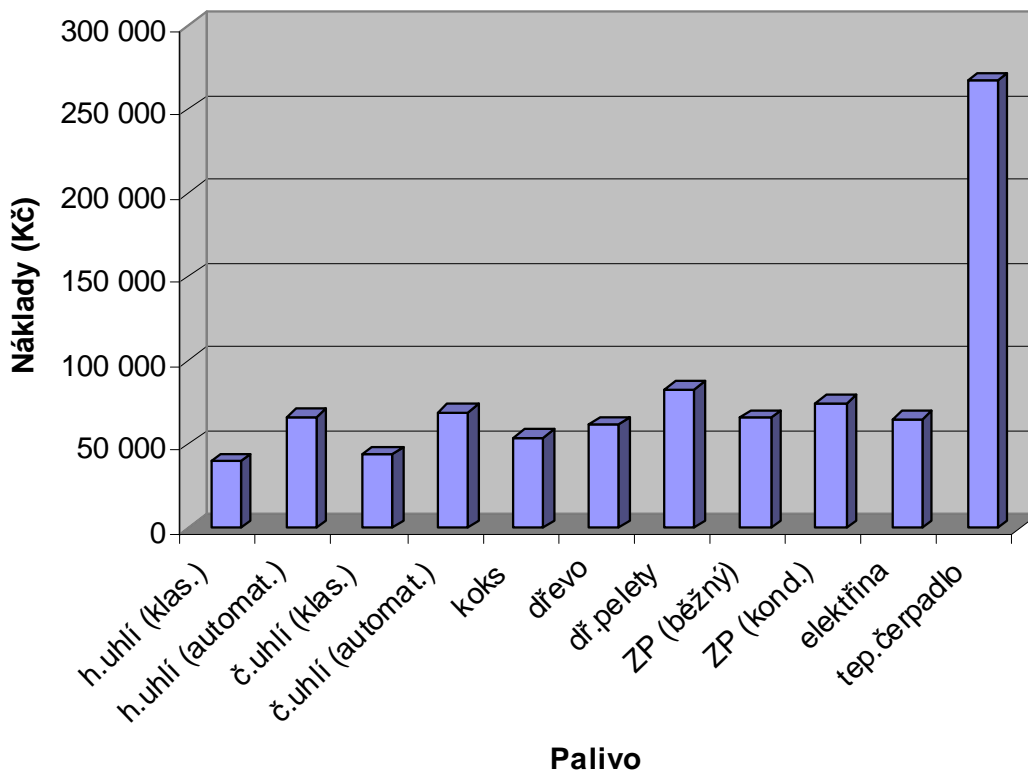


Obrázek 32 Roční náklady na vytápění domácností podle typu kotle a druhu paliva

Při vyčíslení ročních nákladů na vytápění domácností (Obrázek 32) je jako nejvýhodnější způsob vyhodnoceno vytápění dřevem, dále hnědým a černým uhlím v automatickém kotli, následováno tepelným čerpadlem a zemním plynem v případě použití kondenzačního kotle [2].

Po sečtení palivových a nepalivových nákladů (počáteční investice na tepelné zařízení) lze získat následující výši celkových ročních nákladů na vytápění domácností pro vybrané druhy paliv a způsoby spalování (Obrázek 33). Z grafu vyplývá, že v rámci počátečních investičních nákladů je nejvýhodnější vytápění hnědým a černým uhlím v klasickém kotli. Následuje vytápění koksem a dřevem.

Investiční náklady a roční náklady na vytápění (Kč/rok)



Obrázek 33 Pořizovací investiční náklady a roční náklady na vytápění podle typu kotle a druhu paliva

4.4 Nejčastější chyby, trendy a doporučení při topení

Jaký plynový kotel si koupit? Pořídít si kamna nebo krb? Před vlastním pořízením zdroje na vytápění je zapotřebí se zamyslet nad tím, co od něj očekávat a jakou hlavní funkci bude nové zařízení plnit. Je nutné věnovat dostatek času volbě správného vytápěcího systému. Vhodné je si nechat poradit od odborníků, poslechnout si co, která firma nabízí a jak je schopná svůj produkt vysvětlit a obhájit.

Navrhnout vhodný zdroj tepla pro vytápění objektu je úlohou pro projektanta, který provede výpočet tepelných ztrát objektu a na jejich základě navrhne požadovaný výkon a typ zdroje. Návrh zdroje tepla zásadně ovlivňují dva faktory: druh paliva, který bude k dispozici a množství peněz, které je majitel ochotný do zdroje tepla a souvisejícího topného systému investovat. Zohledňuje se také komfort obsluhy.

4.4.1 Nižší teplota spalování

Vlivem zpřísněných požadavků na tepelně technické parametry a vlastnosti stavebních konstrukcí budov se výrazně snížila energetická náročnost novostaveb a rekonstruovaných domů. Tepelné ztráty se tak v současnosti pohybují na úrovni od 3 kW do 9kW. Tomuto trendu se přizpůsobili i mnozí výrobci zdrojů tepla [81].

Úkolem topné soustavy je efektivně nahradit tepelnou ztrátu objektu a přitom vytvořit v domě dobrou tepelnou pohodu. Pro vytápění rodinných domů jsou významné tři soustavy: teplovodní soustava s přirozeným nebo nuceným oběhem, kde teplotonosná látka je voda o teplotě 110 °C, nízkoteplotní teplovodní soustava, která pracuje s teplotou nejvíce 65 °C (obvykle do 55 °C) a teplovzdušná soustava, kde teplotonosnou látkou je ohřátý vzduch.

Starší teplovodní soustavy s klasickými kotli mají většinou přirozený oběh teplotonosného média na principu rozdílné hustoty vody v přírodním a vratném potrubí. Chladnější voda s vyšší hustotou ve vratném potrubí způsobuje přetlak a cirkulaci mezi kotlem vytápěcími tělesy. Teplotní spád je zpravidla 90/70 °C. Tyto soustavy se pro menší objekty s větším výškovým rozdílem mezi zdrojem tepla a vytápěcími tělesy navrhuje i v současnosti. Předností této soustavy je nezávislost oběhu média na dodávce elektřiny pro oběhové čerpadlo a tím je zajištěn trvalý oběh tepla ze zdroje. Nevýhodou je malý provozní tlak, takže rozvodové potrubí musí mít větší průměr. V nových domech nebo při rekonstrukci vytápění se stále častěji používají nízkoteplotní soustavy s teplotními spády 55/45 °C nebo 45/35 °C a s nuceným oběhem pomocí oběhového čerpadla. Výhodou je při použití plynového kondenzačního kotle hospodárný provoz, lepší tepelná pohoda a možnost použít alternativní zdroje tepla.

Zdrojem tepla pro nízkoteplotní vytápění může být i kotel na klasické palivo, avšak teplota vody v topných tělesech nesmí přesáhnout 65 °C a u podlahového a stěnového vytápění 55 °C. Kotel však musí být odolný proti nízkoteplotní korozi, protože vratná voda dosahuje teplot okolo 40 °C i nižší. Tyto požadavky nejlépe zajistí nízkoteplotní nebo kondenzační plynový kotel. Aby zdrojem tepla mohl být i klasický teplovodní kotel, musí být vybaven účinnou regulací a musí být doplněn akumulčním zásobníkem teplé vody, respektive vhodnou ekvitermní regulací.

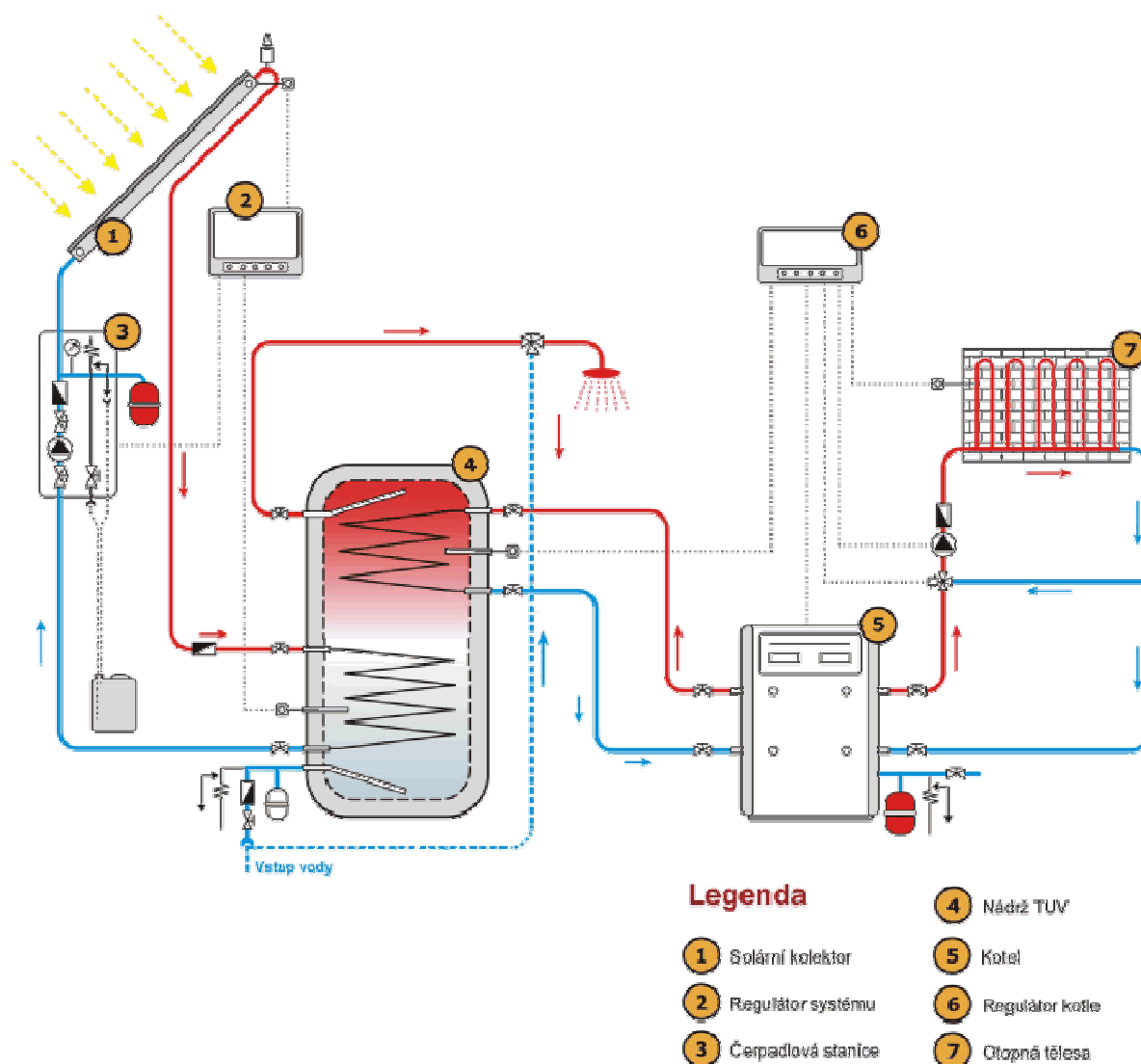
Z kotlů na pevné palivo je pro nízkoteplotní soustavu nejvhodnější zplyňovací kotel na dřevo. Teplota vratné vody by u těchto kotlů neměla klesnout pod 65 °C, takže základní podmínkou použití pro nízkoteplotní soustavu je zařazení akumulčního zásobníku teplé vody s regulací. Předností je nižší pořizovací cena vzhledem k výkonu a ještě stále levné palivo. Cena kotlů s tepelným výkonem 20 až 35 kW se přibližně pohybuje v rozmezí 27 000 Kč až 60 000 Kč [101], [102].

Jaký vytápěcí systém však zvolit? Topná tělesa nebo velkoplošné podlahové či stěnové vytápění? K nízkoteplotním zdrojům je podlahové vytápění energeticky nejvýhodnější. Správně naprojektované podlahové vytápění také zajišťuje jedinečný uživatelský komfort. Stěny místností zůstávají volné a uspořádání nábytku má maximální variabilitu. Naopak radiátory podstatně rychleji reagují na regulační zásah, protože setrvačnost nahřívání několika tun betonu se pohybuje vždy v řádu hodin. Radiátory také hrají prvořadou roli při rekonstrukcích, kde již nelze bourat podlahy. I radiátory je vhodnější volit nízkoteplotní, např. hliníkové, aby využití a předání tepla bylo co nejlepší.

4.4.2 Kombinování malých zdrojů tepla

Volbu zdroje tepla ovlivňuje mnoho faktorů. Velikost a využití domu, jeho lokalita (venkov, město), dostupnost sítí a druhů paliv, ochota uživatelů investovat do provozu vytápění svou práci a čas (obsluha) a zejména pořizovací náklady. Vhodnou kombinací zdrojů tepla podle individuálních potřeb vytápěného prostoru je však možné náklady na teplo snížit. Většinou se jedná o kombinaci obnovitelného zdroje (tepelné čerpadlo, solární kolektory, biomasa, atd.) a doplňkového zdroje pro případ nedostatečného výkonu hlavního zdroje tepla (plynový kotel, elektrický kotel), viz Obrázek 34. K tomu je možné přidat solární ohřev teplé vody v období mimo topnou sezónu.

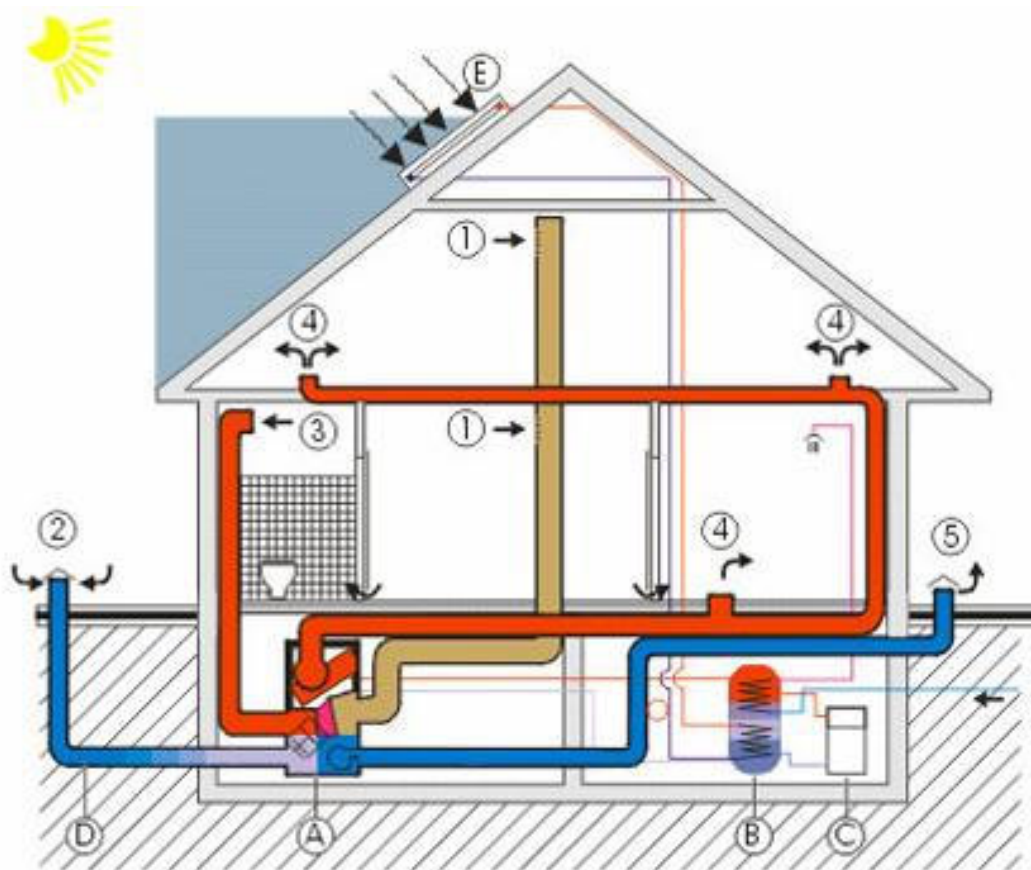
Variant je vždy několik a proto je zapotřebí brát v úvahu specifika jednotlivých zdrojů. Všeobecně se vždy odehrává souboj mezi nízkoteplotními zdroji (tepelná čerpadla, kolektory) a kotli na tuhá paliva, které naopak pracují v teplotami blízkými bodu varu. Řešením je akumulční zásobník, do kterého je možné ukládat energii vyrobenou jakýmkoliv způsobem a to i z vícero zdrojů, které jsou svým fyzikálním principem jinak neslučitelné. Akumulční nádrž umožní zásobit teplem spotřebiče (podlahové vytápění, radiátory) vodou o požadované teplotě a ve správném okamžiku.



Obrázek 34 Zapojení solárního systému ke kotli (na pevná paliva, plynový kotel) nebo k tepelnému čerpadlu [103]

4.4.3 Vytápění kombinované s řízením větrání s využitím rekuperace

Pro udržení optimálních podmínek v obývaných prostorech je nevyhnutelné zajištění dostatečné výměny vzduchu, protože při nízké intenzitě větrání se mohou zhoršovat mikroklimatické podmínky. Infiltrace se na celkových tepelných ztrátách podílí cca 25 %. Množství odcházejícího vzduchu tak představuje významný energetický potenciál, který je možné částečně využít. Účinný způsob jak zajistit výměnu vzduchu na požadované míře a zároveň využít energetický potenciál odcházejícího vzduchu, je systém větrání a vytápění s částečným zpětným získáváním tepla, tzv. rekuperace (Obrázek 35).



