



Učebnice správného vytápění

Září 2022

Projekt LIFE IP - Zlepšenie kvality ovzdušia (LIFE18 PE/SK/000010)
podpořila Európska únia v rámci programu LIFE.

Projekt je spolufinancován z prostředků státního rozpočtu SR prostřednictvím MŽP
SR.



Ministerstvo životního prostředí



Příručka správného vytápění

Autoři:

Ing. Jiří Horák, Ph.D.,

Ing. Jiří Ryšavý,

Ing. František Hopan, Ph.D.,

Ing. Kamil Krpec, Ph.D.,

Ing. Milan Dej, Ph.D.,

Ing. Petr Kubesa,

Ing. Vendula Laciok, Ph.D.,

Ing. Lenka Kuboňová, Ph.D.,

Ing. Oleksandr Molchanov, Ph.D.,

Zdeněk Kysučan,

Jiří Kremer,

Ing. Martin Garba,

Miroslav Jaroč.

**ROZPAL
TO SE
SMOKEMANEM**



Ostrava 2022

ISBN 978-80-248-4627-9

Obsah

PŘEDMLUVA	5
REJSTŘÍK POJMŮ	6
1 VYTÁPĚNÍ PEVNÝMI PALIVY	10
1.1 POTŘEBA A SPOTŘEBA ENERGIÍ V DOMÁCNOSTECH (ZDROJE ENERGIE)	10
1.2 ZPŮSOBY VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVY TEPLÉ VODY	12
1.3 VÝZNAMNÉ VLIVY PŮSOBÍCÍ NA KVALITU SPALOVACÍHO PROCESU	20
1.4 TYPY SPALOVACÍCH STACIONÁRNÍCH ZDROJŮ DO PŘÍKONU 300 kW URČENÝCH PRO SPALOVÁNÍ PEVNÝCH PALIV	24
1.5 PRVKY OVLIVŇUJÍCÍ MÍRU KOMFORTU PROVOZU SPALOVACÍCH STACIONÁRNÍCH ZDROJŮ DO PŘÍKONU 300 kW URČENÝCH PRO SPALOVÁNÍ PEVNÝCH PALIV	28
1.6 PROBLEMATIKA KONDENZACE VE SPALINOVÉ CESTĚ	43
1.7 VLIV PŘEBYTKU SPALOVACÍHO VZDUCHU NA KVALITU SPALOVÁNÍ	46
1.8 TRANSFORMACE ENERGIE A MÍRA DOKONALOSTI TĚCHTO DĚJŮ	58
2 PALIVOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ	68
2.1 DRUHY PALIV	69
2.2 TĚŽBA, PŘÍPRAVA A SKLADOVÁNÍ PALIV	73
2.3 STANOVENÍ SPALNÉHO TEPLA A VÝPOČET VÝHŘEVNOSTI	88
3 LEGISLATIVA A DOTAČNÍ TITULY TÝKAJÍCÍ SE SPALOVACÍCH STACIONÁRNÍCH ZDROJŮ DO PŘÍKONU 300 kW	93
3.1 ZAŘAZENÍ KOTLE DO TŘÍDY DLE ČSN EN 303-5	95
3.2 PARAMETRY SPALOVACÍCH STACIONÁRNÍCH ZDROJŮ	100
3.3 EKODESIGN	103
3.4 ZÁKAZ PROVOZU NEVYHOVUJÍCÍCH KOTLŮ	104
3.5 VLIV NEZÁKONNÉHO SPALOVÁNÍ ODPADKŮ NA KVALITU OVZDUŠÍ	111
3.6 KOTLÍKOVÉ DOTACE	115
3.7 VÝSLEDKY MĚŘENÍ VYMĚNĚNÝCH KOTLŮ V DOMÁCNOSTECH	115
4 LEGISLATIVA TÝKAJÍCÍ SE OCHRANY OVZDUŠÍ	125
4.1 POŽADAVKY NA TECHNICKÉ PARAMETRY KOTLŮ SPALUJÍCÍCH PEVNÁ PALIVA (ZÁKON O OCHRANĚ OVZDUŠÍ)	125
4.2 POŽADAVKY NA TECHNICKÉ PARAMETRY LOKÁLNÍCH TOPIDEL	130
4.3 DOSTUPNÉ NÁSTROJE PRO ŘEŠENÍ PROBLÉMŮ S OBTĚŽOVÁNÍM NADMĚRNÝM KOUŘEM ZE SPALOVÁNÍ PEVNÝCH PALIV	136
4.4 METODA SEMAFOR (SPALOVÁNÍ ODPADŮ)	138
4.5 PRINCIPY ČIŠTĚNÍ SPALIN	143
5 SMOKEMANOVO DESATERO SPRÁVNÉHO TOPIČE	146
5.1 TOP TAK, JAK CHCEŠ, ABY TOPIL TVŮJ SOUSED	146
5.2 SUŠ DŘEVO MINIMÁLNĚ JEDEN AŽ DVA ROKY – VÍCE SE OHŘEJEŠ A BUDE Z TOHO MÉNĚ KOUŘE ...	146
5.3 NESPALUJ ODPADKY	146
5.4 NASTAV REGULAČNÍ KLAPKY TAK, ABY VZDUCH MOHL K PALIVU, OHEŇ NEDUS	147

5.5	PŘIKLÁDEJ RADĚJI ČASTĚJI MENŠÍ DÁVKU PALIVA NEŽ JEDNU VELKOU DÁVKU ZA DLOUHÝ ČAS (NEPLATÍ PRO AUTOMATY A ZPLYŇOVACÍ KOTLE)	147
5.6	PRAVIDELNĚ ČISTI KOTEL A KOMÍN	148
5.7	POUŽÍVEJ MODERNÍ KOTEL ČI KAMNA (DLE SVÝCH MOŽNOSTÍ)	148
5.8	UDRŽUJ OPTIMÁLNÍ TEPLOTU SPALIN	149
5.9	NEVYHAZUJ TEPLO OKNEM, NEPŘETÁPĚJ A TOP JEN TAM, KDE POTŘEBUJEŠ.....	150
5.10	NEBUĎ LHOSTEJNÝ K SOBĚ ANI KE SVĚMU OKOLÍ, ZAJÍMEJ SE O TO, CO JDE Z TVÉHO KOMÍNA	150
HLAVNÍ ZDROJE		152

Předmluva

Publikace, kterou právě držíte v rukou, přináší shrnující informace týkající se oblasti spalovacích stacionárních zdrojů do příkonu 300 kW (kotle, kamna, krby apod.). Důraz byl při její přípravě kladen především na informace o jejich správném a bezpečném provozu. Publikace čerpá ze zkušeností pracovníků zkušebny Výzkumného energetického centra (VEC), kteří se dané problematice intenzivně věnují již více než 20 let. Zkušebna VEC je autorizovanou osobou č. 260 k posuzování shody stavebních výrobků dle NV 163/2002 Sb., přičemž se autorizace vztahuje na teplovodní kotle spalující pevná paliva, spadající pod normy ČSN EN 303–5 a ČSN 07 0240 (ČSN 07 0245) a zároveň je notifikovanou osobou č. 2078 pro činnosti oznámeného subjektu podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 305/11, kterým se stanoví harmonizované podmínky pro uvádění stavebních výrobků na trh na zařízení pro vytápění vnitřních prostor.

Během zmíněné doby bylo provedeno několik tisíc spalovacích zkoušek s kombinací nejrůznějších spalovacích stacionárních zdrojů a paliv. Znalosti získané provedením těchto spalovacích zkoušek a informace týkající se správného vytápění předávají pracovníci VEC veřejnosti formou edukativní show s názvem „Smokeman zasahuje“. Ing. Jiří Horák, Ph.D., vedoucí zkušebny Výzkumného energetického centra VŠB–TUO, dělá již řadu let vše proto, aby lidé věděli, jak správně zacházet se spalovacími stacionárními zdroji, které doma, na chatě nebo kdekoli jinde využívají, a zároveň abychom dýchali co nejčistší vzduch.

Prostředkem v této snaze je mu právě SMOKEMAN, tedy fiktivní postava, která svou show baví a vzdělává zároveň. Základním cílem show je naučit posluchače odkud pochází energie ve dřevě a jiných palivech, jak tuto energii následně správně využít, aby se ohřál co možná nejvíce, a aby zároveň vypouštěl co možná nejmenší možné množství znečišťujících látek do ovzduší. K tomu všemu SMOKEMAN používá kromě standardních nástrojů, jako např. funkční kamna, 3D modely různých typů kotlů a ukázek paliv, řadu originálních pomůcek a hraček, přičemž dotýkání se jich je, dle jeho slov, v průběhu show přísně nařízeno.