- | | |
|---|--------------------------------|
| 1 – cirkulační vzduch z místností do rekuperační jednotky | A – rekuperační jednotka |
| 2 – venkovní vzduch přiváděný zemním kolektorem | B – integrovaný zásobník tepla |
| 3 – odpadní vzduch (WC, koupelna, atd.) | C – kotel |
| 4 – cirkulační a větrací vzduch do obytných místností | D – zemní kolektor |
| 5 – výfuk odpadního vzduchu po rekuperaci | E – solární vakuové kolektory |

Obrázek 35 Systém rekuperace a ohřevu vzduchu [104]

Vzduch je odsáván z místností, které mohou být exponovány zápachem nebo vlhkostí (koupelna, WC, kuchyň) a je společně se spalinami z kotle vedený do výměníku, ve kterém se předehřívá čerstvý vzduch. Ten je následně přiváděný do obytných prostor. Tímto způsobem je možné využít až 50 % energetického potenciálu odcházejícího vzduchu a tím snížit spotřebu paliva o 10 až 15 %. Součástí tohoto systému může být jednoduchý energetický zdroj, který v období velmi nízkých venkovních teplot přiváděný vzduch dohřívá [82].

4.4.4 Nové rozvody systému vytápění pro nový zdroj?

Pokud je používána kombinace dvou zdrojů tepla, plynové kotle a původního kotle na tuhá paliva a je zvažována výměna původních rozvodů topného systému za tenčí měděné či plastové trubky, je nutno počítat s nemožností si udržet samospád s veškerými výhodami i nevýhodami, které z tohoto systému vyplývají. Závisí, kterému zdroji bude dáována větší přednost. Když bude upřednostňován plyn, potom jsou nové rozvody na místě. Sníží se tím množství vody ve vytápěcím systému a při zatopení se voda rychleji ohřeje. Pokud je upřednostňováno vytápění uhlím a dřevem, je zbytečné rozvody (pokud jsou v pořádku) předělávat. Kromě ušetřených peněz za instalaci nového systému, jediný rozdíl bude v tom, že při provozu plynové kotle bude trvat o několik minut déle než se zahřeje topný systém. Na druhé straně, větší množství vody v systému má delší tepelnou setrvačnost, takže topný systém nevychladne tak rychle.

4.4.5 Jak udržovat plynový kotel

Provoz plynové kotle obvykle nevyžaduje žádné větší zásahy a asi proto je nejčastější chybou majitelů úplná neznalost návodu k obsluze. Pravidelná kontrola tlaku vody v systému ústředního topení může napovědět, zda se kotel chová standardně a je tak možné předejít zbytečným poruchám. Poruchám způsobeným zanesením spotřebiče prachem nebo opotřebením dílů je možné předejít pravidelnou údržbou. Servis a kompletní kontrolu kotle je nejideálnější realizovat v létě. Technik by měl zkontrolovat komínové potrubí, systém vytápění, správné fungování expanzní nádrže a oběhového čerpadla, těsnění, zážeh kotle, dostatečný přívod vzduchu, dobrý odvod spalin, regulační a bezpečnostní prvky kotle, kompletní nastavení, výměník, hořáky, spalovací komory atd. Zároveň by měl vyčistit filtry a případně odvzdušnit systém [99]. Rozhodně by se nemělo každoroční a profesionální vyčištění kotle podceňovat. Voda, která je použita v topném systému se obvykle napouští z vodovodu bez úpravy. To znamená, že obsahuje určité množství minerálů, které se následně usazují ve výměníku a vytvářejí na jeho stěnách nežádoucí tepelnou izolaci, která zhoršuje prostup tepla ze spalin do vody. Kotel tak nemusí pracovat na plný výkon, čemuž také napomáhá prach, který se usazuje uvnitř kotle. Naopak vyčištěný kotel funguje hospodárněji a navíc pravidelná údržba mu prodlouží životnost.

4.4.6 Provozování teplovodních kotlů na tuhá paliva

Prvním předpokladem správné funkce teplovodního kotle je dodržení předepsaného zapojení tohoto zařízení, které je dané příslušnými předpisy a normami a taktéž doporučením samotných výrobců teplovodních kotlů, kteří nejlépe vědí, čemu je zapotřebí se při montáži vyhnout a na co je nutné klást důraz. Tady dochází k prvnímu problému ze strany některých spotřebitelů, který

ve snaze ušetřit finanční prostředky při montáži a zapojování teplovodního kotle, vědomě ignorují doporučení výrobců a nenamontují předepsané konstrukční zařízení, jež jsou součástí technických opatření pro prevenci a ochranu před krizovými situacemi. Toto tzv. „ušetření“ často vede v lepším případě ke snížení životnosti kotle, v horším případě k havarijní situaci kotle.

Druhým problémem, který může nastat, je nesprávná manipulace s kotlem, respektive provozování kotle. Ve statistikách se uvádí, že cca 35 % uživatelů si podrobně přečte a nastuduje celý návod na obsluhu všech zakoupených zařízení. Spotřebitelé v praxi při ovládání různých technických zařízení, včetně teplovodních kotlů, často používají metodu pokusu a omylu, která bývá příčinou následných poruch. Teplovodní kotle musí pracovat v předepsaných provozních podmínkách, aby se předešlo např. vyšlenutí plamene z ohniště, vypadnutí žhavých částic z ohniště nebo špatnému odtahu spalin. Z tohoto důvodu je důležité, aby se v ohništích dimenzovaných na určitý druh paliva, libovolně paliva nezaměňovala.

K vyšlenutí plamene může dojít při otevření příkládacích dvířek za účelem doplnění paliva do zásobníku. Tato situace může nastat při nedostatečném vyvětrání zásobníku paliva nebo při příliš rychlém utlumení hoření kotle, kdy dojde k zhasnutí plamene. V důsledku toho hrozí nebezpečí vznícení spalin nahromaděných v násypné šachtě a následně vyšlenutí plamene z kotle, které může způsobit popálení obsluhy teplovodního kotle. Toto nebezpečí je větší při příkládání paliva do kotle, ve kterém zůstává už jen malé množství paliva. Z tohoto důvodu je vhodnější palivo do kotle příkládat ještě před tím, než zcela vyhoří.

Provoz, životnost a funkci teplovodního kotle na tuhá paliva velmi podstatně ovlivňuje použité palivo. Je potřebné používat suché palivo s vlhkostí do 20 %, které zabezpečuje lepší provozní parametry. Čím sušší palivo je v kotli spalováno, tím vyšší účinnosti kotel dosahuje a zároveň se prodlužuje jeho životnost. Největším problémem kotlů na tuhá paliva, který stejně významně ovlivňuje životnost kotle, je jejich regulace, jelikož většina výrobců pro rodinné domy nabízí kotle o maximálním výkonu 12 až 25 kW. Výkon kotlů je sice možno regulovat zpravidla v rozmezí od 40 do 100 %, ale bývá to na úkor provozní činnosti a jejich větší tepelná setrvačnost ztěžuje podmínky pro regulaci topného systému. Provoz kotle je nejehospodárnější, když pracuje přibližně na 80 % svého maximálního výkonu [84]. Čím více je kotel předimenzovaný, tím déle musí být provozován při nižší účinnosti. Navíc se mže při takovém provozu vyskytnout nízkoteplotní koroze.

Nízkoteplotní koroze vzniká v případě poklesu teploty vratné vody. Jakmile teplota vratné vody klesne pod cca 50 °C, dochází k nízkoteplotní kondenzaci vodních par a spalin, při které se síra obsažená v palivu přeměňuje na kyselinu sírovou a oxidy dusíku na kyselinu dusičnou. Tyto dvě látky působí na těleso

výměníku a konstrukci kotle velmi korozivně. Tím se snižuje jeho životnost a rostou náklady na údržbu nebo opravy.

Řešením je doplnit topnou soustavu o jednu nebo více akumulčních nádrží a o směsné zařízení. Kotel může být provozován na optimálním výkonu, přičemž nadbytečné teplo se akumuluje do nádrže a směsné zařízení reguluje teplotu topné vody podle vnější teploty bez přetápění objektu. V přechodném období navíc postačuje zatopit v kotli jednou za dva a tři dny [73].

4.4.7 Co s předimenzovaným kotlem po zateplení domu?

Co udělat s předimenzovaným kotlem po zateplení domu a výměně oken? Pokud např. z finančních důvodů není možná výměna kotle a celého topného systému, řešením je akumulční nádrž. Může být postavena vedle kotle a oběhové čerpadlo na výstupu z kotle bude dopravovat vodu do nádrže i do radiátorů opatřených termostatickými hlavicemi. V případě uzavření termostatických ventilů se bude teplo z kotle akumulovat v akumulční nádrži. Akumulční nádrž může být vytopená během dvou přiložení paliva za 3 až 4 hodiny na teplotu cca 85 °C a teplo v ní vydrží v závislosti na vnější teplotě a nastavení termostatických ventilů až na 24 hodin [73]. To znamená, že v kotli s akumulční nádrží stačí zatopit jednou za den až dva dny, následovně jednou až dvakrát přiložit a kotel provozovat tak, aby se dostal na plný výkon. Kotel zůstane čistý, nezanesený, bez dehtování a bez výraznějšího dýmu z komínu. Důležité je, aby teplota topné vody vracející se do kotle neklesla pod 60 až 65 °C, což by měl zabezpečit okruh s trojcestným ventilem.

Před nainstalováním akumulční nádrže je však také důležité si rozmyslet, kolik nádrží a o jakém objemu bude potřeba. Vyhněte se tím případným komplikacím a s doinstalováním další nádrže. Kvalitní izolace akumulční nádrže a dobrá regulace systému jsou základním předpokladem pro její několikahodinové vytápění. Investice do akumulčních nádrží nejsou nejnižší a závisí na jejich počtu a velikosti, stejně jako na regulačním systému. Pokud budeme uvažovat systém se dvěma nádržemi o objemu 1 m³, bude cena okolo 50 000 až 55 000 Kč. Na ovládací a regulační jednotky a jejich zapojení je zapotřebí počítat s dalšími cca 20 000 Kč. Na návratnost akumulčních nádrží je možné se dívat z hlediska paliva, jehož spotřeba se sníží asi o jednu čtvrtinu. Přebytkové teplo se bude ukládat do nádrží, takže nebude docházet k přetápění objektu a teplo z nádrže bude využito, až v případě potřeby. Spalování v kotli bude téměř dokonalé, čímž se zvýší účinnost spalování a v neposlední řadě se zvýší i komfort vytápění zatápěním jednou za den až dva.

4.4.8 Jak odstranit z kotle dehet?

Dehet je vazká černá kapalina charakteristického zápachu, odvozená z rozkladné destilace organické hmoty. V případě uhlí vzniká vysokoteplotní karbonizací. Nejjednodušším způsobem je dehet vypálit. Při teplotě vody 80 až

90 °C na výstupu by měl vyhořet. Jednorázové odstranění dehtu je však pouze krátkodobý efekt. Pokud se dehtu vytváří hodně, potom je chyba v provozní teplotě kotle. Kotel není provozován na plný výkon a je často utlumený velkým množstvím paliva, vysokou vlhkostí paliva, nízkým tahem komínu a nedostatečným množstvím sekundárního vzduchu. Při útlumu musí být zajištěný sice snížený, ale stálý přísun sekundárního vzduchu, aby prchavá hořlavina vyhořela a nedehtovala [73].

Optimální teplota vody v kotli při spalování tuhých paliv je 80 až 90 °C. Tato teplota však odpovídá vnější teplotě výrazně pod nulou. Při vnější teplotě okolo nuly by při této teplotě docházelo v domě k přetápení. Při vyšší vnější teplotě je vhodné v kotli zatopit a při dostatečném přísunu vzduchu pořádně rozhořet, aby se co nejrychleji dosáhlo provozní teploty. Následovně stačí jen mírně přiložit, aby se voda v celé topné soustavě kompletně ohřála a po překročení 70 °C již nepřikládat a raději nechat kotel téměř vyhasnout než ho dusit a dehtovat. Všechno může vyřešit akumulací nádrž.

4.4.9 Jaké palivo zvolit pro kamna a krbové vložky

Pro všechny krbová kamna a krbové vložky platí, že jako palivo je možno používat suché dřevo, brikety lisované z pilin, brikety z hnědého uhlí (více špiní sklo a potřebují více spodního vzduchu při hoření). Dřevo by mělo být suché, přičemž měkké dřevo by mělo být vysušené nejméně rok (smrk, borovice, atd.) a tvrdé dřevo dva roky (buk, dub, olše, atd.). Pokud existuje volba mezi druhem dřeva, potom pro použití v krbech a kamnech jsou vhodnější tvrdá dřeva [85]. I přesto, že je dřevo považováno za ekologické palivo, při nevhodném používání může významně poznamenat lokální ovzduší. Dřevo s vysokým obsahem vody způsobí snížení teploty i v nejlepší konstrukci ohniště. V důsledku toho prchavá hořlavina nestačí vyhořet a spaliny tak obsahují vysoké koncentrace oxidu uhelnatého, organického uhlíku a ostatních produktů nedokonalého spalování.

Pokud není v návodu ke kamnům výslovně napsáno, nelze v nich topit žádnými jinými palivy, zejména ne domovním odpadem, dřevem se zbytky barev a laků, gumou, plasty, PET láhvemi, černým uhlím, koksem, tekutými a plynnými palivy. Tato zakázaná paliva totiž hoří při výrazně vyšší teplotě než dřevo a jejich použití může způsobit, i mimo ekologických dopadů, poškození kamen přetopením. Takovéto poškození se při reklamaci často pozná a reklamace nemusí být uznaná [85].

Ve snaze dosáhnout co možná nejdelšího času hoření jsou někdy spalována velká a nerozštípaná polena. Takováto polena však špatně hoří a dochází k zanášení kamen a skla na dvířkách. V pokynech od výrobců je většinou uvedena vhodná délka polen pro daný typ kamen. V případě, že se do kamen naloží více paliva než je doporučováno výrobcem nebo se nesprávně používají prvky regulace vzduchu, může taktéž dojít k přetopení. K přetápení kamen či

krbů často dochází i tehdy, pokud majitel naloží velké množství dřeva nebo pokud po celou dobu hoření ponechá maximálně otevřený přívod primárního vzduchu.

4.4.10 Udrží dřevěné brikety oheň po několik hodin?

Vydrží dřevěné brikety po večerním přiložení topit až do rána, tzn. cca 10 hodin? V kotli s prohoříváním klasické dřevěné brikety hořet 10 hodin určitě nevydrží. Je možné zakoupit brikety kůrové, které při plném naložení zásobníku kotle mohou hořet i 8 hodin. Jejich cena je však vyšší než cena běžných dřevěných briket, které ale vyhoří za poloviční čas, tzn. asi za 4 hodiny [73]. Z tohoto pohledu se do kůrových briket vyplatí investovat, především za předpokladu, že chceme vytápět ekologickým palivem. Jistota dlouhého hoření zde však není.

Délka hoření tuhého paliva je velmi závislá na provozování kotle, tzn. na množství přiváděného spalovacího vzduchu. Při jeho škrcení může docházet k zadehtování kotle. Kůrové brikety se cenou vyrovnají uhelným briketám, které hořet 10 hodin vydrží. A pokud nechceme topit uhlím, je nejlepší kůrové brikety kupovat v létě, po skončení topné sezóny, kdy jsou ceny nižší o 20 až 30 % [73]. V případě zateplení domu nejsou tepelné ztráty příliš velké, vzduch interiéru by se neměl do dalšího topení výrazně ochladit. A to ani za předpokladu, že kotel vyhasne např. ve 4 hodiny ráno. Každý dům je však specifický a obsluhu kotle si musí přizpůsobit každý individuálně s dodržením bezpečnostních pokynů výrobce kotle.

4.4.11 Akumulační kachlová kamna nebo kachlový sporák?

Pokud se uživatel rozhoduje pro koupi akumulčního spalovacího zařízení, musí mít jednoznačnou představu, k čemu bude tento spotřebič využívat. I navzdory tomu, že v akumulčních kachlových kamnech a u kachlového sporáku je uvedený stejný výkon, konstrukce ohniště se v obou případech zásadně odlišuje. Akumulační kamna se obyčejně obsluhují párkrát za den. Kachlový sporák je spalovací zařízení určené na vaření a pečení a proto má k tomuto účelu přizpůsobené ohniště. Výkon ohniště kachlového sporáku je přibližně 24-krát menší než ohniště těžkých akumulčních kachlových kamen [83]. Odlišná je i možnost regulace procesu spalování a z tohoto důvodu je sporákové ohniště malé a vybavené roštem. Mylná je také domněnka, že pokud se v kachlovém sporáku spálí stejné množství paliva, jako v kachlových kamnech, získá se stejné množství energie. Ohniště kachlového sporáku neumožňuje spalovat palivo za tak vysokých teplot jako ohniště kachlových kamen a proto nemůže dosahovat stejné účinnosti. Tepelný výkon kachlového sporáku v porovnání s výkonem ohniště kachlových kamen je o cca 25 % nižší. Navíc asi 50 % energie odebere přímo plotna a na potenciální akumulaci zůstává necelých 20 % výkonu

[83]. Z tohoto pohledu je kachlový sporák vhodný více pro přímé topení než jako akumulární spalovací zařízení.

Před nákupem kachlových kamen by měl majitel s určitostí vědět, zda má k dispozici vhodný komín a dostatek místa. Kachlová kamna musí být umístěna na nehořlavé podložce, např. na dlažbě. Je možné je postavit na plovoucí podlahu nebo koberec, ale za předpokladu, že se pod kachlová kamna umístí dostatečně velký podkladový plech nebo podkladové sklo. Kromě toho, musí být kachlová kamna umístěná nejméně ve vzdálenosti 20 cm od hořlavých předmětů. Ve směru prosklených dvířek se tato vzdálenost prodlužuje až na 80 cm [74], [83]. Sezení je vhodné situovat ve větší vzdálenosti než 2 metry před kamny, protože ve velké blízkosti kamen je příliš horko.

4.4.12 Vlastnosti otevřeného teplovzdušného systému

V současnosti je rozšířený názor, že prostřednictvím jedné krbové vložky nebo krbových kamen je možné bez výraznějších problémů vytopit téměř celý dům, a to prostřednictvím otevřeného teplovzdušného systému. Tento systém je založený na výměníku tepla, který je umístěný uvnitř kamen, krbu nebo jiného spotřebiče, a přes který se v dolní části nasává chladný vzduch. Ten se na stěnách výměníku intenzivně ohřívá, čímž zvětšuje svůj objem a zároveň snižuje hustotu a v horní části spotřebiče vystupuje do místnosti. Ohřátý vzduch může být vedený i do dalších místností.