Závěrem hrdinovo nejdůležitější heslo ze SMOKEMANova desatera správného topiče: „Top tak, jak chceš, aby topil Tvůj soused.“

Kouři zmar!

Rejstřík pojmů

Než začnete pracovat s učebnicí, kterou držíte v ruce, věnujte prosím pozornost úvodní části, která je věnována základním pojmům, s jejichž znalostí bude orientace v následujících kapitolách podstatně jednodušší.

Biomasa – Souhrn látek tvořící těla všech organismů, jak rostlin, bakterií, sinic a hub, tak i živočichů. V oblasti vytápění domácnosti spalovacími stacionárními zdroji do příkonu 300 kW je většinou myšleno dřevo.

Briketa – Mechanicky zhuštěný drobný materiál, který ve výsledku tvoří větší kompaktní celek o charakteristických rozměrech v jednotkách až desítkách centimetrů. Nejčastěji bývají ve formě briket slisovány hořlavé materiály jako biomasa nebo uhelný prach. Proces výroby briket se nazývá briketování.

Emise – Proces, při kterém dohází k uvolňování. Dle odvětví je možné popisovat např. emise znečišťujících látek nebo také např. emise dluhopisů.

Energetická ztráta [-; %] – Část energie, odcházející z pozorované energetické soustavy zařízení ve formě, která už není dále využívána.

Energetické zařízení primární – Transformuje primární energii na jiný druh energie (např. fotovoltaický panel, větrná turbína, kotel spalující biomasu, kotel spalující uhlí).

Energetické zařízení sekundární – Transformuje energii získanou pomocí primárního zařízení na jiný typ energie (např. mixér, kompresor, žárovka).

Energetické zařízení terciární – Transformuje energii z primárního zařízení, nebo sekundárního na energii stejného typu o jiných parametrech (např. transformátor, převodovka).

Energie [J] - Energie je fyzikální veličina, která popisuje schopnost hmoty (látky nebo pole) konat práci. Slovo „energie“ z řeckého „energeia“ znamená vůli, sílu či schopnost k činům. Energie může mít různé formy, jako např. kinetická (pohybová) energie, polohová energie, chemická energie nebo teplo. Vzhledem k tematice této publikace budou dále nejdůležitější poslední dvě zmíněné formy energie.

Hmotnostní koncentrace znečišťujících látek [mg/m³] – Jedná se o hmotnost pozorované látky vztahenou na objem plynu, ve kterém se vyskytuje. Tato hodnota je často zaměňována s pojmem emise.

Imise – Jinými slovy také „vhánění“, popřípadě „vpuštění“ nebo „vnikání“. Proces charakterizující příjem (látky). Hmotnostní koncentrace znečišťujících látek v ovzduší jsou uváděny tzv. v imisích, protože se jedná o koncentrace v okolním vzduchu, tedy přímo ve vzduchu, který je lidmi vdechován – přijímán.

Komín – Jednovrstvá nebo vícevrstvá konstrukce s jedním nebo více průduchy sloužící k bezpečnému odvodu spalin od sopouchu do okolí.

Kouřovod - Konstrukční díl nebo díly, určené pro spojení mezi spalinovým hrdlem spotřebiče paliv a sopouchem.

Krbová kamna – Volně stojící energetické zařízení, ve kterém dochází k transformaci chemické energie paliva na teplo. Krbová kamna mohou stejně jako teplovodní kotel obsahovat teplovodní výměník. Cílem provozu tohoto zařízení je ohřev svého okolí. Typickým znakem krbových kamen jsou prosklená dvířka umožňující pohled do ohniště.

Krbová vložka – Energetické zařízení konstruované pro tzv. obezdění, ve kterém dochází k transformaci chemické energie paliva na teplo. Krbová vložka může stejně jako teplovodní kotel obsahovat teplovodní výměník. Cílem provozu tohoto zařízení je ohřev svého okolí. Typickým znakem krbové vložky jsou prosklená dvířka, umožňující pohled do ohniště, které jsou jediným viditelným prvkem.

Lokální spotřebič - Lokální spotřebič je energetické zařízení určené pro transformaci chemické energie paliva na teplo, které předává do okolního prostoru (tam kde je umístěn). Lokální spotřebiče na pevná paliva jsou např. krbová kamna, krbové vložky, sporáky a krby.

Lokální topeniště – Zdroj znečišťování o jmenovitém tepelném příkonu nižším než 300 kW. Tyto zdroje jsou využívány zejména v rodinných domech, rekreačních chatách a chalupách.

Odpad – Movitá věc, které se člověk zbavuje nebo má úmysl či povinnost se jí zbavit.

Otevřený krb – Energetické zařízení tvořící část konstrukce domu bez možnosti jeho vyjmutí nedestruktivní metodou, ve kterém dochází k transformaci chemické energie paliva na teplo. Cílem provozu tohoto zařízení je ohřev svého okolí. Typickým znakem krbu je přímý kontakt prostředí s plamenem a palivem.

Palivo – Chemická látka, nebo směs chemických látek mající schopnost za vhodných podmínek začít a udržet chemickou reakci spalování.

Peleta – Mechanicky zhuštěný drobný materiál, který ve výsledku tvoří větší kompaktní celek o charakteristických rozměrech v jednotkách až desítkách milimetrů. Nejčastěji bývají ve formě pelet slisovány hořlavé materiály na bázi biomasy.

Primární energie – Energie, která neprošla žádným procesem přeměny způsobeným účelně konanou lidskou činností. Primární neboli prvotní energii lze chápat jako energii ve formě, v jaké se vyskytuje v přírodě (sluneční záření, vítr, dřevo, uhlí, zemní plyn, ropa).

Přeměny energie – Energie jednoho druhu se obecně přeměňuje v jiný druh konáním práce. Lidé neumí energii vyrobit, pouze ji přeměnit na jiný druh energie.

Sopouch – Konstrukční díl komína, do kterého je připojen kouřovod.

Spalné teplo [MJ/kg; kJ/kg; MJ/m³] – Jedná se o energii uvolněnou při spálení jedné jednotky látky (paliva), přičemž vodní pára vzniklá spálením vodíku a vypařením vody zkondenzuje. Hodnota se stanovuje v kalorimetru.

Tepelná kapacita [J·g⁻¹·K⁻¹] – Schopnost systému pojmout teplo. Čím větší je tepelná kapacita, tím méně se dodáním tepla zvýší teplota systému. Celková tepelná kapacita systému je úměrná jeho hmotnosti.

Spalovací stacionární zdroj do příkonu 300 kW – Tento pojem seskupuje téměř veškerá spalovací zařízení užívaná v domácnostech pro potřeby vytápění.

Teplota [°C, °F, K] – Pojem, který má původ ve vnímání pocitu horka a chladu je lidem důvěrně znám z běžného života. Je to projev tepelné

energie, přítomné ve veškeré hmotě. Nejnižší teoretická teplota je absolutní nula, při které již nelze z tělesa extrahovat žádnou tepelnou energii.

Teplotní roztažnost – Je, při kterém vlivem dodání/odebrání tepla tělesu (má za následek navýšení/snížení jeho teploty) dojde k zvýšení/snížení jeho celkových rozměrů. Tento jev souvisí s rychlostí pohybu molekul látky.

Teplovodní kotel – Energetické zařízení, ve kterém dochází k transformaci chemické energie paliva na teplo (spalin), které je pomocí výměníku předávané teplotonosnému médiu, kterým je zpravidla voda. Cílem provozu tohoto zařízení není ohřev vzduchu ve svém okolí.

Tlak [Pa] – Stavová veličina, která je definována jako síla působící ve směru normály na jednotku plochy.

TZL – Při spalování paliv a při dalších průmyslových činnostech vznikají aerosoly, které mohou být pevné, kapalné nebo směsné. Souhrnně se tyto aerosoly v české legislativě označují jako tuhé znečišťující látky (TZL), v zahraniční literatuře pak jako Total Suspended Particulates (TSP).

Účinnost [-; %] – Bezrozměrná fyzikální veličina udávající poměr mezi získanou požadovanou transformovanou energií na výstupu ze systému, a veškerou vstupní energií do systému. Vždy je nutné vhodně určit hranice systému. Zjednodušeně lze účinnost považovat za poměr mezi tepelným výkonem a příkonem. V případě spalovacích zařízení se jedná o poměr mezi vyrobeným teplem a přivedenou chemickou energií v palivu (výhřevností).

Výhřevnost [MJ/kg; kJ/kg] – Energie uvolněná při spálení jedné jednotky látky (paliva), přičemž vodní pára vzniklá spálením vodíku a vypařením vody nezkondenzuje. Skutečná hodnota se vypočítává ze spalného tepla.

Výměník tepla – Terciární energetické zařízení sloužící k přenosu tepla mezi dvěma médii, podle kterých jsou výměníky označovány, jako např. „spaliny – voda“ nebo „voda – voda“. V oblasti spalovacích stacionárních zdrojů do příkonu 300 kW spalujících pevná paliva může výměník tvořit samotnou konstrukci zařízení (stěny, strop).

1 Vytápění pevnými palivy

Při stavbě či rekonstrukci domu, či bytu je jednou z nejdůležitějších oblastí způsob zajištění potřebné dodávky tepla pro udržení komfortní teploty vnitřního prostředí a pro přípravu teplé vody. Způsobů, jak vytápět vnitřní prostory je nepřeberné množství a nelze souhrnně říct, který je nejlepší. Při jeho výběru je nutné zvážit všechny vstupní podmínky a priority uživatele. Přibližně 20 % českých domácností primárně využívá spalování pevných paliv v teplovodním kotli. Jedná se tedy o více než 600 000 kotlů, které se významně podílí na znečištění ovzduší v období topné sezóny. Počet domácností v ČR, které využívají k vytápění spalování pevných paliv jako sekundární zdroj např. i v lokálních topidlech není dokonale zmapovaný.

1.1 Potřeba a spotřeba energií v domácnostech (zdroje energie)

Domácnost/domov/obydlí je možno z energetického pohledu hodnotit jako otevřenou soustavu, do které vstupují a vystupují různé energetické toky. Tyto energie slouží v domácnosti k nejrůznějším účelům se společným cílem, kterým je zajištění požadované kvality života. Je velmi důležité si uvědomit, že se člověk doposud nenaučil žádnou energii vyrobit. Lidé umí energii pouze transformovat. K transformaci energií slouží tzv. energetická zařízení, mezi která patří např. teplárna (transformace chemické energie paliva na teplo a elektrickou energii), spalovací turbína (transformace chemické energie paliva na kinetickou energii), nebo větrná turbína (transformace kinetické energie větru na mechanickou energii). Podobná energetická zařízení se vyskytují i v našich domácnostech pod zaběhlým označením: spotřebiče. Jako příklady mohou být uvedeny např. mixér (transformace elektrické energie na mechanickou energii), vysavač (transformace elektrické energie na kinetickou energii vzduchu), nebo rychlovarná konvice (transformace elektrické energie na energii vnitřní - teplo vody). V uvedených příkladech jsou zmíněny pouze vstupní a hlavní výstupní druhy energie, přičemž mnohdy je proces velmi složitý a skládá se z mnoha dílčích kroků a mezistupňů spojených s jinými druhy energií a se ztrátami.

Za ztrátovou je v energetice považovaná taková energie, která již nemůže být využita. Na ztráty lze nahlížet různými úhly pohledu. Jako příklad lze uvést zastaralou wolframovou žárovku. Jen část vstupní elektrické energie je transformovaná na zářivou energii, která je po žárovce jako energetickém zařízení primárně požadována. Zbývá část elektrické energie je transformována na teplo, které je odváděno do okolí, čímž dochází k ohřevu

vzduchu. Je na každém, aby zvážil svůj pohled na vzniklou situaci a odpověděl si na následující otázky:

- Kolik mě stojí teplo primárním zdrojem vytápění a je pro mě teplo z žárovky drahé?
- Je vhodné vytápět vždy, když svítím?
- Je vhodné vytápět vzduch v oblasti umístění žárovky (pod stropem nebo např. při její instalaci ve venkovním prostředí)?

Nultá věta termodynamická:

Uvažujme dvě tělesa (systémy), A a B, která jsou ve vzájemném tepelném kontaktu a jsou od okolního světa oddělena tepelně neprůchodnými stěnami. Uvedeme-li tato tělesa do tepelného kontaktu, nastane jeden ze tří případů.

- Teplo samovolně přechází z tělesa A na těleso B. Pak říkáme, že teplota tělesa A je vyšší než teplota tělesa B.
- Teplo samovolně přechází z tělesa B na těleso A. Pak říkáme, že teplota tělesa B je vyšší než teplota tělesa A.
- Nedochozí k žádnému toku tepla. Pak říkáme, že obě tělesa mají stejnou teplotu.

Na základě zvážení okolností lze jednoduše zhodnotit zda-li je teplo energetická ztráta nebo ne, od čehož se odvíjí zhodnocení účinnosti žárovky jako energetického zařízení. Podobný postup lze aplikovat na různé situace a různé soustavy.

Potřebu a hodnotu jednotlivých druhů vstupujících energií do otevřené soustavy domácnosti je možné pozorovat celoročně, avšak v období pravidelného ročního vyúčtování přijdou na zřetel nejvíce. Důvodem je přepočtení zdánlivě těžko pochopitelných jednotek, jako jsou MW, kW, MJ, nebo m³, na všem blízké koruny (popř. dolary, eura nebo jiná měna).

Finanční náklady vynaložené za vytápění tvořily a stále tvoří významnou část rodinného rozpočtu. Míra zatížení rodinného rozpočtu náklady spojenými s vytápěním se v poslední době významně mění s trendy jako jsou snižování tepelných ztrát již existujících domů, výstavba domů s velmi nízkou potřebou tepla, čím dál častější využívání chlazení domácností v letních obdobích, osvěta obyvatel spojená s hospodárným využitím energií. Velkou váhu na celkové částce vynaložené za vytápění má volba zařízení, které je k tomuto účelu určeno. Výše uvedené technologické trendy jsou jednou stranou mince. Opačnou stranou mince je politická situace popř. politická

nálada, která může různými opatřeními a vlivy vnést nestabilitu do energetického trhu.

1.2 Způsoby vytápění a přípravy teplé vody

Zařízení určená k vytápění domácností často slouží i k přípravě teplé vody, čímž mohou být významně sníženy celkové náklady na tuto položku rozpočtu. Z tohoto důvodu bylo toto sekundární využití zdrojů tepla v aktuální kapitole významně zmiňováno.

1.2.1 Centrální zásobování teplem

Centrální zásobování teplem je uživatelsky nejjednodušší způsob vytápění, který je v ČR velmi rozšířený. Tento systém je využíván především v městských oblastech s hustým osídlením. Hlavním prvkem je výtopna nebo teplárna. V obou typech zařízení zpravidla dochází k transformaci chemické energie paliva na teplo. To je pak distribuováno pomocí teplotnosného média (voda nebo pára) horkovodní, popř. parní soustavou do výměníků tepla, které jsou umístěny v blízkosti spotřebitelů (domácností). Výměňkové stanice jsou rovněž energetická zařízení (tzv. terciárního typu), u kterých dochází k transformaci z určitého typu energie na stejný typ energie, avšak parametry na vstupu a na výstupu jsou odlišné. Mezi výměňkovou stanicí a domácnostmi je utvořen samostatný uzavřený okruh teplotnosného média, kdy dochází k cílenému přenosu tepla z otopných těles do okolí. Výměňkové stanice zároveň slouží pro přípravu teplé vody.

Spalovací stacionární zdroj, který je srdcem tohoto systému se od spalovacích stacionárních zdrojů do příkonu 300 kW využíváných v domácnostech zpravidla odlišuje instalovaným jmenovitým tepelným výkonem, který je mnohonásobně vyšší. Spalovací stacionární zdroj pro centrální zásobování teplem je obsluhován proškolenou osobou nebo osobami, které řeší případné nestandardní stavy a starají se o jeho správný chod. Tato zařízení jsou pravidelně kontrolována a musí splňovat přísné limity (přísnější než u spalovacích stacionárních zdrojů do příkonu 300 kW) omezující tok znečišťujících látek ve spalínách do ovzduší. Vzhledem k vhodnosti umístění teplárny či výtopny co nejbližše domácnostem, je velmi vhodné v takových zařízeních spalovat komunální odpad, který je v těchto domácnostech produkován. V závislosti na jeho složení se může jednat o velmi výhřevnou směs vhodnou pro energetické využití (pouze v zařízení k tomu určenému). V takovém případě jsou hmotnostní koncentrace znečišťujících látek kontrolovány ještě intenzivněji než u konvenčních paliv a zařízení pro jejich snížení jsou na nejvyšší možné technologické úrovni.