Proudící vzduch však přenáší částičky prachu a nečistot, stejně jako i nepříjemné pachy [73]. Prach, který cestuje společně se vzduchem z místnosti do místnosti, může obsahovat bakterie a jiné organické a anorganické částičky (alergeny). Tyto částice se mohou dostat do dýchacího systému, usazovat se v plicích a podporovat vznik astmatických problémů, alergických reakcí nebo respiračních onemocnění. Navíc systémem se z místnosti snadněji šíří i různé zvuky.

Pokud pomineme zdravotní rizika, problémem může být vytápění ostatních místností na požadované teploty. Prosklené ohniště vysálá přes sklo cca 40 až 50 % energie do místnosti a další část odevzdá do pláště a krbového tělesa. To znamená, že přibližně 50 až 60 % energie zůstává v místnosti s instalovaným lokálním spotřebičem. Vedením teplého vzduchu do dalších místností dochází na každém metru potrubí k tepelným ztrátám. I když bychom tepelné ztráty neuvažovali, odevzdá lokální spotřebič o výkonu 10 kW/hod. do místnosti, kde je instalovaný 6 kW (60 %) a zůstávají 4 kW. Pokud je rozdělíme do dalších tří místností, dostaneme v každé cca 1,3 kW. Do každé místnosti tak bude proudit vlažný vánek [73]. Samozřejmě je možné instalovat výkonnější krbovou vložku, ale nesmíme zapomínat, že v místnosti s krbovou vložkou zůstává 60 % tepla.

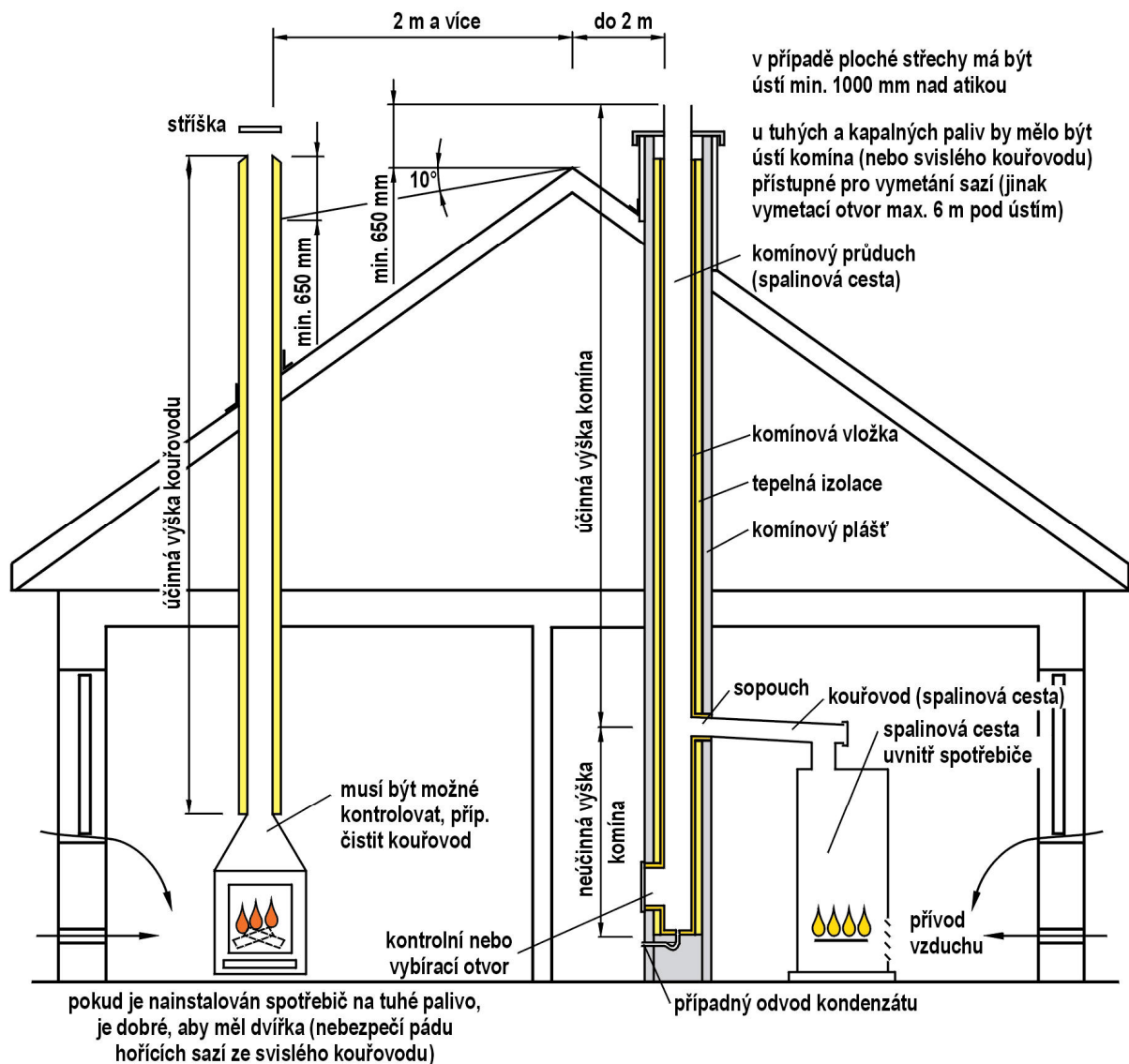
Ze zdravotního pohledu, stejně jako z pohledu účinnosti, není otevřený teplovzdušný systém vytápění pro trvale obydlené objekty příliš vhodný. Vhodnější je spíše sálavý akumulací systém vytápění. Stavba sálavého akumulací systému vytápění si však vyžaduje velké množství ne právě levných materiálů s poměrně vysokou hmotností. Jejich kvalita, sálavé teplo, vysoká účinnost, komfort, ekologický provoz a životnost však vysokou cenu výrazně převyšují.

4.4.13 Komíny a kouřovody

Hlavní funkcí komínu je vytvořit tah pro hoření a odvést zplodiny z procesu hoření z budovy. Dobrý tah je velmi důležitý pro dobré spalování a za dobrý tah se běžně považuje hodnota v rozmezí 10 až 20 Pa. Tah vytváří komín, ne ohniště, přičemž vysoký komín dává vyšší tah. V případě nízkého komínu může být řešení špatného tahu jeho prodloužení. Průměr komínu by nikdy neměl být menší než průměr vyústění z ohniště. Komín s kruhovým průřezem dává běžně lepší tah než čtvercový průřez. Použití kolena v kouřovodu tah snižuje, proto v případě nutnosti použití kolena je lepší zvolit kolena dvě s úhlem 45° [76].

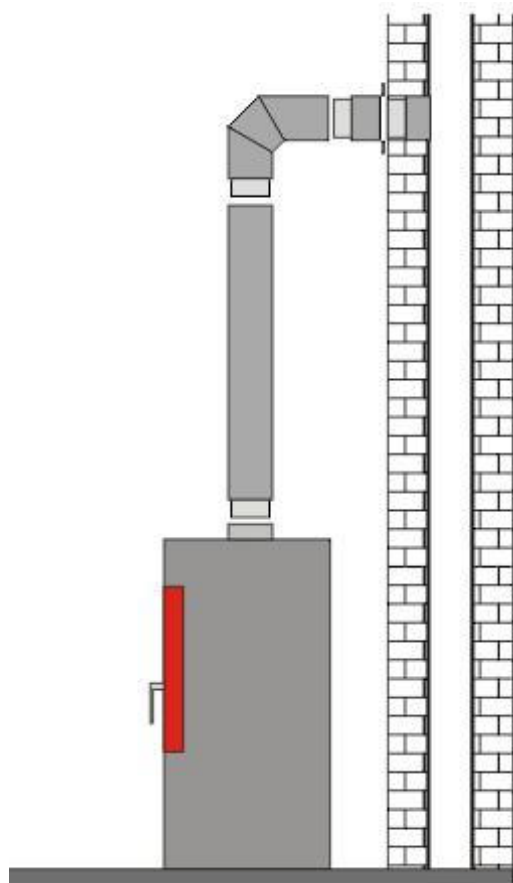
Taktéž vysoká teplota způsobuje vysoký tah komínu. Příliš vysoký tah může způsobit příliš rychlé vysátí tepla do komínu, přičemž dochází k nedostatečnému vyhoření prchavých složek. Dobrého výsledku lze dosáhnout, pokud výška a průměr komínu odpovídají typu a velikosti ohniště. Příliš vysoký tah komínu může být regulován klapkou nebo regulátorem tahu do kouřovodu nebo komínu. Základní zásady a doporučení pro nejčastěji používané komíny a svislé kouřovody s přirozeným tahem uvádí Obrázek 36 [74].

Je možné se často setkat se snahou instalovat na kouřovod různé dodatečné zařízení za účelem zvýšení účinnosti spalovacích zařízení (teplovzdušné nebo teplovodní výměníky). Takovéto instalace však snižují teplotu odcházejících spalin do komínu a spaliny potom nemají dostatek energie k tomu, aby vylétly komínem. Zvláště citelné je to u moderních kamen nebo krbů, které mají vysokou účinnost a spaliny z nich odcházejí již poměrně chladné. Instalace dodatečného výměníku by v tomto případě znamenala nedostatečný tah komínu a kouření spotřebiče. Výměníky tohoto typu je možné instalovat pouze na spotřebiče staré konstrukce s vysokým výkonem, nízkou účinností a vysokou teplotou spalin. Úplně nepřijatelné je, aby byl kouřovod situovaný přes strop na poschodí za účelem vytápění a až tady by ústil do komínu.

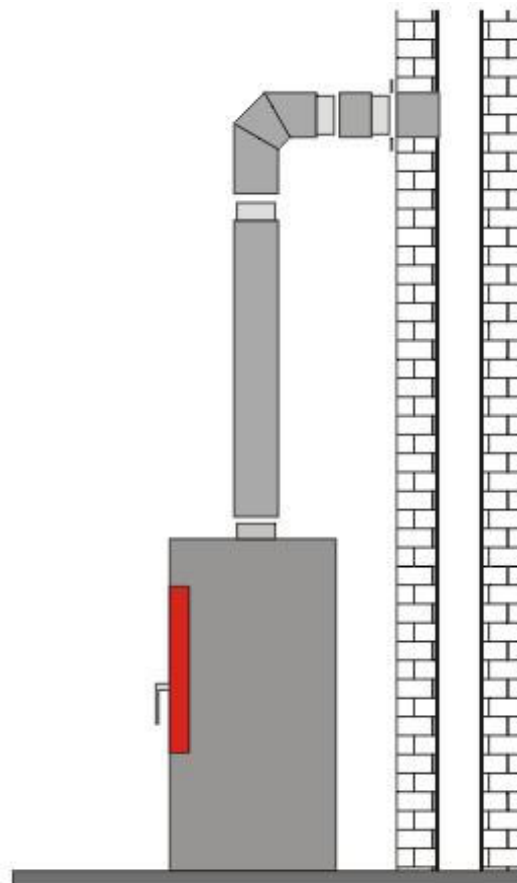


Obrázek 36 Základní názvosloví a doporučení pro komíny s přirozeným tahem [88]

Z hlediska směru existují dva možné způsoby zapojení kouřovodů. Zapojení „po vodě“ (Obrázek 37) [100] je doporučováno nově platnou normou. Směr kouřovodu je takový, že zúžené hrdlo kouřovodu je nasměrováno dolů ke spotřebiči. Problém je v tom, že u většiny kamen a krbových vložek jsou jejich příruby pro kouřovody udělané starým způsobem, tzn. že u nich nelze zapojit kouřovod dovnitř. Potom je nutné kouřovody otočit a přistoupit k zapojení „po kouři“ (Obrázek 38) [100]. Toto zapojení se používá po mnoho let a je stejně vyhovující.



Obrázek 37 Zapojení kouřovodu „po vodě“



Obrázek 38 Zapojení kouřovodu „po kouři“

Největším problémem současnosti z pohledu odvodu spalin z tuhých paliv jsou dřevozplyňující kotle. Podstata jejich spalování je založená na základní myšlence, že nehoří samotné dřevo, ale dřevoplyn uvolněný při určité teplotě z dřevní hmoty. Hlavní problém je spojený s tím, že příslušný komín není dimenzovaný pro odvod spalin ze zplyňovacího kotle a často nevyhovuje ani po stránce materiálového vyhotovení. Samotné technické požadavky dřevozplyňujících kotlů na komínovou techniku jsou spojeny s přílišnou tvorbou sazí, resp. přílišným dehtováním komínu. Riziko z pohledu přílišné tvorby sazí, resp. z dehtování komínu, je eliminováno dokonalostí spalování. Ke zvýšené tvorbě sazí dochází zejména při nedokonalém spalování, pokud je proces hoření regulovaný přívodem spalovacího vzduchu v závislosti na momentální potřebě tepla (škrcení hoření).

Pokud dřevo hoří pomalu a při nízké teplotě, dochází k tvorbě dehtu a organických pár, které v kombinaci s vlhkostí vytvářejí kreosot. Kreosot je název používaný pro škálu produktů dělících se na dřevný kreosot a kreosot z uhelného dehtu. Dřevný kreosot se průmyslově získává vysokoteplotním

zpracováním bukového nebo jiného dřeva. Termín kreosot (též kreosotový olej) se však nejčastěji používá pro kreosot z uhelného dehtu. Je to kalná, olejovitá kapalina typicky jantarové až černé barvy, která vzniká při nedokonalém spalování.

Kreosot se postupně usazuje na stěnách komínu a je zdrojem požárů komínů. Nadměrná tvorba kreosotu může být způsobená zejména špatnou kvalitou dřeva, komínovým tahem a velikostí kamen. Proto je důležité si před zahájením topné sezóny nechat vymést komín. Pravidelné čištění komínu není důležité jen pro správní hoření, ale také kvůli bezpečnosti a zdraví. Pojišťovny neuznávají škodu bez potvrzení kominické firmy o správném zapojení spalovacího zařízení a pravidelného čištění komínu.

Čištění komínů je mechanické odstranění produktů spalování (pevné částice spalin), které se vlivem činnosti spotřebiče uchytily na vnitřní straně spalinové cesty a případně odstranění kondenzátu ze sběrné kondenzační nádržky. Spalinová cesta představuje systém, který zajišťuje bezpečný odvod spalin do volného ovzduší, a to od spalinového hrdla spotřebiče až po ústí komínu [76]. Lhůty čištění komínů předepisuje Vyhláška Ministerstva vnitra ČR č. 111/1981 Sb.

4.5 Legislativní požadavky na malé spalovací zdroje

Ekologická legislativa je velmi důležitá pro ekonomiku každého státu. Znečištěné životní prostředí představuje pro společnost zvýšené náklady při snižování nemocnosti v důsledku negativního působení škodlivých emisí na lidský organizmus, při opravách a rekonstrukcích historicky cenných objektů, ale i běžných budov, poškozených vlivem agresivního ovzduší nebo vlivem kyselých dešťů.

Z hlediska malých zdrojů jsou veškeré právní otázky upraveny zákonem č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých zákonů (zákon o ochraně ovzduší) ve znění pozdějších předpisů a návazných prováděcích právních předpisů.

4.5.1 Zákon o ochraně ovzduší

Zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší), byl Parlamentem ČR schválen dne 14.2. 2002 a nabyl účinnosti 1.6. 2002. První novelizace tohoto zákona byla zákonem č. 521/2002 Sb., kterým se mění zákon č. 76/2002 Sb. o integrované prevenci a o omezování znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů (zákon o integrované prevenci), a zákon č. 86/2002 Sb.,

o ochraně ovzduší. Smyslem této „technické novely“ bylo provázání obou zákonů z hlediska integrovaného povolování u kategorií zdrojů vyjmenovaných v zákoně o integrované prevenci. Druhá novela byla provedena zákonem č. 92/2004 Sb., kterým se mění zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a zákon č. 521/2002 Sb. Tato novela měla větší rozsah co do změn a úprav oproti první novele. Změny se týkaly vesměs technických úprav a největší změny této novely vyvstaly pro spalovny odpadů. Jelikož změn v rámci zákona o ochraně ovzduší je poměrně hodně, uvádíme nakonec jen poslední dvě změny č. 164/2010 Sb. a č. 172/2010 Sb., které se týkají změn podmínek obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů a doplňují informace o podílu biosložek v benzínu a motorové naftě.

Zákon o ochraně ovzduší za dobu své existence v praxi potvrdil, že je účinným nástrojem pro další zlepšování kvality ovzduší. Přijatý zákon vytváří pro oblast ochrany ovzduší kompaktní právní předpis, neboť jeho obsah tvoří oblast ochrany ovzduší, oblast ochrany ozonové vrstvy Země a oblast ochrany klimatického systému Země. Nesystémově byla do uvedeného právního předpisu zařazena na základě pozměňovacích návrhů v Poslanecké sněmovně Parlamentu oblast ochrany před světelným znečištěním, která byla novou č. 92/2004 Sb., zrušena.

Hlavním cílem právní úpravy byla transpozice právních předpisů Evropského společenství do oblasti ovzduší jako hlavní složky životního prostředí s důrazem na její ochranu a využití některých ustanovení bývalé legislativy, které se osvědčily a jejich ponechání v zákoně o ovzduší, pokud nejsou v rozporu s příslušnými právními předpisy Evropských společenství. Zákon o ovzduší transponuje 34 právních předpisů ES a požadavky plynoucí z mezinárodních úmluv a protokolů (zejména Úmluva EHK OSN o dálkovém znečišťování ovzduší překračujícím hranice států a její protokoly, Vídeňská úmluva o ochraně ozonové vrstvy Země včetně Montrealského protokolu a jeho dodatků). Dalším z cílů je dosažení evropské úrovně kvality ovzduší podle evropských právních předpisů, trvalá kontrola a prosazování plnění povinností u provozovatelů zdrojů znečišťování ovzduší, snižování objemu vypouštěných znečišťujících látek do ovzduší a snižování výroby, dovozu, vývozu a používání látek ohrožujících nebo poškozujících ozonovou vrstvu a klimatický systém Země.