Pouze takto lze dosáhnout správného a bezpečného termického využití odpadu. Např. přímo v katastru Vídně se nacházejí 3 spalovny odpadu a jedna průmyslová spalovna. V ČR se nacházejí celkem 4 spalovny komunálního odpadu fungující jako teplárny s distribucí tepla. Zbylé teplárny a výtopy jsou založeny na spalování konvenčních paliv.

Roční vyúčtování za dodanou energii je vystavováno na základě údajů z odečtů jednotek z indikátorů topných nákladů, které jsou umístěny na každém otopném tělese. Toto zařízení funguje na bázi výpočtu poměrné spotřeby tepla pomocí měření teploty povrchu otopného tělesa. Přesnější přístroje zohledňují i teplotu okolního vzduchu.

Dálkové vytápění na Islandu

Island je z hlediska energetiky pozoruhodná země, a to především díky obrovským možnostem využití geotermální energie. Ta je v dnešní době pomocí rozsáhlého distribučního systému dálkového centrálního vytápění rozváděna do cca 85 % všech domácností. Kromě domácností jsou dálkovým vytápěním např. v hlavním městě Reykjavíku vyhřívány i chodníky.

1.2.2 Elektrická energie

Elektrickou energii lze na teplo transformovat několika způsoby, z nichž dva nejpoužívanější budou v této kapitole blíže popsány.

Prvním způsobem využití je přímý ohřev topných těles využívajících efektu zahřívání elektrickým odporem. Teplo je z ohřátého topného tělesa kontinuálně odváděno tak, aby nedošlo k jeho přehřátí. Příkladem této varianty může být např. elektrický topný (odporový) kabel zabudovaný přímo v podlaze, který ji přímo ohřívá nebo topné těleso umístěné ve vodní lázni (zpravidla v zařízení nazývaném jako elektrokotel), ze které je pak voda, působící jako teplotonosné médium, odváděna do otopné soustavy, kde získané teplo odevzdává. Transformace elektrické energie na teplo tímto principem je z pohledu složitosti konstrukce energetického zařízení v porovnání s ostatními transformacemi velmi jednoduchá, což se významně projevuje na nižších pořizovacích nákladech. Naopak provozní náklady se přímo úměrně odvíjí od ceny elektrické energie. Dalšími zástupci této kategorie mohou být např. transportovatelné teplovzdušné ohříváče nebo olejová topná tělesa, která mají zpravidla vnitřní termostatickou regulaci a zapojují se přímo do síťové zásuvky.

Druhým způsobem využití elektrické energie pro ohřev domácnosti je pomocí tepelného čerpadla. Tepelné čerpadlo je zařízení skládající se z účelně

řazených konstrukčních prvků tak, aby mohlo odebírat nízko-potenciální teplo z okolního vzduchu, ze země nebo z vody a následně jej transformovat na teplo o parametrech využitelných pro vytápění domácnosti. Hlavními komponenty tepelných čerpadel jsou kondenzátor, škrtící ventil, výparník a kompresor. Vzhledem ke zvýšené složitosti konstrukce jsou i pořizovací náklady na toto zařízení násobně vyšší než u výše uvedeného principu. Vyšší pořizovací náklady jsou následně vyváženy násobně nižšími provozními náklady, které se odvíjí od způsobu instalace – typu nízko-potenciálního zdroje tepla. Další výhodou tepelných čerpadel je významně levnější příprava teplé vody oproti její přípravě elektrickým odporem, a to především v letních měsících, kdy je teplota nízko-potenciálních zdrojů tepla podstatně vyšší než v zimních měsících.

Do uvedené kategorie vytápění elektrickou energií spadají i tzv. infrapanely emitující záření o vlnové délce 7 – 9 μm zahřívající povrchy, na které záření dopadá.

Společným prvkem všech výše uvedených metod vytápění je závislost na stálé dodávce elektrické energie. Provoz zařízení je z pohledu ekologie závislý na energetickém mixu země (popř. energetickém mixu země, ze které je elektrická energie dovážena), tedy na podílu různých zdrojů elektrické energie, která je pro vytápění na teplo transformována. Aktuálně je výroba elektrické energie v ČR z více než poloviny pokryta spalováním fosilních paliv a z více než 40 % štěpením jádra. Prakticky lze tedy říci, že i přes to, že dům vytápěný elektrickou energií nemusí mít komín (pokud není instalován nějaký sekundární zdroj tepla), má částečně svůj komín v elektrárně, nebo teplárně.

1.2.3 Spalování plynu

Česká republika disponuje velmi rozvinutou sítí rozvodů zemního plynu zahrnující zároveň i řadu podzemních zásobníků, které vyrovnávají rozdíl mezi spotřebou a dodávkou během různých ročních období.

Celkem je v České republice evidováno téměř 3 milióny plynových přípojek, z nichž více než 90 % tvoří domácnosti. Tam může být zemní plyn využíván pro vaření, přípravu teplé vody nebo jako primární, popř. sekundární zdroj tepla.

Aktuálně prodávaná zařízení pro vytápění (popř. kombinované pro vytápění a přípravu teplé vody) se rozlišují do dvou základních kategorií. Jedná se o kotle s atmosférickým hořákem a kondenzační kotle.

Technologicky se oba typy liší v uspořádání základních komponentů (hořák, výměník tepla spaliny – voda) a použitých materiálech. U kondenzačních kotlů je na rozdíl od kotlů s atmosférickým hořákem uspořádání zvoleno tak, aby v průběhu správného provozu kotle záměrně

docházelo ve spalinovém výměníku ke kondenzaci vodní páry obsažené ve spalinách, čímž je odebráno tzv. skupenské teplo. V případě kotlů s atmosférickým hořákem odchází skupenské teplo vzniklé vodní páry ve spalinách komínem, čímž je nevyužito. Odvedením skupenského tepla do teplotního média (otopná voda) může docházet ke zdánlivému nárůstu tepelné účinnosti zdroje nad hodnotu 100 %.

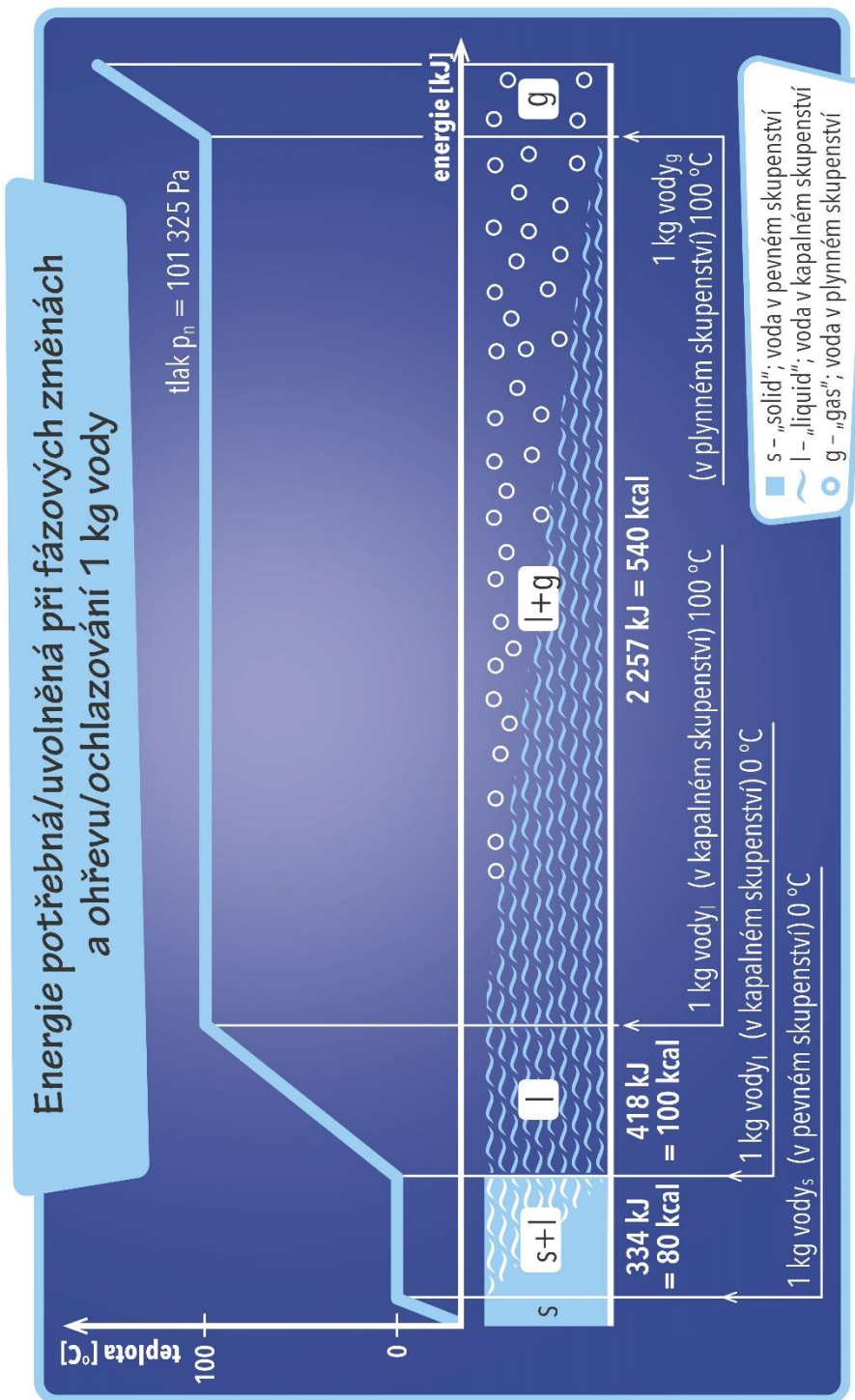
Může mít kondenzační plynový kotel účinnost vyšší, než 100 %?

Pro pochopení této problematiky je potřeba začít v minulosti. Při návrhu a měření plynových kotlů si dříve výrobci nedokázali představit, že by mohla přímo ve spalovacím stacionárním zdroji kondenzovat vodní pára. Ve vzorci pro výpočet účinnosti (která je uváděna na štítku spalovacího stacionárního zdroje) proto dosazovali pro položku „přivedená chemická energie“ výhřevnost paliva (zemního plynu).

$$\text{účinnost} = \frac{\text{odvedené teplo}}{\text{přivedená chemická energie}}$$

Postupem času se situace změnila a díky novým technologiím a materiálům je kondenzace vodní páry ve výměníku možná. Proto by správně v položce „přivedená chemická energie“ mělo nově figurovat spalné teplo. Tímto krokem by však uvedená účinnost byla u kotlů dříve prodaných s atmosférickými hořáky přibližně stejná, jako u kondenzačních kotlů. Technicky správně by tedy bylo přepočítat účinnost u všech doposud vyrobených kotlů s atmosférickým hořákem a zohlednit přivedenou chemickou energii, jako spalné teplo. To však již zpětně není možné, a proto se výrobci uchýlili k ne zcela správnému, nicméně dobře vypovídajícímu řešení, které umožňuje zákazníkům snadnou orientaci mezi výrobky.

V případě kondenzačních plynových kotlů je vhodné správně nastavit teplotu otopné vody na vstupu do kotle. Při nevhodném nastavení může docházet k provozu zařízení mimo kondenzační režim, čímž dochází k energetické ztrátě, zvýšení nákladů za vytápění a nevyužití plného potenciálu kotle. Znázornění energie potřebné/uvolněné při fázových změnách a ohřevu/ochlazení 1 kg vody prezentuje Graf 1.



Graf 1 Energie potřebná/uvolněná při fázových změnách a ohřevu/ochlazení 1 kg vody

Je možné ověřit, že můj kondenzační plynový kotel funguje správně?

Ano, velmi jednoduše. Experiment je vhodné provádět v průběhu topné sezóny. Hadici vedoucí z kotle pro odvod kondenzátu svedte do nádoby (kbelík), místo do odpadu. Odečtěte hodnotu na plynoměru. Jakmile bude v kbelíku pozoruhodné množství kondenzátu (jednotky litrů), ukončete experiment, stanovte množství kondenzátu a znovu odečtěte hodnotu na plynoměru. Teoreticky lze kondenzací spalin vzniklých spálením 1 m³ zemního plynu získat až 1,6 l vody. V běžných podmínkách je perfektní, pokud z kotle vyteče 1 l vody na 1 m³ spáleného zemního plynu. Jestliže vyteče vody podstatně méně, je vhodné začít hledat příčinu.

Výhodou plynových kotlů z hlediska obsluhy je téměř bezúdržbový provoz. Jistou nevýhodou je, že se provozovatel musí spoléhat na pravidelnou dodávku komodity ze strany dodavatele, stejně jako u vytápění elektrickou energií. Při pohledu na standardní ceníky této komodity je zřejmé, že zvyšováním spotřeby klesá cena za MJ popř. za m³. Zákazník může využíváním plynu pro vaření, přípravu teplé vody i vytápění snížit pravidelné náklady. Co se týče nákladů, je rovněž vhodné sledovat aktuální vývoj cen a porovnávat je s aktuálním ceníkem, který náleží k dané smlouvě.

Cca 1 % spotřebovaného plynu v ČR je v ČR i vytěženo. Ložiska se nacházejí především v oblasti jižní Moravy. Zbylá část je dovážena převážně z Norska a Ruska.

1.2.4 Solární kolektory

Solární kolektory jsou primární energetická zařízení, která transformují energii záření slunce na teplo, které je odváděno pomocí teplotnosného média. Dle typu aplikace se může jednat o vodu, nebo o nemrznoucí směs. Solární kolektory je možné rozdělit podle několika kategorií, např.: podle teplotnosné látky, podle typu zasklení, podle tlaku výplně, podle typu a materiálu absorberu, nebo podle konstrukce. Nejjednodušší rozdělení je na 3 typy a to tzv.: nekryté ploché solární kolektory, deskové solární kolektory a trubkové vakuové solární kolektory. Pro přípravu teplé vody v domácnosti jsou v ČR využívány pouze poslední dva zmíněné. Solární kolektory pracují vždy v kombinaci s akumulacním zásobníkem, což je nádoba nebo soustava nádob o objemu nejméně několika set litrů, který vyrovnává časový nesoulad mezi běžným obdobím přísunu tepla a běžným obdobím potřeby tepla.

Solární kolektory se používají zpravidla jako doplňkový tzv. sekundární nebo terciární zdroj tepla pro snížení nákladů na vytápění a přípravu teplé vody, pro prodloužení tzv. komfortního období, kdy není nutné používat

primární zdroj tepla. Při dimenzování instalovaného tepelného výkonu je nutné zhodnotit nejen pořizovací cenu, ale i počet měsíců, kdy by měla instalace pokrýt požadovanou potřebu tepla. Během nejteplejších měsíců pak zpravidla dochází k vyšší než potřebné dodávce tepla, se kterou je nutné v rámci zajištění co nejdelší životnosti zařízení vhodně nakládat (mařit). Vhodným prvkem pro maření tepla může být např. bazén.

Průměrný roční úhrn slunečního záření [kWh/m²]

Hodnota vyjadřující průměrný úhrn solárního záření na jednotku plochy. Vyjadřuje průměrně maximálně možnou využitelnou energii za jeden rok. Tato hodnota se odvíjí především od počtu slunných dnů/hodin v roce. V ČR je to průměrně 1 140 kWh/m². V Severních Čechách, v Jeseníkách a Beskydech je tato hodnota cca 1 060 kWh/m², naopak v oblasti jižní Moravy až 1 220 kWh/m². Pro představu na jihu Španělska dosahuje průměrný roční úhrn slunečního záření až 1 800 kWh/m² a ve Skotsku 800 kWh/m².

1.2.5 Spalování pevných paliv v domácnostech

Spalování biomasy bylo od pradávna pro člověka zdrojem světla a zdrojem tepla – pro přípravu jídla, pro přípravu teplé vody a ohřev okolního vzduchu. Postupem času se technickým vývojem dostalo lidstvo od otevřeného ohniště, přes otevřený krb až k velmi sofistikovaným spalovacím stacionárním zdrojům dokonale kontrolujícím všechny parametry spalovacího procesu v širokém spektru tepelných výkonů. Ruku v ruce s tímto vývojem došlo k výraznému navýšení tepelné účinnosti spalovacích stacionárních zdrojů a výraznému snížení hmotnostní koncentrace znečišťujících látek obsažených ve spalinách.