Zákon o ochraně ovzduší stanovuje kompetence obcí v § 50 a jednotlivá ustanovení ze zákona o ovzduší se přímo či nepřímo dotýkají orgánu obcí. Podpůrnou legislativní pomocí jsou prováděcí právní předpisy týkající se ochrany ovzduší, viz Tabulka 16, vydané ve sbírce zákonů.

Tabulka 16 Seznam vybraných prováděcích právních předpisů k zákonu o ovzduší

Nařízení vlády č. 350/2002 Sb., ve znění č. 60/2004 Sb., se změnami č. 597/2006 Sb.	stanoví imisní limity a podmínky a způsob sledování, posuzování, hodnocení a řízení kvality ovzduší, zveřejňuje oblasti se zhoršenou kvalitou ovzduší
Nařízení vlády č. 351/2002 Sb., ve znění č. 417/2003 Sb.	stanoví závazné emisní stropy pro některé látky znečišťující ovzduší a způsob přípravy a provádění emisních inventur a emisních projekcí
Nařízení vlády č. 352/2002 Sb., se změnami č. 146/2007 Sb.	stanoví emisní limity a další podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší
Nařízení vlády č. 353/2002 Sb., se změnami č. 615/2006 Sb.	stanoví emisní limity a další podmínky pro provozování ostatních stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší
Nařízení vlády č. 354/2002 Sb.	stanoví emisní limity a další podmínky pro spalování odpadů
Vyhláška č. 355/2002 Sb.	stanoví emisní limity a další podmínky provozování ostatních stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší emitujících těkavé organické látky z procesů aplikujících organická rozpouštědla a ze skladování a distribuce benzínu
Vyhláška č. 356/2002 Sb., se změnami č. 205/2009 Sb.	stanoví seznam znečišťujících látek, obecné emisní limity, způsob předávání zpráv a informací, zjišťování množství vypouštěných znečišťujících látek, tmavosti kouře, přípustné míry obtěžování zápachem a intenzity pachů, podmínky autorizace osob, požadavky na vedení provozní evidence zdrojů znečišťování ovzduší a podmínky jejich uplatňování
Vyhláška č. 357/2002 Sb., se změnami č. 13/2009 Sb.	stanoví požadavky na kvalitu paliv z hlediska ochrany ovzduší
Vyhláška č. 358/2002 Sb., se změnami č. 483/2008 Sb.	stanoví podmínky ochrany ozonové vrstvy Země
Vyhláška č. 553/2002 Sb., novelizace č. 42/2005 Sb.	stanoví hodnoty zvláštních imisních limitů znečišťujících látek SO ₂ , NO _x a ozon pro regulační úřady na národní, krajské a místní úrovni
Nařízení vlády č. 112/2004 Sb., se změnami č. 372/2007 Sb.	o Národním programu snižování emisí TZL, SO ₂ , NO _x ze stávajících zvláště velkých spalovacích zdrojů

4.5.2 Povinnosti provozovatelů malých stacionárních zdrojů

Podle tohoto zákona [10] je provozovatelem zdroje znečišťování právnícká osoba nebo fyzická osoba, která zdroj znečišťování ovzduší skutečně provozuje. Není-li taková osoba, považuje se za provozovatele vlastník zdroje znečišťování.

Zákon o ovzduší uvádí šest základních povinností provozovatelů malých zdrojů znečištění (§ 12 odst.1).

Provozovatelé malých stacionárních zdrojů jsou povinni:

- a) uvádět do provozu a provozovat stacionární zdroje jen v souladu s podmínkami pro provoz těchto zdrojů,
- b) umožnit osobám pověřeným obcí a inspekci přístup ke stacionárnímu zdroji za účelem ověření kategorizace zdroje, zjištění množství vypouštěných látek a kontroly jeho technického stavu a předkládat jim k tomu potřebné podklady,
- c) oznámit stacionární zdroj, který vypouští těkavé organické látky, orgánu obce způsobem stanoveným prováděcím právním předpisem, vést evidenci těkavých látek a poskytnout každoročně přehled o jejich spotřebě obci,
- d) plnit pokyny orgánu ochrany ovzduší ke zjednání nápravy podle § 38 odst.1,
- e) dodržovat přípustnou tmavost kouře a pachové číslo, je-li stanoveno, a neobtěžovat kouřem a zápachem osoby ve svém okolí a obydlené části,
- f) zajišťovat prostřednictvím oprávněné osoby měření účinnosti spalování, měření množství pouštěných látek a kontrolu stavu spalinových cest u spalovacích zdrojů provozovaných při podnikatelské činnosti provozovatele, a to nejméně jedenkrát za 2 roky, a odstraňovat zjištěné závady; tuto povinnost plní provozovatelé u zdrojů spalujících tuhá paliva od jmenovitého tepelného výkonu 15 kW a u zdrojů spalujících plynná nebo kapalná paliva od jmenovitého tepelného výkonu 11 kW.

Povinnosti uvedené pod písmeny b) a f) se nevztahují na provozovatele malých stacionárních zdrojů umístěných v rodinných domech, bytech a stavbách pro individuální rekreaci s výjimkou případů, kdy jsou provozovány výhradně pro podnikatelskou činnost.

Jeden z prováděcích předpisů k Zákonu o ochraně ovzduší, a to Nařízení vlády č. 352/2002 Sb. stanovuje v příloze č. 7 podmínky:

- a) pro zjišťování znečišťujících látek,
- b) pro kontrolu účinnosti spalování,
- c) pro kontrolu spalinových cest.

Dále stanovuje lhůty provádění kontroly spalinových cest a účinnosti spalování.

4.5.3 Kontrola účinnosti spalování

Každý malý zdroj musí spalovat palivo alespoň s účinností podle

Tabulka 17 a Tabulka 18. Vyšší účinnost sníží spotřebu paliva a také sníží množství vznikajících znečišťujících látek. Stanovení účinnosti u malých zdrojů je výhodnější provádět nepřímou metodou. Pro zjednodušení provádění kontroly účinnosti autorizovanými osobami je účinnost spalování vypočtena pouze ze stanovení ztráty fyzickým teplem spalin, komínové ztráty (Nařízení vlády č. 352/2002 Sb., se změnami č. 146/2007 Sb.).

Tabulka 17 Platné limitní účinnosti spalování pro spotřebiče spalující kapalná a plynná paliva pro uvedený výkonový rozsah

Jmenovitý tepelný výkon	Datum uvedení spotřebiče do provozu		
	do 31.12.1982	do 31.12.1985	do 1.1.1990
[kW]			
11 až 25	85%	86%	88%
25 až 50	86%	87%	89%
větší než 50	87%	88%	90%

Tabulka 18 Platné limitní účinnosti spalování pro spotřebiče spalující tuhá paliva pro uvedený výkonový rozsah

Jmenovitý tepelný výkon	Datum uvedení spotřebiče do provozu		
	do 31.12.1982	do 31.12.1985	do 1.1.1990
[kW]			
15 až 20	68%	69%	70%
20 až 50	70%	71%	72%
větší než 50	72%	73%	74%

Při měření veličin nutných pro výpočet účinnosti spalovacího procesu u malých zdrojů se postupuje podle těchto zásad:

- a) měření je možno zahájit teprve v okamžiku, kdy je zdroj v ustáleném provozním stavu,
- b) měřicí sonda se umísťuje do otvoru, který je u nově instalovaných malých zdrojů součástí spalinového hrdla zdroje. Je nutné dodržovat zásadu, aby měřicí místo bylo v blízkosti spalinového hrdla zdroje a nedocházelo k ředění spalin a zkreslení naměřených hodnot,
- c) vlastní měření se provádí opakovaně, nejméně třikrát v intervalu nejméně 10 minut při jmenovitém výkonu zdroje nebo zařízení.

Při hodnocení účinnosti spalování se uvažuje pouze komínová ztráta. Další ztráty, jakou jsou poměrná ztráta mechanickým a plynným nedopalem a poměrná ztráta sdílením tepla do okolí, se neuvažují.

Každý spalovací zdroj musí spalovat palivo tak, aby koncentrace CO ve spalinách nepřekročila maximální hodnotu 1 000 ppm při referenčním obsahu kyslíku (pro tuhá paliva je referenční obsah kyslíku ve spalinách 6%).

4.5.4 Kontrola spalinových cest

Kontrolou spalinových cest prováděnou samostatně nebo při jednorázovém měření účinnosti spalování malých zdrojů znečišťování ovzduší se rozumí ověřování, zda:

- je zajištěn dostatečný a bezpečný odvod a rozptyl spalin ze spotřebiče do volného ovzduší,
- je ve spalinové cestě dostatečný počet vhodných kontrolních, čistících a měřících otvorů,
- nejsou ohroženy životy a zdraví obyvatel objektu možným únikem spalin netěsnostmi kouřovodů a komínů,
- je zajištěn bezpečný průchod pro vymetací a čistící nástroje v celé účinné i neúčinné výšce průchodu komína,
- je zajištěn přístup k místům kontroly a čištění komínů, kouřovodů, spotřebičů paliv a větracích průduchů umožňující, aby při jejich kontrole a čištění byly dodrženy podmínky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci.

Tabulka 19 Lhůty provádění kontroly spalinových cest a účinnosti spalování

Druh paliva	Kontrola spalinových cest		Kontrola účinnosti spalování	
	výkon [kW]	lhůty	výkon [kW]	lhůty
tuhá paliva	0 až 50	1x za 6 měsíců	0 až 50	1x za 2 roky
	nad 50	1x za 6 měsíců	nad 50	1x za 2 roky

Kontrola spalinových cest se provádí podle schválených technologických postupů. Tyto postupy jsou stanoveny pro jednotlivé typy spalinových cest v závislosti na druhu připojeného spalovacího zdroje a použitého paliva. Na základě výsledků kontroly je posouzeno, zda aktuální stav spalinových cest odpovídá požadavkům stavebního zákona a příslušným technickým normám, případně je stanoven postup k odstranění zjištěných nedostatků. Prováděcí právní předpis stanoví způsob vedení evidence a rozsah sledovaných údajů pro bilancování spotřeby těkavých organických látek.

Jelikož závadou topidel a komínů v roce 2009 vzniklo přes 400 požárů, rozhodlo se Ministerstvo vnitra ČR vydat nařízení vlády č.91/2010 Sb., které vejde v účinnost 1.1.2011. Cílem nařízení vlády je upravit podmínky, za nichž se provoz komína, kouřovodu a spotřebiče paliv považuje za vyhovující z hlediska požární bezpečnosti, a to zejména stanovením způsobů a lhůt provádění čištění, kontroly a revize komína a kouřovodu, čištění spotřebiče paliv a vypalování komína.

5 Moderní trendy ve vytápění

I když celosvětové zásoby ropy a plynu, které jsou dnes známy nebo je s jistotou předpokládáme, vystačí ještě na hodně let, nemůže to být důvodem k tomu, aby se těmito vyčerpatelnými energetickými zdroji mrhalo. Je nesporné, že s olejem a plynem se bude muset v budoucnu zacházet velmi ekologicky a šetrně.

Zodpovědný přístup k životnímu prostředí vede ke vzrůstající poptávce po obnovitelných formách energie. Sluneční teplo se dá využít prostřednictvím slunečních kolektorů nebo tepelných čerpadel, odpadní teplo lze využít pomocí větracích zařízení se zpětným získáváním tepla nebo tepelných čerpadel typu odpadní vzduch/voda. Spalování biomasy je z hlediska bilance oxidu uhličitého neutrální. Moderní nízkoteplotní kotle se provozují s plynule klesající teplotou kotlové vody, která se přizpůsobuje aktuální potřebě tepla v budově. Provoz jednotlivých zdrojů se nadále zhodnocuje využitím zásobních nádrží.

Přestože je tato publikace věnována především malým zdrojům, spalujícím palivo a produkujícím proto ve spalinách látky označované jako škodliviny, je zde nutné připomenout některé podstatné skutečnosti:

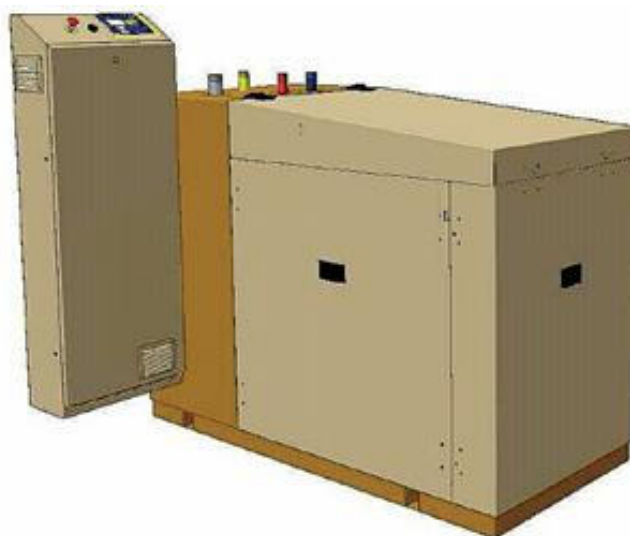
- Množství spalin, a tedy také škodlivin, je dáno spotřebou paliva a ta pak určuje tepelný výkon zařízení pro vytápění. Tepelný výkon musí být v souladu s tepelnými ztrátami objektu, tzn., že je musí spolehlivě a s rezervou nahradit. Snižování tepelných ztrát je spolehlivý, efektivní a ekonomicky zajímavý způsob jak snížit lokální znečišťování ovzduší.
- Současný intenzivní zájem o využívání obnovitelných zdrojů energie vede ke snahám o jejich využití pro vytápění. Nejsnáze se zdá být k dispozici sluneční energie s použitím solárních kolektorů pro ohřev vody. Období energetických zisků a výdajů (ohřev vody – vytápění) se však časově liší a racionální řešení vyžaduje akumulaci tepla. Takové řešení je technicky i finančně náročné, nicméně může přinést užitek v letním a zejména v přechodných obdobích. Hlavní topná sezóna je samozřejmě v zimě.
- Technicky velmi zajímavé je využívání geotermální energie s použitím tepelných čerpadel, která umožňují využívat nízkopotenciální teplo zemského povrchu z malých hloubek pro vytápění. Zdrojem energie je pro tepelné čerpadlo elektřina a systém dokáže získat v teple dvou až třináásobek energie, odebrané ze sítě. Investiční náklady jsou značné a řešení musí být vždy individuální. Cena kompletního systému se pohybuje od 300 tis. přes 1 mil. Kč podle místních podmínek a zvoleného řešení a je obvykle dotována státem. V případě malých výkonů (nízkoenergetické domy) je takové řešení neefektivní a o účelnosti státních dotací lze mít obecně pochybnosti.

- Prožili jsme období elektrifikace, která mnohé rozčarovala a připravila půdu pro plynofikaci. Lze očekávat obdobný průběh a již se nahlas hovoří o dřevofikaci. Je načase skončit s fikcemi a začít racionálně myslet. Aktuální zvyšující se ceny dřeva a z něho vyrobených paliv přeci jen realizaci dřevofikace zpomalují

Očekávané a dnes vyvíjené systémy vycházejí z konceptu decentralizace zdrojů, která by měla umožnit vyšší využití energie paliva při současné výrobě elektřiny a tepla (kogenerace). Vyvíjejí se technická řešení kogeneračních jednotek, schopných vyrábět elektřinu a produkovat teplo s účinností přes osmdesát procent (současné elektrárny mají účinnost při výrobě elektřiny cca 35 %), přičemž elektřina i teplo je nutné průběžně spotřebovávat [55]. Limitující je možnost spotřeby tepla a kogenerace se proto snáze uplatní v zimě a rovněž geografická poloha zde hraje roli.

Nejdále je vývoj kogeneračních jednotek se spalovacím motorem, které se již v malých výkonech začínají uplatňovat jako individuální zdroje. Výkony v desítkách až stovkách kilowatt jsou již běžně užívány v systémech centrálního zásobování teplem, nyní však jde o individuální zdroj. Není snadné představit si takový systém. Množství vyráběné elektřiny a tepla spolu úzce souvisí a není-li odběr tepla, není provoz možný [56]. S využitím elektřiny vyrobené kogenerační jednotkou na rozdíl od tepla obtíže nenastávají. Její nespotřebované přebytky lze na základě smlouvy uzavřené s příslušným distributorem elektřiny (ČEZ, EON, PRE) odprodávat do elektrické sítě. Při splnění podmínek stanovených platnými předpisy má provozovatel kogenerační jednotky právo na příspěvek k ceně elektřiny ve výši stanovené cenovým rozhodnutím Energetického regulačního úřadu, a to jak pro elektřinu dodanou do sítě, tak pro elektřinu, kterou sám spotřebuje.

Kogenerační jednotky se spalovacím motorem jsou běžně používané a známé v oblasti větších výkonů. Technické řešení výkonů v jednotkách kilowatt existují, jejich použití je však značně omezené. Investiční náklady v přepočtu na jednotku instalovaného výkonu v případě malých kogeneračních jednotek strmě rostou (Obrázek 39). Zatímco u velkých zařízení o výkonu kolem 500 kWe pořizovací cena strojů na evropském trhu vychází na cca 19 500 Kč/1 kWe jmenovitého elektrického výkonu, u 50 kWe jednotek je to 31 200 Kč/1 kWe a u malých jednotek s výkonem 5 kWe už přes 78 000 Kč/1 kWe. Cena za instalovaný kilowatt může být u nejmenších jednotek ještě podstatně vyšší. Z toho pak vychází delší návratnost investice, která je činí méně atraktivními pro zákazníky a tím i pro výrobce.



Obrázek 39 Mikrokogenerační jednotka pro domácí použití [98]

Technicky dokonalejším řešením je náhrada spalovacího motoru spalovací turbínou. Zde je limitujícím faktorem výkon kogenerační jednotky. Dosud nejmenší mají elektrický výkon cca 30 kW (a trochu větší výkon tepelný) viz Obrázek 40, což je pro individuální použití příliš mnoho.



Obrázek 40 Kogenerační jednotka se spalovací turbínou

Většina komerčně nabízených malých kogeneračních jednotek si je principiálně hodně podobná. Vždy sestává z elektrického generátoru poháněného pístovým motorem spalujícím zemní plyn, popřípadě LPG. Zpravidla se přitom jedná o motory obdobné těm, které lze nalézt v automobilech nebo stavebních

strojích, jen opatřené příslušnou regulací, odhlučněné a přizpůsobené specifickému režimu provozu. Hlavní výhodou tohoto řešení je, že se jedná o osvědčená a v případě kvalitních výrobků a zajištění řádné údržby i poměrně spolehlivá zařízení.

Jiná koncepční řešení až dosud narážela na řadu technických problémů a kvůli enormním nákladům na vývoj až na výjimky neopustila fázi testovacích projektů. Jednou z těchto výjimek jsou plynové mikroturbíny. Mezi jejich hlavní přednosti patří téměř nulové nároky na údržbu díky nízkému počtu pohyblivých dílů, malé rozměry i hmotnost, nízká hlučnost, výrazně nižší emise a lepší schopnost spalovat nejen zemní plyn, ale i směsi s proměnným obsahem plyných složek (bioplyn). Využití mikroturbín v domácnostech však prozatím brání jejich vysoká pořizovací cena a nedostupnost zařízení s výkonem pod 30 kWe.

Velké naděje při vývoji malých kogeneračních jednotek jsou již delší dobu vkládány do Stirlingova motoru, který má oproti klasickým spalovacím motorům vyšší účinnost, nižší hlučnost a malé servisní nároky. Díky odlišnému principu fungování (využití vnějšího spalování) může motor využívat různých paliv anebo i jiných zdrojů tepla (např. solární energie).

Nejblíže ke komerční produkci kogeneračních jednotek na bázi Stirlingova motoru je patrně firma Viessmann, která v Německu již provádí provozní testování kompaktní závěsné mikrokogenerační jednotky sestávající z plynového kondenzačního kotle a Stirlingova motoru s účinností 97 % (Obrázek 41). Základní tepelný výkon 6 kWt a elektrický výkon 1 kWe přitom zcela odpovídá využití této jednotky v rodinných domech.



Obrázek 41 Mikrokogenerační systém firmy Viessmann

Další z perspektivních řešení pro výrobu elektrické energie a tepla v domácnosti představují palivové články. Jde o zařízení pracující na principu galvanického článku, z něhož lze při dodávce vhodného paliva a okysličovadla získávat elektrickou energii a teplo, a to s vysokou účinností a bez škodlivých emisí. Nejznámější jsou články využívající jako palivo vodík nebo metanol. Jejich rozšíření do domácností zatím zůstává hudbou budoucnosti, i když možná už nepříliš vzdálenou.

Je zřejmé, že další vývoj spalovacích zařízení, či lépe energetických zdrojů malých výkonů se zaměřuje na kogenerační jednotky. Jejich budoucí uplatnění je vázáno na zásadní změny energetického systému (decentralizace zdrojů), které se budou prosazovat velice obtížně a pomalu. Samozřejmě se vývoj kotlů a individuálních spalovacích zařízení nezastaví a bude se zaměřovat na vyšší účinnost, provozní spolehlivost a uživatelský komfort.

5.1 Požadavky na výkon zařízení a moderní domy

Vyhláška č. 148/2007 Sb. o energetické náročnosti budov, zákona č. 406/2006 Sb. o hospodaření energií se změnami v pozdějším znění, ustanovuje postupy a opatření na zlepšení energetické hospodárnosti budov s cílem optimalizovat vnitřní prostředí v budovách a snížit emise oxidu uhličitého z provozu budov. Energetická náročnost budov se určuje výpočtem a vyjadřuje se v číselných ukazatelích celkové spotřeby energie a tvorby emisí oxidu uhličitého. Podle energetické náročnosti a emisí oxidu uhličitého se jednotlivé budovy zařazují do energetických tříd A až G.

V posledních letech se při stavbě rodinných domů klade čím dál větší důraz na spotřebu energií. V závislosti na neustále se zvyšujících cenách za paliva a energie je cílem postavit dům s co nejnižší spotřebou, tzv. nízkoenergetický nebo pasivní dům. Většinu spotřeby na vytápění by pasivní domy měly pokrýt ze svých vnitřních zisků. Přesto je třeba navrhnout aktivní způsob vytápění pro případ, kdy vnitřní zisky nebudou stačit. Takový systém bývá projektován právě při požadavku nulových tepelných zisků. Vzhledem k malému spotřebovanému množství paliva je již lhostejné, zda se bude jednat o zemní plyn, uhlí nebo elektrickou energii. Důležitější je komfort topení, možnost jeho regulace a samozřejmě také pořizovací náklady.

V pasivních domech je tak nízká spotřeba tepla, že nejjednodušším řešením je pokrýt tuto spotřebu elektrickým vytápěním. Je možné použít např. malé topné těleso, které ohřívá vzduch za rekuperačním výměníkem a v místnostech například malé sálavé topné systémy. V tomto případě jsou hlavní výhodou elektrického vytápění nízké investiční náklady.

Další možností je instalace tepelného čerpadla, které dokáže snížit cenu tepla, avšak jeho vysoké investiční náklady mohou způsobit, že doba návratnosti investice bude příliš dlouhá. V některých případech se využívají malé a relativně levné tepelné čerpadla „vzduch – vzduch“ v kombinaci s rekuperačním systémem. Další možností je spojit rekuperační větrání s tepelným čerpadlem, které ukládá získané teplo do akumulární nádoby. Toto teplo je potom možné použít pro vytápění i pro přípravu teplé vody. V pasivních domech je taktéž možné využít spalovací zařízení, jako jsou krbové vložky nebo kamna, ve kterých se spaluje biomasa (dřevo, dřevěné brikety a pelety). Větrací systém se dá použít i pro rozvod tepla z tohoto zdroje do celého domu.

Do budov s nízkou spotřebou tepla je vhodné nainstalovat ústřední nízkoteplotní podlahové nebo stěnové vytápění. Pro takovátoto topný systém je potom možné použít všechny zdroje tepla, přičemž výběr spočívá na preferencích spotřebitelů a na dostupnosti v dané lokalitě. Spotřebitelé, kteří dávají přednost komfortu obsluhy, nejčastěji volí kotel na plyn nebo elektrický přímotop. Pokud není daná lokalita plynofikována, je častou volbou kotel na spalování pelet. Dobře se může uplatnit taktéž tepelné čerpadlo. Tam, kde je dostupné a levné dřevo, je možné instalovat kotel na kusové dřevo s akumulární nádrží a elektrickou vytápěcí vložkou na noční proud.

V domech s velkou spotřebou tepla na vytápění je zpravidla výhodnější se pokusit eliminovat tepelné ztráty zateplením a až potom hledat vhodná topný systém. Až za předpokladu, že to není nijak možné, např. domy památkově chráněné, je potřebné věnovat větší pozornost topným systémům, které využívají levnou energii, např. tepelné čerpadlo „zem – voda“ nebo kotel na spalování biomasy.

6 Stanovení množství emisí znečišťujících látek a účinnosti zařízení

Problematika přesnosti stanovení emisí z malých spalovacích zařízení se převážně týká problémů spojených s měřením emisí vázaných na tuhé látky a to především přiblížení se odběru vzorku k izokinetickým podmínkám. Tuhá paliva představují v České republice zdroj energie s životností zásob na několik desetiletí. Tato skutečnost vede k reálným úvahám o pokračujícím využívání tuhých paliv v ohništích malých výkonů, což také souvisí s postupující decentralizací v energetice. Nejedná se jen o základní znečišťující látky, ale také o látky toxické. Jejich množství je přímo úměrné technickým vlastnostem spalovacího zařízení, kvalitě paliva a také obsluhy [72].

6.1 Metodiky stanovení údajů o emisích znečišťujících látek

Český hydrometeorologický ústav je pověřen, prostřednictvím § 13 zákona o ovzduší, správou Registru emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO).

Vedle zpracování údajů bodově sledovaných zdrojů (zvláště velké, velké a střední zdroje znečišťování) zahrnutých do databází REZZO 1 a 2, jsou sledovány také další stacionární i mobilní zdroje. Významný podíl na celkových emisích stacionárních zdrojů tvoří skupina spalovacích zdrojů, používaných pro vytápění domácností, která je zařazena do kategorie malých zdrojů a zahrnuta v databázi REZZO 3. Vedle těchto zdrojů jsou v současné době součástí REZZO 3 také neevidované zdroje amoniaku ze zemědělské činnosti (živočišná výroba) a zdroje emisí těkavých organických látek (VOC) z použití organických rozpouštědel. Emise zdrojů databáze REZZO 3, obdobně jako např. emise mobilních zdrojů, jsou vypočítávány zejména pomocí statistických údajů, částečně s využitím odborných odhadů. Stejně tak je prováděna zejména distribuce vypočtených emisí do územních celků (obce, okresy, kraje).

Skupina spalovacích zdrojů, používaných pro vytápění domácností, zahrnuje tři základní podskupiny:

- lokální a etážová kamna (kotle), umístěná zejména v jednotlivých místnostech bytu, popř. rodinného domu,
- kotle pro vytápění rodinných domů (zpravidla pro 1 – 2 byty),
- kotle pro vytápění bytových domů do souhrnného výkonu kotelny 200 kW.

Výpočtový model pro stanovení emisí z vytápění domácností [75], zahrnutých do databáze REZZO 3 (kategorie malých zdrojů), byl sestaven v polovině devadesátých let v návaznosti na ukončení centrálního sběru údajů dodavatelů paliv pro domácnosti (plynárenské společnosti, uhelné sklady pro distribuci pevných paliv obyvatelstvu). Stanovení množství emisí probíhá v následujících krocích:

- Stanovení počtu bytových jednotek zahrnutých do uvedené kategorie
- Stanovení způsobu vytápění z pohledu typu spalovacího zařízení a typu paliva
- Stanovení specifického druhu paliva
- Stanovení roční spotřeby tepla a spotřeby paliv
- Stanovení množství emisí

Stanovení počtu bytových jednotek zahrnutých do uvedené kategorie

Pro stanovení základního počtu bytů vytápěných spalovacími zdroji zahrnutými do kategorie REZZO 3 jsou využívány údaje SLDB, prováděného ČSÚ v desetiletých intervalech (poslední sčítání byla v roce 1991 a 2001). Do počtu sledovaných zdrojů vstupují byty vytápěné lokálními nebo etážovými topidly a rodinné domy s vlastní kotelnou. Dále je prováděn, s využitím struktury domovního fondu uvádějící počet bytů v jednotlivých bytových domech do dvaceti bytů. Hranice dvaceti bytů v domě s vlastní kotelnou byla stanovena s ohledem na maximální výkon kotelny do 200 kW, tedy hranice pro malé spalovací zdroje. Tuto hranici bude pravděpodobně nutné v rámci dalšího sběru dat dalšího SLBD (březen 2011) upravit, aby bylo možné zahrnout také bytový fond, u nějž zejména díky úsporám (zateplování budov, vyšší účinnost spalovacích zařízení) klesá potřebný tepelný výkon na vytápění bytů [2].

Uvedené údaje jsou meziročně modifikovány s využitím počtu nových bytů a způsobu jejich vytápění (zdroj dat: ČSÚ). Výstupem výpočtu je počet bytů zahrnutých do kategorie REZZO 3 v členění na jednotlivé obce.

Stanovení způsobu vytápění z pohledu typu spalovacího zařízení a typu paliva

Pro stanovení způsobu vytápění z pohledu typu spalovacího zařízení a typu paliva jsou opět využívány údaje SLBD, zahrnující rozdělení bytů dle způsobu dodávky tepla na byty s dálkovým vytápěním, s kotelnou v domě (rodinné domy a bytové domy) a s individuálním vytápěním. Podle druhu paliva je pak rozdělováno vytápění na spalovací zařízení na tuhá paliva (v roce 2001 také se speciální skupinou bytů otápěných dřevem), kapalná a plynná (popř.

kombinovaná) a nezahrnovaná skupina vytápění elektrickou energií a jinými druhy (zejména tepelná čerpadla).

Výstupem výpočtu je počet bytů zahrnutých do kategorie REZZO 3 v členění na byty vytápěné uhlím a koksem, dřevem, kapalnými palivy a plynými palivy v členění na jednotlivé obce [2].

Stanovení specifického druhu paliva

Stanovení specifického druhu paliva je prováděno pro skupinu spalovacích zařízení na tuhá paliva. S využitím údajů dodavatelů uhlí a koksu [29] je prováděno rozdělení spotřeby tuhých paliv na jednotlivé druhy – HUTŘ, ČUTR a koks. Dle deklarační dodávek je následně prováděno rozdělení do jednotlivých krajů ČR. Pro tyto účely je každoročně zadávána studie využívající přímé údaje těžebních a výrobních podniků, jejíž součástí jsou také průměrné jakostní parametry jednotlivých druhů paliv v členění po krajích.

Výstupem je bezpočet bytů zahrnutých do kategorie REZZO 3 s členěním na byty vytápěné hnědým uhlím, černým uhlím, koksem, dřevem, kapalnými palivy, zemním plynem (dříve také svítiplynem) a propan - butanem v členění na jednotlivé obce. Součástí výstupu jsou také jakostní parametry tuhých paliv.

Stanovení roční spotřeby tepla a spotřeby paliv

Stanovení roční spotřeby bylo do roku 2000 prováděno jednoduchým způsobem, který modifikoval empirický údaj o potřebě tepla na vytápění průměrného bytu (stanoveného na 60 GJ/rok), podle typů umístění bytu (rodinný nebo bytový dům) a podle nadmořské výšky a průměrné teploty topného období sledované na meteorologické stanici přiřazené dané skupině bytů. Od roku 2002 (zpětně pak pro data od roku 2000) byl tento výpočet modifikován a zahrnuje výpočet denostupňů D21 pro každou sledovanou obec a využívá údaje o ploše jednotlivých typů bytů v obci. Dle příslušných metodik a s využitím výsledků konzultací s pracovníky ČEA byl stanoven základní údaj o potřebě tepla na vytápění bytů v kWh/m²/rok. Stanovení roční spotřeby paliv je pak prováděno v závislosti na ploše bytu a účinnosti spalovacího zařízení s využitím údajů o výhřevnosti používaného druhu paliva. Tyto hodnoty jsou každý rok aktualizovány.

Výstupem výpočtu je spotřeba jednotlivých druhů paliv s členěním na hnědé uhlí, černé uhlí, koks, kapalná paliva, zemní plyn (dříve také svítiplyn) a propan - butan v členění na jednotlivé obce.

Stanovení množství emisí

Stanovení množství emisí je prováděno využitím emisních faktorů daných prováděcím předpisem (příloha č.5 NV 352/2002 Sb. pro hlavní znečišťující látky), popř. emisních faktory pro další škodliviny (TK, POPs, benzen, aj.). Tyto používané emisní faktory byly stanoveny pro ohlašování emisí v rámci plnění závazků Úmluvy o dálkovém přenosu znečišťujících látek přes hranice států (CLRTAP). Rozsah sledovaných škodlivin je dán zejména požadavky vycházejícími z NV 351/2002 Sb., určujícím rozsah znečišťujících látek, pro něž jsou sledovány limity kvality ovzduší, a dále pak požadavky na mezinárodní reporting k uvedené Úmluvě, daný požadavky pro odhad a ohlašování emisí (UNECE Guidelines for estimating and reporting emissions).

Výstupem jsou roční emise následujících škodlivin v členění na obce:

- NO_x, CO, NMVOC, SO_x (jako SO₂, NH₃, TSP, PM10, PM2.5),
- Pb, Cd, Hg, As, Cr, Cu, Ni, Se, Zn,
- PCB, DIOX, HCB, PCP, SCCP
- benzo(a)pyreny, benzo(b)fluoranteny, benzo(k)fluoranteny, Indeno(1,2,3-cd)pyreny + suma těchto 4 PAHs.

6.2 Emisní faktory používané pro bilanci

Základní výpočty emisí pro malé zdroje používají emisní faktory (Tabulka 20). Emisní faktor vyjadřuje množství emise určité látky většinou vztažením na množství spotřebovaného paliva (tuny) nebo na množství energie obsažené v palivu (GJ). Mimo standardně používaných faktorů při výpočtech emisních bilancí v ČR (uvedeny dále v tabulce) byly při zkouškách na vybraných zařízeních a s vybranými palivy na zkušebně Výzkumného energetického centra stanoveny reálné porovnávací emisní faktory.

Při srovnání emisních faktorů jednotlivých paliv (Tabulka 21) je patrné, že jednotlivá paliva nelze porovnávat bez přihlédnutí k použitému spalovacímu zařízení. V konkrétním případě, u kotle prohořivacího (Viadrus U26) bylo dosaženo nejvyššího emisního faktoru pro černé uhlí, nižší pro hnědé uhlí a nejnižší pro dřevo. Stejný trend byl dosažen i u kotle automatického (Ling 25), emisní faktory byly však mnohem nižší. Opačný trend však byl dosažen u kole odhořivacího (Dakon DOR32), kdy byl stanoven nejvyšší emisní faktor pro dřevo, nižší pro hnědé uhlí a nejnižší pro černé uhlí. Při porovnání emisních faktorů jednotlivých zařízení je patrné, že pro všechna paliva vykazuje největší

emisní faktory prohořivací kotel (U26). Mnohem nižší emisní faktory vykazuje kotel odhořivací (DOR32) a nejnižší kotel automatický (Ling 25). V případě černého uhlí vykazuje odhořivací kotel nižší emisní faktor než kotel automatický. Při srovnání podílů frakcí tuhých částic získaných vyhodnocením jednotlivých zkoušek je patrné, že na velikostní spektrum emitovaných částic má velký vliv použité spalovací zařízení - systém spalování, konstrukce kotle. Největší podíl jemných frakcí je emitován z prohořivacího kotle (U26), nejmenší z kotle automatického (Ling 25).