Vývoj se netýkal pouze samotných spalovacích stacionárních zdrojů, ale i paliva. Kromě biomasy v surové podobě (polena) se dnes velmi často setkáváme s lisovanou biomasou (dřevní brikety a pelety), které skýtají řadu výhod týkajících se dopravy, skladování a kontroly spalovacího procesu. Rovněž byly vyvinuty spalovací stacionární zdroje do příkonu 300 kW, které umožňují správné spálení (bezpečné a bez zvýšeného vlivu na životní prostředí) dřevního odpadu jako např. piliny nebo štěpka. Zároveň je nutné zmínit spalování uhlí ve spalovacích stacionárních zdrojích do příkonu 300 kW, které je navzdory výraznému evropskému trendu odklonu od jeho využívání, v ČR stále velmi populární. Díky porovnatelným požadovaným hodnotám z pohledu složení spalin na výstupu ze spalovacího stacionárního zdroje je jedinou nevýhodou uhlí při spalování v moderních zdrojích

hmotnostní zlomek síry v něm obsažený. Síru nelze z paliva jednoduše odstranit a tak spalování uhlí vždy provází specifický zápach oxidu siřičitého.

Nové, velmi sofistikované spalovací stacionární zdroje do příkonu 300 kW vyžadují, aby do nich neznalý člověk prováděl co možná nejméně zásahů. Ta starší pak vyžadují, pro dosažení nejlepších výsledků, precizní zacházení. Samostatnou kapitolou je údržba spalovacího stacionárního zdroje do příkonu 300 kW, kterou není možné zanedbat.

Pro jednodušší orientaci v textu budou využívány termíny kotel a kamna pro různé typy spalovacích stacionárních zdrojů do příkonu 300 kW. Objasnění těchto pojmů je uvedeno v rejstříku pojmů.

Podstatou spalovacího procesu je hoření paliva, jedná se o jev, při kterém hoří palivo (obsahující chemicky vázanou energii) za vývinu tepla (energie vnitřní) a světla (plamen, žhavé uhlíky – zářivá energie). Aktivní hořlavina paliva (C, H, S) reaguje se vzdušným kyslíkem (O_2). Protože je tato reakce doprovázena uvolňováním tepla, nazýváme jí exotermní, spaliny (produkty spalování) mají vysokou teplotu. Teplo spalin je využíváno pro potřeby vytápění, přípravu teplé vody nebo vaření. K oxidačním reakcím dochází při všech teplotách, přičemž její hodnota určuje rychlost reakce (čím vyšší teplota, tím vyšší rychlost reakce), o hoření hovoříme tehdy, pokud je reakce doprovázena světelným efektem, např. plamenem (teplota spalin dosáhne spektra viditelného pro lidské oko). Pokud je rychlost reakce vyšší než rychlost zvuku, hovoříme o výbuchu, ale jedná se také o hoření. Vybuchnout může i prach (uhelný, mouka apod.), ale z výše uvedeného je zřejmé, že pokud ve zviřeném prachu nebude hořlavina, prach nevybuchne, protože v něm nemá co hořet a nemá se z čeho uvolnit energie (jeden ze způsobů protivýbuchových opatření pracuje na principu rozprašování inertního prachu).

Problematika spalování pevných paliv ve spalovacích stacionárních zdrojích je velmi rozsáhlá oblast, které bude věnován zbytek této učebnice.

1.2.6 Kombinace různých způsobů vytápění

Domácnosti v ČR jsou specifické uchováváním možnosti změny způsobu vytápění, popř. přípravy teplé vody. V praxi to vypadá tak, že se nespolehají pouze na jeden zdroj, nýbrž mají nainstalovanou kombinaci několika zdrojů. Tento přístup může vést ke snížení nákladů na vytápění jednoduchým přeorientováním se dle situace na trhu. Při dlouhodobém odstavení jednoho ze zdrojů může dojít k paradoxnímu navýšení nákladů nutnou údržbou, pravidelnou kontrolou revizním technikem, pravidelnou kontrolou spalinových cest, popř. závadou způsobenou dlouhodobou odstávkou.

V krajním případě se může stát, že sekundární/záložní zdroj tepla nebude v době jeho potřeby fungovat.

1.3 Významné vlivy působící na kvalitu spalovacího procesu

Spalovací proces je název zahrnující pestrou škálu chemických reakcí, probíhajících ve spalovací komoře, jejichž kýženým výsledkem pro uživatele spalovacího stacionárního zdroje je tepelná energie. Zároveň dochází k emitování spalin obsahujících celou škálu látek, které jsou označovány jako znečišťující (se škodlivým vlivem na životní prostředí, se škodlivým vlivem na lidský organismus nebo se škodlivým vlivem na obojí). Kvalitu spalovacího procesu je možné ovlivnit čtyřmi různými vstupními parametry.

1.3.1 Typ spalovacího stacionárního zdroje

Pro většinu uživatelů je spalovací stacionární zdroj jen krabice – černá skříňka, do které je jedním otvorem vkládáno palivo a jiným se vybírá popel. V případě, že starý kotel či kamna doslouží, často zákazník jen ví, nebo tuší, z jakého materiálu by měl být jeho nový kotel vyroben (např. z litiny), což je často dáno pouze zkušeností s minulým kotlem, ale nemá žádnou představu o tom, že existuje více typů spalovacích stacionárních zdrojů. Právě typ (konstrukční uspořádání) spalovacího stacionárního zdroje zásadním způsobem ovlivňuje kvalitu spalovacího procesu. Před nákupem nového spalovacího stacionárního zdroje je nutné důkladně zvážit následující parametry: typ, tepelný výkon, rozměry, používané palivo a způsob přikládání paliva. Správná volba těchto parametrů je prvním krokem pro uspokojivý provoz zařízení.

Základní rozdělení spalovacích stacionárních zdrojů do příkonu 300 kW založené na rozdílném způsobu dopravy paliva je uvedeno v kapitole 1.4.

1.3.2 Kvalita paliva

Palivo je látka, která hoří. Hoření je jiný název pro oxidační chemickou reakci, kdy některé prvky v palivu reagují s kyslíkem. Při procesu hoření se uvolňuje teplo, které je následně ve spalovacích stacionárních zdrojích do příkonu 300 kW účelně využíváno pro zajištění tepelného komfortu, přípravu teplé vody či vaření. Palivo se skládá z hořlaviny (h) a balastu. Hořlavina je ta část, která je v palivu z pohledu energetika vítána, protože je nositelem energie. Balastem nazýváme tu část paliva, která je v palivu obsažena, ale nepřináší žádný energetický zisk, hovoříme o vodě (W) a popelovině (A). Se snižujícím se hmotnostním zlomkem vody a popeloviny v palivu se zvyšuje

jeho kvalita, snáze a účinněji se spaluje a obsahuje více energie. Snížení hmotnostního zlomku popeloviny v palivu může mít významný vliv na snížení hmotnostní koncentrace TZL ve spalinách a zároveň může snížit náročnost údržby spalovacího stacionárního zdroje (odpopelnění – pevný zbytek po spálení nazýváme popelem).

Každý spalovací stacionární zdroj byl navržen pro předepsané palivo. Při používání předepsaného paliva je možné dosáhnout parametrů, které uvádí výrobce. Naopak při používání jiného paliva je velmi pravděpodobné, že dojde ke zhoršení parametrů spalovacího stacionárního zdroje nebo také ke snížení jeho životnosti. V návodech k obsluze spalovacího stacionárního zdroje je toto předepsané palivo vždy jasně uvedeno. Např. v českých domácnostech je často rozšířené spalování hnědého uhlí v prohořivacích kotlích, což není v souladu s pokyny výrobce. Prohořivací kotle byly zpravidla certifikovány např. pro koks, nebo černé uhlí. Zároveň žádný teplovodní kotel, kamna ani sporák nebyl certifikován/posuzován pro spalování uhelných kalů (šlam) či dokonce odpadků.