Druh použitého paliva má na velikostní spektrum také vliv, ten však není tak významný jako vliv spalovacího zařízení. Nejasný vliv použitého paliva je patrný například u automatického kotle (Ling 25), kdy jsou podíly jemných frakcí u černého uhlí srovnatelné s podíly frakcí při spalování pelet, podíly frakcí při spalování hnědého uhlí jsou pak mírně vyšší. Použitím dřevní hmoty ve formě pelet, které představují vysoce kvalitní palivo, může mít za následek nízké podíly jemných frakcí tuhých částic.

Tabulka 20 Tabulka emisních faktorů používaných pro výpočet emisí z vytápění domácností

Palivo	TE	SO ₂	NO _x	CO	VOC	% podíl PM ₁₀ z emisí TZL	% podíl PM _{2,5} z emisí TZL	Zn		
	kg/t, kg/10 ⁶ m ³ ZP							mg/t		
HUTR	1,0 . Ap	19,0 . Sp	3,00	45,00	8,90	75	25	977		
CUTR	1,0 . Ap	19,0 . Sp	1,50	45,00	8,90	75	25	630		
KOKS	1,0 . Ap	19,0 . Sp	1,50	45,00	8,90	60	30	3070		
DREV	5,20	1,00	3,00	1,00	0,89	95	90	-		
LTO	2,13	20,0 . S	10,00	0,59	0,34	83	67	1620		
PB	0,45	0,00	2,40	0,46	0,09	100	100	-		
ZP	20,00	9,60	1600	320	64	100	100	-		
	Cd	Hg	Pb	As	Cr	Cu	Ni	Se		
	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t		
HUTR	6	126	277	171	37,9	80,9	33,8	51,3		
CUTR	0,233	17,5	11,7	5,65	0	50,7	36,2	19,6		
KOKS	20,8	497	1076	366	33	447	27,7	112		
DREV	-	-	-	-	-	-	-	-		
LTO	50	50	1260	20	480	360	44000	-		
	Indeno(1,2,3cd)pyren		Benzo(b)floraten		Benzo(k)fluoraten		Benzo(a)pyren		PCB	PCDD/F TEQ
	mg/t		mg/t		mg/t		mg/t		mg/t	mg/t
HUTR	1110		1150		525		845		0,603	0,006
CUTR	3000		1600		50		1500		4,77	0,004
KOKS	3000		1600		50		1500		4,77	0,004
DREV	1760		3260		1080		2480		0	0,005
LTO	8,6		8,6		3,9		4,3		3,6	0,001

Ap – obsah popela v původním vzorku tuhých paliv (%hm), *Sp*, *S* – obsah síry v původním vzorku paliva (%hm)

Tabulka 21 Srovnání emisních faktorů jednotlivých paliv v různých spalovacích zařízeních

Označení kotle		Viadrus U26		Dakon DOR32		Ling 25	EF užívané pro bilance emisí		
Palivo	Charakter hodnot		vážený průměr	stabilní režim	vážený průměr	stabilní režim			
černé uhlí	Podíl frakce	TZL	%	100	100	100	100	100	
		PM 10	%	94,8	75,2	87,6	77,8	75	
		PM 2,5	%	92,3	56,2	81,3	67,7	25	
	Emisní faktor	TZL	mg/kg paliva	13 500	423	318	1 100	5 000	
		PM 10	mg/kg paliva	12 800	318	279	852	3 750	
		PM 2,5	mg/kg paliva	12 500	238	259	742	1 250	
	Emisní faktor	TZL	g/GJ paliva	486	15,2	11,4	39,3	179	
		PM 10	g/GJ paliva	460	11,4	10	30,6	135	
		PM 2,5	g/GJ paliva	448	8,52	9,28	26,6	44,8	
hnědé uhlí	Podíl frakce	TZL	%	100	100	100	100	100	
		PM 10	%	91,4	88,1	91,8	78,8	79,9	
		PM 2,5	%	87,2	80,1	87,2	65,4	73,9	
	Emisní faktor	TZL	mg/kg paliva	7 080	2 220	1 080	201	746	4 940
		PM 10	mg/kg paliva	6 470	1 960	985	158	596	3 710
		PM 2,5	mg/kg paliva	6 150	1 780	938	131	551	1 240
	Emisní faktor	TZL	g/GJ paliva	371	117	56,3	10,5	32,6	216
		PM 10	g/GJ paliva	339	103	51,7	8,3	26,1	162
		PM 2,5	g/GJ paliva	323	93,3	49,1	6,88	24,1	54,2
dřevo	Podíl frakce	TZL	%	100	100	100	100	100	
		PM 10	%	95,7	98,7	92,6	92,7	77,4	
		PM 2,5	%	93,4	96,1	88,2	88,3	65	
	Emisní faktor	TZL	mg/kg paliva	3 610	618	1 950	1 750	107	5 200
		PM 10	mg/kg paliva	3 460	610	1 810	1 630	82,8	4 940
		PM 2,5	mg/kg paliva	3 380	594	1 720	1 550	69,5	4 680
	Emisní faktor	TZL	g/GJ paliva	230	39,4	125	112	5,69	332
		PM 10	g/GJ paliva	221	38,9	115	104	4,4	315
		PM 2,5	g/GJ paliva	215	37,9	110	99	3,7	298

Tyto hodnoty byly získány v rámci projektu s názvem: Zlepšení kvality ovzduší v příhraniční oblasti Česka a Polska, č.: CZ.3.22/1.2.00/08.00104, řešeného v rámci Operačního programu přeshraniční spolupráce CZ-PL.

6.3 Stanovení koncentrace oxidu uhelnatého

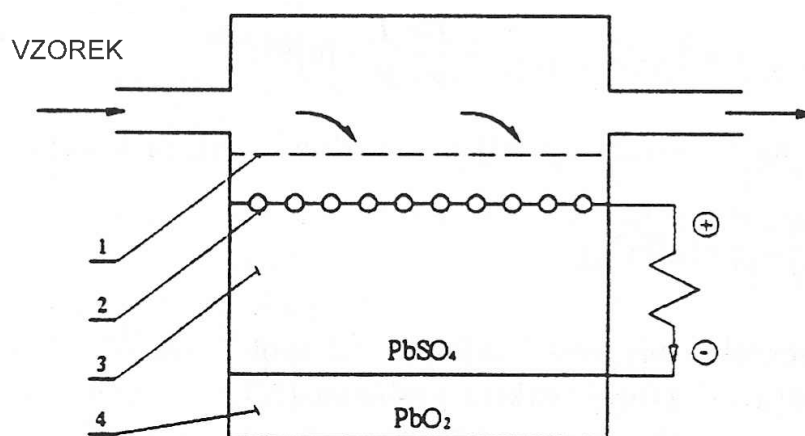
Běžný způsob stanovení koncentrace oxidu uhelnatého ve spalínách je použití analyzátorů s elektrochemickými převodníky. Tyto přístroje odstraňují jednu z nevýhod dlouhodobě rozšířené měřicí techniky pracující na principu absorpce infračerveného záření, paramagnetismu apod. a to jejich obtížnou mobilitu, velké rozměry a značnou hmotnost. Pro svoji jednoduchou obsluhu a kompaktní provedení si tyto přístroje velmi rychle získaly řadu uživatelů. Znalost jak správného použití těchto přístrojů, tak poznání rušících vlivů, které omezují jejich použitelnost, je pro správnou interpretaci získaných výsledků měření zcela zásadní. Bohaté doplňkové vybavení přístrojů umožňuje měřit kromě objemových koncentrací složek plynů dále teplotu, tlak, průtok plynu apod. Instalovaný software provádí záznam a zpracování naměřených dat včetně tisku výsledné tabulky.

Fyzikální princip

V průběhu procesu měření dochází k těmto následujícím reakcím mezi měřenou složkou plynu a elektrochemickým převodníkem:

- difúze měřené složky skrz selektivně propustnou membránu,
- rozpouštění plynu v tenké vrstvě kapalinového filmu,
- difúze molekul přes kapalinový film,
- oxidačně-redukční reakce na pracovní elektrodě,
- přenos elektronů na pomocnou elektrodu,
- reakce na pomocné elektrodě.

Schéma procesu je uvedeno na Obrázek 42.



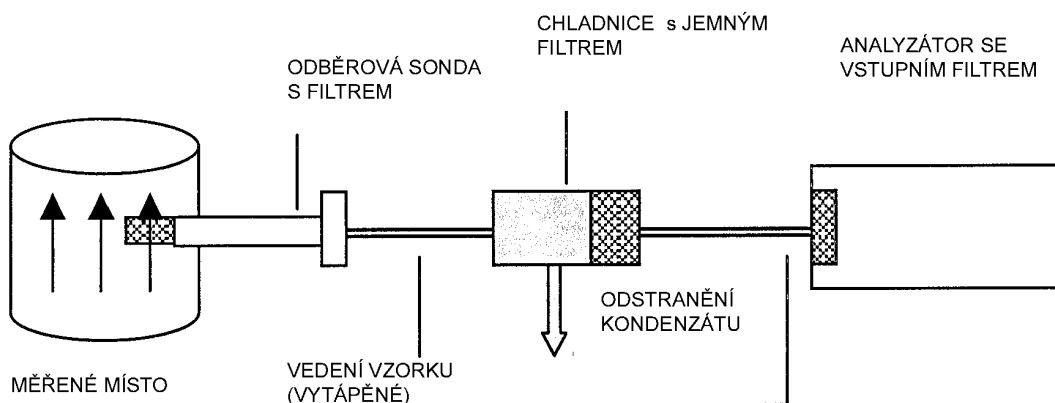
Obrázek 42 Schéma procesu v elektrochemickém převodníku

(popis: 1 - selektivně propustná membrána, 2 - porézní pracovní elektroda, 3 - elektrolyt, 4 - pomocná elektroda)

Koncentraci měřené složky je úměrný proud. Systém je nutno kalibrovat.

Podmínky měření

Tuhé částice a kondenzující vodní pára v analyzovaném plynu poškozují snímače. Úprava měřeného plynu (odstranění tuhých částic a vlhkosti) před analýzou je proto velmi důležitá. Jednoduché přístroje, jejichž úpravna vzorku obsahuje pouze nevytápěný filtr a hrubé odloučení vlhkosti, nevytvářejí odpovídající podmínky pro uspokojivou funkci elektrochemických převodníků. Investice do důsledné úpravy vzorků (většinou externí samostatná úpravna mimo samotný přístroj) se vrátí podstatným prodloužením funkce převodníků. S ohledem na skutečnost, že elektrochemická reakce je teplotně závislá, je nutno analyzátory používat pouze při teplotách okolí doporučených výrobcem přístroje. Dokonalejší přístroje mají kontrolovaný průtok a teplotu odebraného vzorku plynu pro analýzu s cílem omezení množství rušících vlivů, které doprovázejí samotnou analýzu (např. při příliš vysokém podtlaku v kouřovodu nenasaje analyzátor dostatečné množství vzorku pro analýzu). Schéma měření je uvedeno na Obrázek 43 [1].



Obrázek 43 Schéma měření

Čas odezvy a čas regenerace

Stabilizace průběhu elektrochemické reakce vyžaduje určitý čas. Doba odezvy (čas potřebný na ustálení 100 % hodnoty) bývá obvykle desítky sekund až několik minut. Platí obecné pravidlo, že čím je měřená koncentrace nižší, tím delší je čas odezvy a tím kratší je doporučený čas na propláchnutí vzduchem. Na Obrázek 44 jsou uvedeny závislosti mezi časem odezvy a délkou regenerace pro vybrané snímače. Podle Obrázek 44 je například potřeba 10 min. na úplné 100% ustálení skutečné měřené koncentrace 5 000 ppm CO při použití snímače s max. rozsahem 20 000 ppm. Následné proplachování by mělo trvat 30 minut. Jednou z důležitých podmínek správného měření analyzátorů s elektrochemickými převodníky je pozorné sledování ustalování měřené hodnoty.

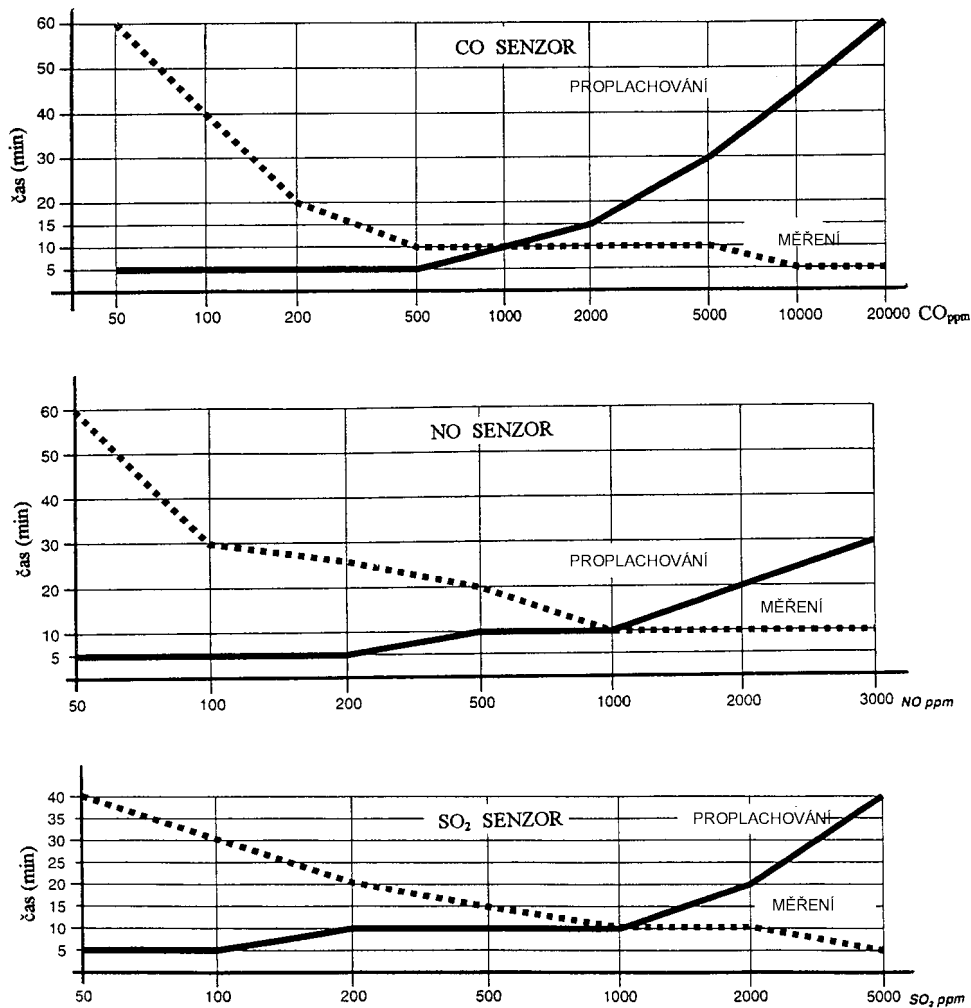
Životnost snímačů

V průběhu používání dochází ke spotřebovávání sloučenin ve snímači a k jejich postupné přeměně na konečný produkt. Zde je nutno poznamenat, že elektrochemické převodníky „stárnou“ i v případě, že analyzátor není používán. Záruky výrobce na snímače jsou většinou 6 měsíců, skutečná životnost je pak 1 až 3 roky. Prodloužení životnosti snímačů je možno dosáhnout důsledným proplachováním snímačů vzduchem po ukončení měření.

Ověřování a kalibrace

Při uvedení přístroje do provozu většina přístrojů provede kontrolu „nulových“ hodnot prosátím vzduchu měřícím systémem. Současně je provedena kontrola plného rozsahu kyslíkového snímače. Ověření nuly není však možno považovat za kalibraci. Přesnost měření v rozsahu nízkých koncentrací může být zcela

odlišná jako přesnost v rozsahu vysokých koncentrací. Při používání přenosných analyzátorů je velmi důležité sledovat životnost jednotlivých snímačů (řada přístrojů má vlastní diagnostiku snímačů). Je zřejmé, že čím jsou snímače starší, tím opatrněji je třeba přistupovat k měřeným hodnotám. Způsob a interval kalibrace jsou určeny výrobcem těchto zařízení a legislativou. Výrobce většinou doporučuje i složení kalibračních plynů. S ohledem na interference je třeba doporučené složení dodržovat.



Obrázek 44 Závislost mezi časem odezvy a časem regenerace

Zpracování dat

Většina přístrojů umožňuje kontinuální záznam měřených údajů. Naměřené objemové koncentrace měřených složek plynu je možno pomocí instalovaného software přepočítat na hmotnostní koncentrace, je možno vypočítat koncentrace za normálního stavu a přepočítat je na referenční podmínky, které zajišťují porovnatelnost naměřených dat mezi sebou bez možností jejich možného ovlivnění např. naředěním spalin vzduchem či vodní mlhou, a je dále možno provést řadu dalších výpočtů např. výpočet účinnosti zdroje (dle komínové ztráty). Rozsah možností zpracování dat přístrojem přímo na místě měření je odlišný pro každý přístroj.

6.4 Stanovení účinnosti a komínové ztráty

Struktura energetické bilance kotle zahrnuje všechny vyskytující se ztráty včetně vlastní spotřeby tepla a elektrické energie. Vzhledem k charakteru kotle jako energetické soustavy je základním ukazatelem hospodárnosti poměr množství vyrobeného tepla (v nosném médiu) a množství tepla přivedeného do soustavy v palivu. Uvedený poměr se nazývá účinnost kotle.

Účinnost malých kotlů je ovlivňována řadou ztrát, které lze obecně rozdělit na:

- a) ztráty nedokonalým využitím uvolněného tepla,
- b) ztráty nedokonalým uvolněním tepla při spalování,
- c) ztráty paliva při dopravě a přepravě,
- d) vlastní spotřeba elektrické energie.