Dalším důležitým parametrem je charakteristický rozměr (granulometrie) paliva. Pokud hovoříme o uhlí, do spalovacích stacionárních zdrojů do příkonu 300 kW patří tříděné uhlí, které obsahuje jen minimální množství prachových – jemných částic. Se zvyšujícím se obsahem této jemné složky se zhoršuje kvalita spalování a také se zmenšuje účinnost provozu (prachové uhlí propadne roštem do popelníku, takže neshoří a tím zvýší ztrátu hořlavinou v popelu). Při spalování biomasy je nejdůležitějším parametrem hmotnostní zlomek vody v palivu neboli jeho **vlhkost**. Při spalování dobře vysušeného dřeva (1 – 2 roky, v závislosti na podmínkách sušení) dochází ke snížení nákladů za vytápění, k šetrnějšímu provozu ke spalovacímu stacionárnímu zdroji a ke snížení hmotnostních koncentrací znečišťujících látek ve spalinách.

Samostatnou kapitolou je problematika spalování odpadů.

Má tvrdé dřevo vyšší výhřevnost než měkké dřevo?

Ne. Výhřevnost tvrdého i měkkého dřeva je přibližně stejná. Jednotka výhřevnosti je MJ/kg, což znamená, že se jedná o energii vztahenou na hmotnost paliva. Tvrdé dřevo (např. suchý buk cca 670 kg/m³) má vyšší hustotu oproti měkkému dřevu (např. suchý smrk cca 455 kg/m³). Při porovnání dvou stejně velkých špalků buku a smrku je bukový těžší, a proto je v něm více energie.

1.3.3 Kvalita/znalost obsluhy

Obsluha spalovacího stacionárního zdroje do příkonu 300 kW může ovlivnit především množství přivedeného spalovacího vzduchu (nastavení klapek, otevření dvířek) a množství přiloženého paliva. Poměr mezi těmito parametry souvisí s přebytkem spalovacího vzduchu, který má výrazný vliv na kvalitu spalování.

Pro správné spálení jednoho kilogramu pevného paliva je potřeba cca 10 m³ vzduchu. Při tepelném výkonu krbových kamen cca 10 kW je spotřeba dobře vysušeného dřeva cca 3 kg/h, takže potřeba vzduchu je kolem 30 m³/h. Při nedostatečném přívodu vzduchu (uzavření všech klapek v kombinaci s těsným spalovacím stacionárním zdrojem) dochází k nedokonalému spalování, které je provázeno nadměrnou tvorbou CO, organických polutantů včetně karcinogenních PAU a sazí. Lépe je přikládat častěji menší dávku paliva, a až po rozhoření paliva začít s omezováním přívodu vzduchu. Touto činností je obsluha spalovacího stacionárního zdroje schopna naprosto dominantně ovlivnit tvorbu znečišťujících látek. Tzv. **dušením**, tedy omezením přístupu spalovacího vzduchu za účelem prodloužení spalovací periody (např. večer před nocí) dochází vlivem nedostatku spalovacího vzduchu k dramatickému snížení kvality spalovacího procesu, což má za následek zvýšení tvorby znečišťujících látek a zvýšení ztráty způsobené nedopalem plynných zbytků.

Vývoj nových (moderních) kotlů je směřován k omezení vlivu obsluhy. U zplyňovacích a automatických kotlů se stav posunul do situace, kdy je zásah obsluhy do nastavení kotle nežádoucí. Při neodborném zásahu může docházet k nedokonalému spalovacímu procesu, se všemi nevýhodami a nebezpečími s tímto stavem spojenými.

1.3.4 Míra údržby a způsob instalace

Spalovací stacionární zdroj je stroj, kterému je nutné věnovat péči. Zároveň je nutné si uvědomit, že stejně jako většina dalších strojů, i spalovací stacionární zdroj do příkonu 300 kW pracuje nejlépe při jmenovitých podmínkách. U veřejnosti stále panuje mýtus, že čím větší instalovaný tepelný výkon, tím je spalovací stacionární zdroj pro dům vhodnější. Během topné sezóny se dle venkovní teploty výrazně mění požadavek na potřebný tepelný výkon. U spalovacích stacionárních zdrojů s ruční příkládkou pevného paliva platí, že pokud pracuje na nižší než jmenovitý tepelný výkon, jeho účinnost se snižuje a hmotnostní koncentrace znečišťujících látek ve spalinách se zvyšují. Proto je třeba při výběru spalovacího stacionárního zdroje správně navrhnout jeho výkonovou úroveň. Prodloužit dobu, kdy spalovací stacionární zdroj

pracuje při jmenovitých podmínkách, je například možné instalací **akumulační nádoby**, která slouží jako zásobník pro uskladnění vyrobeného tepla (akumulační nádobu je možné přirovnat k baterii). Samostatnou otázkou, která je spojena se zmíněnou problematikou, je teplota vratné vody do kotle, která ovlivňuje životnost kotle (studená zpátečka = dehtování, koroze).

U automatických kotlů a kamen je po dosažení požadované teploty v místnosti možné tepelný výkon regulovat velmi snadno (přívod paliva se zpomalí nebo zastaví), což se nedá říci o spalovacích stacionárních zdrojích s ruční jednorázovou dopravou paliva. V této situaci je již hořící palivo např. v kotli či kamnech a není možné jej přemístit jinam. V takovém případě je nutné výrazně omezit přísun spalovacího vzduchu, což je provázeno značným zhoršením kvality spalovacího procesu (např. hmotnostní koncentrace CO může vzrůst až o dva řády).

Údržba spalovacího stacionárního zdroje do příkonu 300 kW souvisí především s těmito činnostmi:

- Čištění teplosměnných ploch (výměníku) – pokud je výměník zanesen, výrazně se snižuje tepelná účinnost spalovacího stacionárního zdroje = zvyšuje se množství tepla, které odejde komínem = komínová ztráta. Usazeniny na teplosměnné ploše fungují jako izolace, která zabraňuje přenosu tepla ze spalin do teplotního média. Při dlouhodobém zanášení výměníku může docházet ke zvyšování tlakové ztráty, což může omezit, nebo i zastavit provoz spalovacího stacionárního zdroje.
- Čištění spalinových cest – spalinové cesty slouží k bezpečnému odvodu spalin, a pokud nejsou v pořádku, negativně ovlivňují kvalitu provozu. V krajním případě mohou ohrozit i bezpečnost provozu. Příliš velký nebo příliš malý tah komína není vhodný, důležitý je optimální tah dle požadavku výrobce spalovacího stacionárního zdroje. Existuje rozšířený názor, že čím je komín vyšší a širší, tím je lepší. Je pravda, že tah komínu bude v takovém případě vyšší, ale není pravda, že je to vždy lepší. U většiny spalovacích stacionárních zdrojů vysoký tah způsobuje vyšší komínovou ztrátu, a tedy i nižší tepelnou účinnost (nejjednodušší řešení vysokého tahu nabízí použití komínové klapky přímo za kamny či kotlem, někdy je přímo jejich součástí). Komín a spalinová cesta musejí být dle zákona pravidelně čištěny a způsobitou osobou revidovány. Na základě revize způsobila osoba následně vystaví zprávu o kontrole.
- Odstraňování popela, čištění ohniště, čištění skla.

Co má společného kotel a automobil?

V otázce údržby mají tyto dva stroje společného mnoho. V dvouletých (automobil)/tříletých (kotel) intervalech je pro oba stroje nezbytná kontrola pověřenou osobou. Tyto kontroly slouží k odhalení případných vad, které mohou být nebezpečné pro provozovatele či okolí. Pravidelnou výměnu oleje jako činnost nutnou pro zajištění správné funkce motoru je možné přirovnat k pravidelnému čištění teplosměnných ploch. Jmenovitý tepelný výkon kotle můžeme přirovnat k ideálním otáčkám motoru, při kterých má automobil optimální poměr výkonu a spotřeby paliva. Přetápění je možné přirovnat k přetáčení motoru a nízký tepelný výkon k podtáčení.

1.4 Typy spalovacích stacionárních zdrojů do příkonu 300 kW určených pro spalování pevných paliv

Zjednodušeně je možné říci, že existují čtyři základní typy teplovodních kotlů pro vytápění domácností. Tyto typy se mezi sebou liší konstrukcí a uspořádáním jednotlivých částí.