Při detailnějším rozboru ztrát vyjmenovaných pod body a) a b) se uvažují tyto ztráty:

- a) Z_C - ztráta způsobená únikem hořlaviny v tuhých zbytcích v %,
- b) Z_{CO} - ztráta způsobená únikem hořlaviny ve spalinách v %,
- c) Z_f - ztráta způsobená únikem tepla v tuhých zbytcích v %,
- d) Z_k - ztráta způsobená únikem tepla ve spalinách (komínová ztráta) v %,
- e) Z_{vs} - ztráta způsobená odevzdáním tepla do okolí, tj. ztráta tepla způsobená přestupem tepla sáláním a vedením v %.

Ztráta teplem spalin (komínová ztráta, ztráta citelným teplem spalin) je ze všech ztrát výrazně nejvyšší a proto je také jako jediná uvažována při stanovení účinnosti dle citované vyhlášky. Je dána především teplotou spalin. Platí přímá úměra: čím bude teplota spalin v komíně nižší, tím více tepla jsme v kotli využili a tím menší bude komínová ztráta.

Výpočet komínové ztráty Z_k

Ztráta Z_k způsobená únikem tepla ve spalinách se vyjadřuje poměrem tepla unikajícího ve spalinách k množství tepla přivedeného v 1 kg, resp. 1 m³_N paliva:

$$Z_k = \frac{O_p \cdot c_p \cdot (t_k - t_{vz})}{Q_i} \cdot 100 [\%] \quad (6.4.1)$$

kde O_p je objem vlhkých spalin vzniklých spálením 1 kg, resp. 1 m³_N paliva v m³_N/kg, resp. v m³_N/m³_N,

c_p	střední měrná tepelná kapacita vlhkých spalin při dané teplotě t_k a tlaku v $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, resp. $\text{kJ}/(\text{m}_N^3\cdot\text{K})$,
t_k	teplota spalin na výstupu z kotle ve $^\circ\text{C}$,
t_{vz}	teplota vzduchu na vstupu do kotle ve $^\circ\text{C}$,
Q_i	výhřevnost paliva v kJ/kg , resp. kJ/m_N^3 .

Komínová ztráta je při standardním provozu kotle rozhodující pro výslednou účinnost. V některých případech není nutné ji stanovovat poměrně složitě dle vztahu (6.4.1) a je možné použít přibližného výpočtu.

Komínová ztráta dle Siegerta [23]

Pro přibližný výpočet komínové ztráty při spalování tuhých paliv, topného oleje a zemního plynu lze použít vztah dle Siegerta:

$$Z_k = K_1 \cdot \frac{t_k - t_{vz}}{\omega_{\text{CO}_2}} [\%] \quad (6.4.2)$$

kde	K_1	je	konstanta dle druhu paliva (viz Tabulka 22 a Tabulka 23),
	t_k		teplota spalin na výstupu z kotle ve $^\circ\text{C}$,
	t_{vz}		teplota vzduchu na vstupu do kotle ve $^\circ\text{C}$,
	ω_{CO_2}		obsah CO_2 ve spalinách v $\%_{\text{obj.}}$.

Tabulka 22 Hodnoty konstanty K_1 pro vztah (1)

Palivo	Konstanta K_1
Koks	0,80
Černé uhlí	$1,0 \cdot K_2$
Hnědé uhlí	$1,1 \cdot K_2$
Kamenouhelný dehtový olej	0,66
Topný olej	0,60
Zemní plyn	0,48

Tabulka 23 Hodnoty konstanty K2 pro Tabulku 22 Tabulka 22

Obsah vody v palivu	Obsah CO ₂ v suchých spalinách ωCO ₂ (%)					
	W ^r (%hm.)	6	8	10	12	14
0	0,652	0,658	0,666	0,68	0,68	0,69
10	0,661	0,668	0,678	0,69	0,70	0,71
20	0,671	0,681	0,693	0,71	0,72	0,73
30	0,689	0,702	0,717	0,74	0,75	0,77
40	0,724	0,742	0,762	0,78	0,81	0,83
50	0,774	0,799	0,827	0,86	0,89	0,92
60	0,847	0,885	0,925	0,97	1,00	1,05

Komínová ztráta dle 1st. BimSchV

Zjednodušený výpočet komínové ztráty (pro kapalná a plynná paliva) se používá pro stanovení účinnosti u přenosných analyzátorů s elektrochemickými převodníky a vychází z 1st. BimSchV. Výpočet je možné uskutečnit (dle měřené složky spalin) pomocí dvou vztahů:

$$Z_k = \left(\frac{A_2}{21 - \omega_{O_2}} + B \right) \cdot (t_k - t_{vz}) [\%] \quad (6.4.3)$$

$$Z_k = \left(\frac{A_1}{\omega_{CO_2}} + B \right) \cdot (t_k - t_{vz}) [\%] \quad (6.4.4)$$

kde ω_{O_2} je obsah O₂ ve spalinách v %_{obj.},
 ω_{CO_2} obsah CO₂ ve spalinách v %_{obj.},
 t_k teplota spalin na výstupu z kotle ve °C,
 t_{vz} teplota vzduchu na vstupu do kotle ve °C,
 A_2, A_1 a B konstanty zohledňující druh spalovaného paliva viz Tabulka 24

Mezi obsahem CO₂ a O₂ ve spalinách platí dle kinetiky spalování vztah:

$$\frac{\omega_{\text{CO}_2}}{\text{CO}_{2,\text{max}}} + \frac{\omega_{\text{O}_2}}{21} = 1[-] \quad (6.4.5)$$

kde $\text{CO}_{2,\text{max}}$ je maximální obsah CO_2 při stechiometrickém spalování v %obj.

Tabulka 24 Hodnoty konstant pro vztah (6.4.3) a (6.4.4)

konstanta	A1	A2	B	CO₂max
druh paliva				
topný olej	0,5	0,68	0,007	15,4
zemní plyn	0,37	0,66	0,009	11,8
koksárenský plyn	0,29	0,6	0,011	10,2

6.5 Stanovení emisí škodlivin z vytápění rodinného domu

Stanovit měřením množství škodlivin, vypouštěných do ovzduší v průběhu celé topné sezóny individuálního spalovacího zařízení je sice teoreticky možné, prakticky však neuskutečnitelné. Abychom získali alespoň orientační údaje, musíme znát roční spotřebu paliva a průměrnou produkci jednotlivých škodlivin z jednotky konkrétního paliva, tzv. emisní faktor. Z reálné roční spotřeby paliva v konkrétním spalovacím zařízení pak lze vypočítat roční emise jednotlivých škodlivin (emise tuhých částic- TZL, SO_2 , NO_x , CO, C_xH_y) podle vztahu:

$$E_{\text{px}} = R_{\text{px}} * f_{\text{E}} \quad [\text{kg/rok}] \quad (6.5.1)$$

kde: E_{px} - množství emisí z použitého paliva [kg/rok],
 R_{px} - průměrná roční spotřeba pevného paliva v tunách resp. plynu v mil.m^3 ,
 f_{E} - emisní faktor (podle NV č. 352/2002 Sb.).

Dále jsou uvedeny dva konkrétní příklady takového výpočtu.

Rodinný domek vytápěný uhlím

- $R_{\text{px}} = 8$ tun, průměrná roční spotřeba hnědé uhlí v rodinném domku (údaj Severočeské doly, a.s.),
- emisní faktory pro tuhá paliva, mimo černé uhlí a koks (pevný rošt):

- $f_{E\text{tuhé látky}} = 1,0 \cdot A_p$,
- $f_{E\text{SO}_2} = 19,0 \cdot S_p$,
- $f_{E\text{NO}_x} = 3,0$,
- $f_{E\text{CO}} = 45,0$,
- $f_{E\text{C}_x\text{H}_y} = 10,0$.

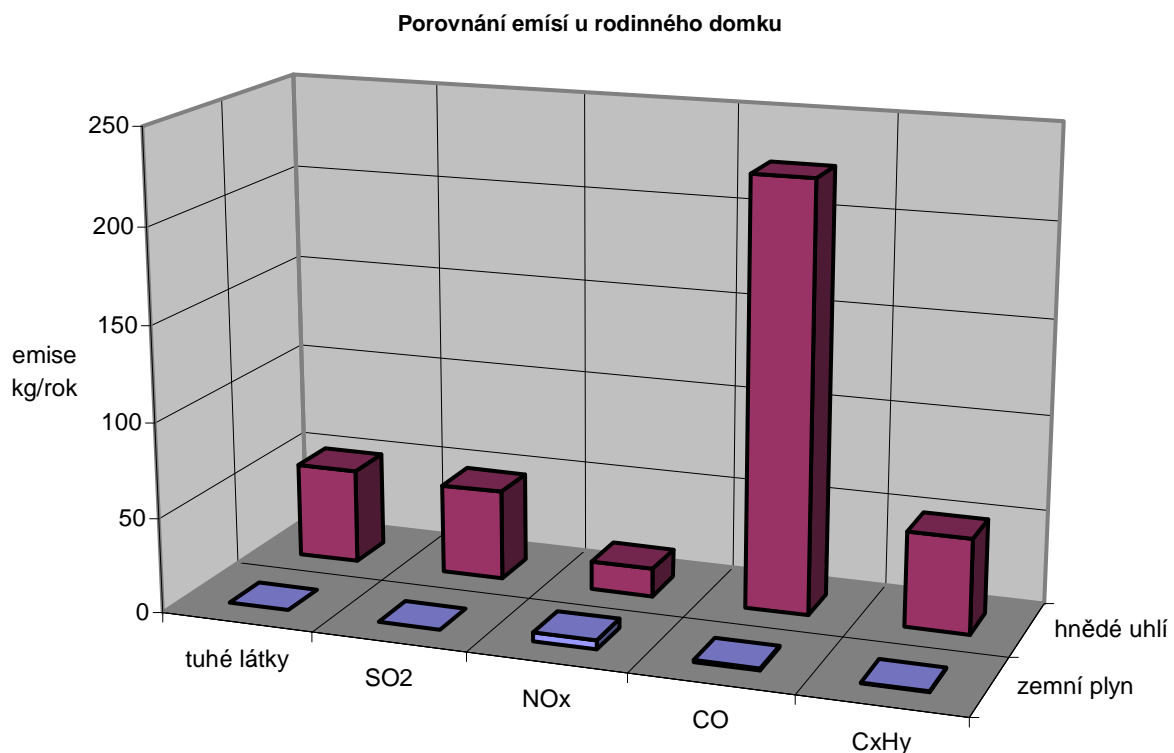
kde: A_p - obsah popela v původním vzorku tuhých paliv (% hm.); Severočeské doly (důl Bílina – jedno z nejkvalitnějších hnědých uhlí) = 10%

S_p - obsah síry v původním vzorku tuhých paliv (% hm.); Severočeské doly (důl Bílina) = 0,5%

Rodinný domek vytápěný zemním plynem

- $R_{px} = 5300 \text{ m}^3 = 0,0053 \text{ mil.m}^3$, průměrná roční spotřeba zemního plynu v rodinném domku (údaj Českomoravská plynárenská, a.s.),
- emisní faktor pro zemní plyn:
 - $f_{E\text{tuhé látky}} = 20$,
 - $f_{E\text{SO}_2} = 9,6$,
 - $f_{E\text{NO}_x} = 1600$,
 - $f_{E\text{CO}} = 320$,
 - $f_{E\text{C}_x\text{H}_y} = 64$.

Porovnání vypočtených hodnot emisí je uvedeno na Obrázek 45.



Obrázek 45 Hodnoty jednotlivých emisí z rodinného domu [2]

7 Závěr

V poslední době se podstatně více hovoří o vlivu malých zdrojů pro vytápění na lokální znečištění ovzduší. Tento fakt je nejvíce patrný v průběhu topné sezóny, kdy je v některých obcích a částech měst díky nesprávnému způsobu topení v malých zdrojích velice špatná kvalita ovzduší. Někdy je stav natolik alarmující, že se doporučuje omezit větrání vnitřních prostor. Toto znečištění ovzduší by však bylo možné správným způsobem topení v malých zdrojích výrazně omezit. Záleží to všem na osobní odpovědnosti každého jedince. Dokážeme se řídit radami zde obsaženými a nemálo tak přispět ke zdravějšímu prostředí v místě svého bydliště?

Tato publikace nastiňuje, jak a proč správně postupovat při topení v malých zdrojích na tuhá paliva. Představuje nejen ekologické dopady při nedodržování těchto postupů, jaké škodliviny vznikají a jakým způsobem ohrožují naše zdraví, ale také vliv nesprávného postupu při topení na spalovací zařízení, což ovlivňuje jeho účinnost a životnost a s tím spojené finanční dopady. Cílem této příručky je představit a vysvětlit optimální způsob topení představující vysokou účinnost, nízké emise škodlivin a co nejnižší finanční náklady. Je ale nutné si uvědomit, že kvalitní topení nelze zajistit bez kvalitního kotle a kvalitního paliva, které dnes představují jen kotle automatické případně zplyňovací na dřevo. Ty jsou dražší než klasické kotle s pevným roštem, ale výrazně zvyšují komfort obsluhy a v parametrech účinnosti a množství emisí jsou řádově lepší.

Publikace je rozdělena do tématických částí, které se zaměřují a popisují jednak jednotlivé druhy paliv a spalovacích zařízení, jednak emise znečišťujících látek vznikajících při topení v malých zdrojích. Dále se zaměřuje na nejčastější chyby, tipy a doporučení, jak nejlépe topit. Tato příručka by měla být impulsem pro zamyšlení se, jak topíme a zda dodržujeme základní zásady správného topení.

Literatura

- [1] Noskievič, P., Koloničný, J., Ochodek, T.: Malé zdroje znečišťování. ČEA, Praha 2004. 120 str.
- [2] Horák, J., Machálek, P. a spol.: Emise POP a těžkých kovů z malých zdrojů a jejich emisní faktory, díl I. VŠB - TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum, Ostrava 2008. ISBN 978-80-248-1816-0.
- [3] Ochodek, T., Koloničný, J., Branc, M.: Ekologické aspekty záměny fosilních paliv za biomasu. VŠB - TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum, Ostrava 2007. ISBN 978-80-248-1595-4.
- [4] Ochodek, T., Koloničný, J., Branc, M.: Ekonomika při energetickém využívání biomasy. VŠB - TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum, Ostrava 2008. ISBN 978-80-248-1751-4.
- [5] Ochodek, T., Koloničný, J., Branc, M.: Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy. VŠB-TU Ostrava, 2007, 230 str. ISBN 978-80-248-1426-1.
- [6] Ochodek, T., Koloničný, J., Janásek, P.: Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy. VŠB-TU Ostrava, 2006, 185 str. ISBN 80-248-1207-X.
- [7] Ochodek, T., Koloničný, J., Branc, M.: Ekonomika při energetickém využívání biomasy - metodická příručka. VŠB-TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum, 2008, 32 str.
- [8] Ochodek, T., Koloničný, J., Branc, M.: Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy – metodická příručka. VŠB-TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum, 2007, 30 str.
- [9] Ochodek, T., Koloničný, J., Branc, M.: Ekologické aspekty záměny fosilních paliv za biomasu - metodická příručka. VŠB-TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum, 2007, 31 str.
- [10] ZÁKON č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší), ve znění pozdějších předpisů.
- [11] ČSN ISO 6096, Stacionární zdroje emisí – Stanovení hmotnostní koncentrace a hmotnostního toku tuhých částic v potrubí – Manuální gravimetrická metoda.
- [12] ČSN 44 1390. Klasifikace přirozených tuhých paliv.
- [13] ČSN 44 1351. Stanovení prchavé hořlaviny
- [14] Roubíček, V., Buchtele, J.: Uhlí Zdroje-Procesy-Užití. Ostrava: Montanex, 2002.
- [15] Noskievič, P.: Spalování uhlí, VŠB-TU Ostrava, 1993.

- [16] Noskíevič, P. a kol.: Biomasa a její energetické využití. VŠB-TU Ostrava, 1996.
- [17] Hrbáček, J.: Práce Ústavu pro výzkum paliv, svazek 9., Praha:UVP, 1964.
- [18] International Energy Agency World Energy Outlook 2000. Paris: IEA 2000.
- [19] Roják, A.: Možnosti využití černého uhlí jako paliva v kotlích fy ŽDB a.s.. Ostrava: Závod topenářské techniky Viadrus, VŠB-TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum, 2000.
- [20] Dufka, J.: Vytápění domů a bytů. Praha: Grada Publishing, a.s. 2004.
- [21] Dufka, J.: Hospodárné vytápění domů a bytů. 1. vydání Praha: Grada Publishing, a.s. 2007. 112 str. ISBN 978-80-247-2019-7.
- [22] Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR. Návrh státní energetické koncepce do roku 2030, aktualizace Státní energetické koncepce 2003, 2010
- [23] Ministerstvo životního prostředí ČR. Nařízení vlády č. 476/2009 Sb. ze dne 21.12.2009, kterým se stanoví emisní limity a další podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší.
- [24] Klobušník, L.: Pelety palivo budoucnosti. České Budějovice: Sdružení Harmonie, 2003.
- [25] GAS s.r.o., kol. autorů: Topenářská příručka, Praha: GAS s.r.o., 2001.
- [26] Hanousek, M.: Topíme dřevem, Praha: Grada Publishing, a.s., 2001.
- [27] Kadlec, A., Kadlecová, A.: Krby a krbová kamna. Praha: Ben – technická literatura s.r.o., 2002.
- [28] Machálek, P. a kol.: Zpráva pro řešení projektu VaV 740/01/07 „Způsoby vytápění domácností, druhy paliva a spalovacích zařízení“, ČHMÚ, Praha 2007.
- [29] Machálek, P., Machart, J.: Emisní bilance vytápění bytů malými zdroji od roku 2001- ČHMÚ, Milevsko 2003.
- [30] Thuss, U., Popp, P.: Domestic Lignite Combustion as Source of Polychlorinated dibenzodioxins and furans (PCSS/F). Chemosphere, 31:2591, 1995.
- [31] Thuss, U., Herzsuh, R., Popp, O., Ehrlich, Ch., Kalkoff, W.D.: PCDD/F in Flue Gas and in Bottom Ash of Lignite Domestic Combustion and the Role of the Salt Content of the Burned Briguettes. Chemosphere, 34:1091, 1997.
- [32] Hedman, B., Naslund, M., Marklund, S.: Emission of PCDD/F, pCB, HxCBz, PAH, and PM Emission Factors for Fireplace and Woodstove Combustion in the San Francisco Bay Region. Environ. Sci. Technol., 37:1758, 2003.
- [33] Pfeiffer, F., Struschka, M., Baumbach, G., Hagenmaier, H., Hein, K.R.G.: PCDD/PCDF Emission from Small Firing Systems in Households. Chemosphere, 40:225, 2000.

- [34] Launhardt, T., Strehler, A., Dumlej-Gradl, R., Thoma, H., Vierle, O.: PCDD/F and PAH-Emission from House Heating System. *Chemosphere*, 40:1149, 2000.
- [35] Moche, W., Thanner, G.: PCDD/F Emission from Domestic Heating with Wood, Coal and Coke. *Organohalogen Compounds*, 46:298, 2000.
- [36] Machálek, P., Potočka, Z., Machart, J.: Způsoby vytápění domácností, druhy paliv a spalovacích zařízení. Praha 2007.
- [37] Kolektiv autorů: Sborník příspěvků ze semináře: Biomasa jako zdroj energie. VŠB-TU Ostrava, 2006. 124 str. ISBN 80-248-1182-0.
- [38] Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P.: Biomasa, obnovitelný zdroj energie. Praha: FCC PUBLIC s.r.o., 2004. 288 str. ISBN 80-86534-06-5.
- [39] ČSN EN 303-5. Kotle pro ústřední vytápění – Část 5: Kotle pro ústřední vytápění na pevná paliva, s ruční nebo samočinnou dodávkou, o jmenovitém tepelném výkonu nejvýše 300 kW – Terminologie, požadavky, zkoušení a značení.
- [40] Jandačka, J., Malcho, M., Mikulík, M.: Biomasa ako zdroj energie – Potenciál, druhy, bilance a vlastnosti palív. Žilina: Juraj Štefuň – Georg, 2007. 241 str. ISBN 978-80-969161-3-9.
- [41] Kolektiv autorů: Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2004. Praha, ČHMÚ, 2005. 168 str. ISBN 80-86690-29-6.
- [42] Holoubek, I.: Organické látky v ovzduší I. Kompendium ochrany kvality ovzduší, část 7 – příloha časopisu Ochrana ovzduší. Praha, Občanské sdružení kvality ovzduší, 2007. 15 str.
- [43] Herčík, M.: Životní prostředí – Úvod do studie. VŠB-TU Ostrava, 2000. 141 str. ISBN 80-7078-340-0.
- [44] Biswas, P., Wu, Ch.Y.: Control of Toxic Metal Emissions from Combustor Using Sorbents: A review. *J. Air and Waste Manage. Assoc.*, 1998, 48, 113-127.
- [45] Gulyurtlu, I. et al.: The Determination of Emissions of Pollutants from Burning Waste Oils. *Fuel*, 1996, 75, 8, 940-944.
- [46] Toole-Oneil, B. et al.: Merkury Concentration in Coal. *Fuel*, 1999, 78, 47-54.
- [47] Paleček, J., Palatý, J.: Toxikologie, hygiena a bezpečnost práce v chemii. Praha: VŠCHT, 1994.
- [48] Matrka, M., Rusek, V.: Průmyslová toxikologie – Úvod do obecné a speciální toxikologie. Pardubice, VŠCHT, 1994.
- [49] Tichý, M.: Toxikologie pro chemiky – toxikologie obecná, speciální, analytická a legislativní. Praha: Karolinum, 1998.
- [50] Kotulán, J.: Riziková analýza potenciálního vlivu emisí PCDD/PCDF ze spalovny komunálního odpadu v Liberci na obyvatelstvo, září 2000.

- [51] Prokeš, J.: Základy toxikologie I. – Obecná toxikologie a ekotoxikologie, Praha 1996. ISBN 80-7184-418-7.
- [52] Koutský, M.: Emise při spalování biomasy, časopis Energie & peníze, duben 2002.
- [53] Dirner, V.: Ochrana životního prostředí, Ostrava, ISBN 80-7078-490-3.
- [54] Ross, A., Jones, J.M., Chaiklangmuang, S., Pourkashanian, M., Williams, A., Kubica, K., Anderson, J.T., Kerst, M., Danihelka, P., Bartle, K.D.: Measurement and Prediction of the Emission of Pollutants from the Combustion of Coal and Biomass in a Fixed Bed Turbace. *Fuel*, 2002, 81, 571-582.
- [55] Noskievič, P., Branc, M.: Technické a ekonomické aspekty kogenerační výroby tepla a elektřiny z biomasy. In *Energetika 8-9/57/2007*. Praha: Český svaz zaměstnavatelů v energetice, 2007. 243-247 str. ISSN 0375-8842.
- [56] Branc, M.: Hodnocení kogenerace biomasy, „Energie z biomasy VII.“ Odborný seminář VUT Brno, FSI, Brno 21.-22. listopad 2007, 15-20 str. ISBN 978-80-214-3542-1.
- [57] Vyhláška MŽP č. 357/2002 Sb., kterou se stanovují požadavky na kvalitu paliv z hlediska ochrany ovzduší.
- [58] Kysela, L., Tomčala, J.: *Ekonomika v energetice*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2000. 64 str. ISBN 80-7078-851-8.
- [59] Koudela, V., Schejbalová, B.: *Ekonomická efektivnost investic*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2000. 86 str. ISBN 80-7078-825-9.
- [60] Gášková, J.: *Ekonomické zhodnocení možnosti využití biomasy v ČR podle doporučení EU*. VŠB-TU Ostrava 2007. Diplomová práce.
- [61] Fedorová, I., Jandaška, J., Mikulík, M.: Vplyv podmienok spaľovania dreva na tepelný výkon a produkci emisií krbových kachlí. „Energie z biomasy VII.“, sborník příspěvků ze semináře 21.-22. listopadu 2007, Brno 2007. 45-48 str. ISBN 978-80-214-3542-1.
- [62] Vlk, V.: *Kachlová kamna – vytápění chat, chalup a venkovských domků*, druhé rozšířené vydání, Grada Publishing, spol. s r.o. 2002, s. 140, ISBN 80-247-0308-4
- [63] Noskievič, P., Pilch, R.: *Spalování dřeva v malém ohništi*. Ostrava: VŠB - TU Ostrava Výzkumné energetické centrum a ROMOTOP, s.r.o., 2008. 80 s., ISBN 978-80-248-1889-4
- [64] Noskievič, P.: *Krbová a kachlová kamna*, ROMOTOP, s.r.o., Suchdol nad Odrou 2001
- [65] Skála, Z., Ochodek, T.: *Biomass energy parameters*. VŠB-TU Ostrava, 2007, 91 str. ISBN 978-80-248-1615-9.
- [66] Horák, J.: *Kvalita spalování tuhých paliv v ohništích malých výkonů*, Disertační práce VŠB-TU Ostrava 2001

- [67] Dzurenda, L.: Spaľovanie dreva a kôry. Zvolen, Vydavateľstvo Technickej univerzity vo Zvolene 2005, 124 s. ISBN 80-228-1212-9
- [68] Jandačka, J. - Malcho, M. - Mikulík, M.: Vplyv materiálu výmurovky kúreniska v krbových kachlach na ich tepelné a emisné parametre. Acta Mechanica Slovaca, 4-D/2007, Strojnícka fakulta – TU v Košiciach, ISSN 1335-2393, s. 639-642
- [69] Vlk, V.: Krby II Kompletní sestavy v moderních interiéroch, Grada Publishing, a.s Grada Publishing, a.s. 1999, s. 162, ISBN 80-7169-739-9
- [70] Stiovová, K.: Výzkum spalování dřeva v ohništích malých výkonů, Disertační práce, VŠB-TU Ostrava 2009
- [71] Jílek, P.: Problém oxidu uhličitého. *Ochrana ovzduší*, 1991. 115-119 str.
- [72] Abrla, P.: Problematika přesnosti stanovení emisí z malých spalovacích zařízení. Sborník ze semináře Energie z biomasy V. Brno, 2006. ISBN-80-214-3310-8
- [73] Mikulík, M., Jandačka, J.: Postupy správneho vykurovania. Jozef Bulejčík, Žilina, 2009, 128 s. ISBN 978-80-969595-7-0
- [74] Mikulík, M.: Technologie pro kachlová kamna. Jozef Bulejčík, Žilina 2009, 72 s. ISBN 978-80-969595-6-3
- [75] Prezentace údajů na webových stránkách www.czso.cz – sekce „Data v publikacích“, Český statistický úřad, Praha 2007.
- [76] Společenstvo kominíků ČR, Praha. www.skcr.cz
- [77] EkoWATT, poradenské středisko České energetické agentury, Praha. www.ekowatt.cz
- [78] Český normalizační institut. Seznam platných harmonizovaných norem vyhlášených příslušným nařízením vlády. www.technickenormy.cz
- [79] Energ spol. s r.o.: Vytápění kapalnými palivy, www.energ.cz
- [80] Czech Coal Energy, Ceník paliv, 2010, www.czechcoal.cz
- [81] Nízkoteplotní vytápění má výhodu, dostupné z internetu <http://bydleni.lidovky.cz>
- [82] Musil., L.: Plyn ve vytápění. Dostupné z internetu <http://tzb-info.cz>
- [83] Nejčastější omyly při výběru topidla. Dostupné z internetu <http://www.habitacz.cz/jak-si-vybrat/nejcastejsi-omyly>
- [84] <http://energoportal.cz/forum>
- [85] <http://profikrby.cz>
- [86] <http://www.buildingplatform.org>
- [87] <http://hestia.energetika.cz/encyklopedie>
- [88] <http://www.tzb-info.cz>
- [89] <http://www.prodejuhli.cz/kategorie.php?kategorie=1>

- [90] <http://www.chmi.cz/uoco/emise/embil/07embil/07embil.html>
- [91] <http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/overview.html>
- [92] <http://www.tomegas.sk/cz>
- [93] <http://www.bydleni.cz/clanek/Nejsou-kamna-jako-kamna>
- [94] <http://biom.cz/cz/obrazek/zplynovaci-kotel-na-drevo>
- [95] <http://www.tricer.cz/zplynovaci-kotle-na-drevo>
- [96] <http://www.edilkamin.com>
- [97] <http://www.ling.cz>
- [98] <http://www.tedom.cz>
- [99] <http://zivotnistyl.cz/clanky/stavba>
- [100] <http://www.promatpraha.cz>
- [101] <http://www.globaltherm.cz>
- [102] <http://www.vigas.cz>
- [103] <http://www.artprofi.cz>
- [104] <http://www.heliostar.cz>

Seznam obrázků

Obrázek 1 Ceny energií v letech 1980 – 2035 (v dolarech na milion Btu , 1Btu = 1,055 kJ)	11
Obrázek 2 Energetický obsah paliva a prchavá hořlavina [1]	14
Obrázek 3 Závislost výhřevnosti biomasy na obsahu vody [1].....	19
Obrázek 4 Energetický a dřevařský obsah vody [63].....	19
Obrázek 5 Ohniště s prohoříváním paliva (a) a spodním odhoříváním paliva (b)	27
Obrázek 6 Moderní krbová kamna, konstrukce ohniště [1]	29
Obrázek 7 Průřez kachlovými kamny a zobrazení průtoku vzduchu [93].....	31
Obrázek 8 Srovnání provozních vlastností kachlových kamen těžké (KK1) a lehké (KK2) konstrukce – průběh průměrných povrchových teplot	32
Obrázek 9 Vyořívání dávky uhlí v ohništi.....	35
Obrázek 10 Schéma ohniště kotle CRE.....	36
Obrázek 11 Ohniště s otáčivým roštem.....	37
Obrázek 12 Složení spalin, klasický kotel.....	38
Obrázek 13 Složení spalin, kotel s kontinuálním přívodem paliva	39
Obrázek 14 Vliv vlhkosti dřeva na produkci oxidu uhelnatého	40
Obrázek 15 Vliv vlhkosti dřeva na produkci polyaromatických uhlovodíků....	41
Obrázek 16 Řez zplyňovacím kotlem [95]	42
Obrázek 17 Zplyňovací kotel na dřevo s ventilátorem na přívod vzduchu [94]	42
Obrázek 18 Automatický kotel na pelety [96].....	43
Obrázek 19 Automatický kotel na pevná paliva [97]	44
Obrázek 20 Hořák na olej kroll o výkonu 35 – 59 kW.....	45
Obrázek 21 Množství produkovaných emisí škodlivých látek REZZO 3 v letech 2001 – 2007 [90]	48
Obrázek 22 Porovnání skutečných a předepsaných hodnot emisních faktorů CO pro spalování hnědého uhlí.....	62
Obrázek 23 Porovnání skutečných a předepsaných hodnot emisních faktorů CO pro spalování černého uhlí.....	63
Obrázek 24 Porovnání skutečných a předepsaných hodnot emisních faktorů CO pro spalování biomasy	63
Obrázek 25 Porovnání skutečných a předepsaných hodnot emisních faktorů NO _x pro spalování hnědého uhlí.	65

Obrázek 26 Porovnání skutečných a předepsaných hodnot emisních faktorů NO _x pro spalování černého uhlí	66
Obrázek 27 Porovnání skutečných a předepsaných hodnot emisních faktorů NO _x pro spalování biomasy	66
Obrázek 28 Porovnání skutečných a doporučených hodnot emisních faktorů CO ₂ pro spalování hnědého uhlí	67
Obrázek 29 Porovnání skutečných a naměřených hodnot emisních faktorů CO ₂ pro spalování černého uhlí.....	68
Obrázek 30 Měrné emise ze spalování pelet I až IV v závislosti na výkonu kotle Ling 25 a Ling 50 [3].....	69
Obrázek 31 Měrné emise ze spalování pelet v závislosti na průměru pelet [3].	69
Obrázek 32 Roční náklady na vytápění domácností podle typu kotle a druhu paliva	77
Obrázek 33 Pořizovací investiční náklady a roční náklady na vytápění podle typu kotle a druhu paliva	78
Obrázek 34 Zapojení solárního systému ke kotli (na pevná paliva, plynový kotel) nebo k tepelnému čerpadlu [103]	81
Obrázek 35 Systém rekuperace a ohřevu vzduchu [104]	82
Obrázek 36 Základní názvosloví a doporučení pro komíny s přirozeným tahem [88]	90
Obrázek 37 Zapojení kouřovodu „po vodě“	91
Obrázek 38 Zapojení kouřovodu „po kouři“	91
Obrázek 39 Mikrokogenerační jednotka pro domácí použití [98].....	101
Obrázek 40 Kogenerační jednotka se spalovací turbínou.....	101
Obrázek 41 Mikrokogenerační systém firmy Viessmann	102
Obrázek 42 Schéma procesu v elektrochemickém převodníku	113
Obrázek 43 Schéma měření.....	114
Obrázek 44 Závislost mezi časem odezvy a časem regenerace.....	115
Obrázek 45 Hodnoty jednotlivých emisí z rodinného domu [2]	120

Seznam tabulek

Tabulka 1 Základní dělení paliv dle	12
Tabulka 2 Složení tuhých paliv před a po vysušení	13
Tabulka 3 Kvalitativní parametry a ceny tříděného hnědého uhlí Mostecká uhelná, a.s.	15

Tabulka 4 Kvalitativní parametry a ceny hnědouhelných briket Sokolovská uhelná, a.s.	16
Tabulka 5 Kvalitativní parametry a ceny otopového koksu OKD, a.s.	16
Tabulka 6 Kvalitativní parametry a ceny černého uhlí OKD, a.s.	16
Tabulka 7 Složení hořlaviny a výhřevnost	18
Tabulka 8 Porovnání nákladů a výhřevnosti jednotlivých plynů [88], [92]	22
Tabulka 9 Základní vlastnosti ELTO	23
Tabulka 10 Ceny elektrické energie pro vytápění	24
Tabulka 11 Porovnání výhod a nevýhod jednotlivých druhů paliv	25
Tabulka 12 Přehled vlivu jednotlivých druhů emisí na člověka při spalování různých druhů paliv	57
Tabulka 13 Průměrné emisní faktory pro jednotlivé kotle ze všech zkoušek pro spalování hnědého uhlí	64
Tabulka 14 Průměrná účinnost malých zdrojů tepla	72
Tabulka 15 Palivové náklady na vytápění domácnosti (výpočtová spotřeba tepla 65 GJ)	75
Tabulka 16 Seznam vybraných prováděcích právních předpisů k zákonu o ovzduší.....	94
Tabulka 17 Platné limitní účinnosti spalování pro spotřebiče spalující kapalná a plynná paliva pro uvedený výkonový rozsah	96
Tabulka 18 Platné limitní účinnosti spalování pro spotřebiče spalující tuhá paliva pro uvedený výkonový rozsah	96
Tabulka 19 Lhůty provádění kontroly spalinových cest a účinnosti spalování. 97	
Tabulka 20 Tabulka emisních faktorů používaných pro výpočet emisí z vytápění domácností.....	110
Tabulka 21 Srovnání emisních faktorů jednotlivých paliv v různých spalovacích zařízeních.....	111
Tabulka 22 Hodnoty konstanty K1 pro vztah (1)	117
Tabulka 23 Hodnoty konstanty K2 pro Tabulku 22 Tabulka 22	118
Tabulka 24 Hodnoty konstant pro vztah (6.4.3) a (6.4.4).....	119

Autor:	Ing. Jan Koloničný, Ph.D. Mgr. Veronika Bogoczová Ing. Jiří Horák, Ph.D.	
Pracoviště:	Výzkumné energetické centrum, Inovace pro efektivitu a životní prostředí	740, 741
Název:	Postupy správného topení	
Místo, rok vydání:	Ostrava, 2010, I. vydání	
Počet stran:	130	
Vydala:	Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava	
Tisk:	Juraj Štefuň - GEORG	
Náklad:	200 ks	
Neprodejné		

Za obsah studie jsou odpovědní autoři. Informace zde uvedené nejsou oficiálním stanoviskem orgánů Evropské unie.

ISBN 978-80-248-2255-6