1.4.1 Prohořivací kotel

Palivo je v tomto typu kotle přikládáno na hořící základní vrstvu. Primární spalovací vzduch přichází k základní vrstvě zespodu, přes rošt, na kterém základní vrstva leží a následně, společně se vzniklými spalinami, prochází celou vrstvou paliva. Částečná regulace výkonu probíhá termostatickým regulátorem tahu (ovládání klapky přívodu primárního spalovacího vzduchu). Komínový tah výrazně ovlivňuje spalovací proces. Konstrukce kotlů tohoto typu byla tradičně převážně litinová, přičemž kotle byly navrhovány pro paliva s malým hmotnostním zlomkem prchavé hořlaviny, tedy např. koks. Jedná se o nejstarší a také nejjednodušší konstrukci kotle, což je doprovázeno nižší účinností transformace chemické energie paliva na tepelnou energii a vyšší produkcí znečišťujících látek v porovnání s novějšími typy kotlů. Průběh spalování je u tohoto typu kotle periodický. Kolísání výkonu v průběhu periody způsobuje kolísání teploty otopné vody až o 50 °C (pokud to není regulačně ošetřeno). Pro plynulejší chod kotle je vhodné přikládat menší dávky paliva v pravidelných, krátkých intervalech (např. 30 min), což není uživatelsky přívětivé. Tato konstrukce je s mírnými modifikacemi využívána u krbových kamen. Řez prohořivacím kotlem je uveden na Obr. 1.



Obr. 1 Funkční schéma prohořivacího kotle

1.4.2 Odhořivací kotel

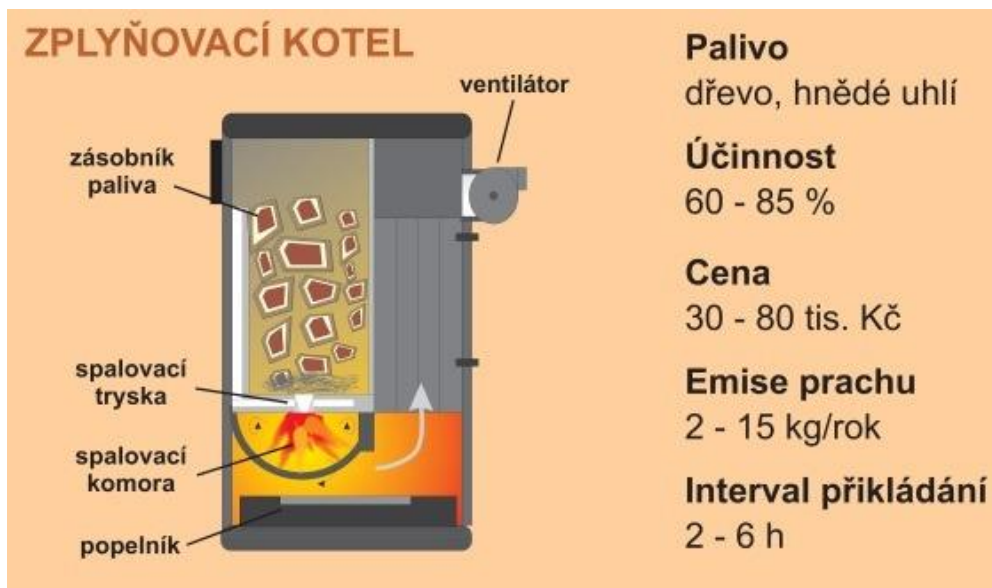
Druhým typem kotle je kotel odhořivací. Jedná se rovněž o spalovací stacionární zdroj s ruční příkládkou paliva, jehož konstrukce neumožňuje procházení spalin a spalovacího vzduchu celou vrstvou paliva, ale jen její menší částí (palivo leží na roštu). Z paliva, umístěného v násypce, je postupně uvolňována prchavá hořlavina, která odchází do spalovací komory, což napomáhá jejímu kvalitnějšímu vyhoření ve srovnání s výše uvedeným prohořivacím kotlem. Plamen ze spalovací komory směřuje do zadní části kotle. Průběh spalování je u tohoto typu kotle plynulejší, než u kotle prohořivacího, díky postupnému sesypávání paliva na rošt, kde dochází k samotnému hoření. Interval příkládání je podobný jako u prohořivacích kotlů. Částečná regulace výkonu probíhá termostatickým regulátorem tahu (ovládání klapky přívodu primárního spalovacího vzduchu). Komínový tah výrazně ovlivňuje spalovací proces. Řez odhořivacím kotlem je na Obr. 2.



Obr. 2 Funkční schéma odhořivacího kotle

1.4.3 Zplyňovací kotel

Nejmodernější způsob spalování kusového dřeva nabízí zplyňovací (někdy také nazývaný jako: pyrolyzní, dřevozplyňující, pyrolytický) kotel (malá část těchto kotlů umožňuje spalování uhlí). Na rozdíl od výše uvedených kotlů tento typ kotle převádí problematiku spalování pevných paliv na problematiku spalování plynu. V zásobníku paliva kotle dochází k uvolňování prchavé hořlaviny (hmotnostní zlomek prchavé hořlaviny v suchém dřevu je cca 70 %). Uvolněná prchavá hořlavina prochází skrz trysku do spalovací komory. Spalovací vzduch je většinou přiváděn do trysky i do zásobníku paliva nuceně pomocí spalínového ventilátoru (poměrné množství vzduchu jdoucí do trysky a do zásobníku paliva lze měnit). Tento konstrukční prvek zmenšuje vliv komínového tahu na kvalitu spalování. Interval příkládání je stejně jako u ostatních kotlů dán objemem zásobníku paliva, mírou jeho naplnění a vlastnostmi paliva (např. výhřevností, spalným teplem nebo tvarem jednotlivých kusů paliva). Míra přeměny energie paliva na teplo je u tohoto kotle vyšší (rovnoměrnější průběh spalovací periody) než u výše zmiňovaných kotlů, proto při stejné dávce paliva bude vyrobeno větší množství tepla. Řez zplyňovacím kotlem je vyobrazen na Obr. 3.



Obr. 3 Funkční schéma zplyňovacího kotle

1.4.4 Automatický kotel

Pokud je tento kotel správně provozován, jedná se o uživatelsky nejkomfortnější a nejekologičtější spalovací stacionární zdroj pro spalování pevných paliv. Tyto výhody jsou doprovázeny složitějším technickým řešením a vyšší pořizovací cenou. Jedná se o spalovací stacionární zdroj, u nichž je zásobník paliva, na rozdíl od výše uvedených typů kotlů, umístěn mimo těleso kotle. Dopravník (šnek, skluz apod.) dodává do hořáku pouze potřebné množství paliva, což má pozitivní dopad na provozní parametry kotle (hmotnostní koncentrace znečišťujících látek ve spalinách, účinnost, životnost). Výsledný interval doplňování paliva do zásobníku je závislý na jeho objemu, potřebě tepla, typu a výhřevnosti paliva. Standardní zásobníky, které jsou součástí kotle, mají objem, který při běžném provozu vyžaduje příkládání cca v intervalu 1 až 10 dní. Periodu příkládání paliva je možno prodloužit instalací externího zásobníku paliva s dalším podavačem, který umožní prodloužit čas dosypávání paliva až na několik měsíců (používané zejména u kotlů na dřevní pelety nebo štěpku). Perioda vysypávání popela je závislá především na hmotnostním zlomku popeloviny v palivu. Norma ČSN EN 303-5 stanovuje, že objem popelníku musí zajistit provoz kotle v délce min. 12 h při jmenovitém výkonu, bez nutnosti odpopelnění (platí pro všechny typy kotlů). Dřevní pelety obsahují řádově méně popeloviny (cca 0,5 %) než uhlí (cca 10 %), proto se interval odpopelnění prodlužuje (cca jednou za měsíc). Některé automatické kotle nabízejí možnost rozšíření o systém samočinného odpopelnění do externího zásobníku popela (další

investiční náklady), což prodlužuje periodu nutné obsluhy na delší časový interval (několik měsíců až rok). V ČR je v automatických kotlích spalováno zejména hnědé uhlí (ořech 2) a pelety (většinou dřevní, splňující standard A1). Černé uhlí a štěpka jsou pro dané výkony používány omezeně. Řez automatickým kotlem je na Obr. 4.



Obr. 4 Funkční schéma automatického kotle

1.4.5 Přestavby starých kotlů

Řada výrobců hořáků a kotlů nabízí pro některé typy starších kotlů možnost přestavby na kotel automatický. Děje se tak pomocí univerzálních hořáků, které jsou instalovány buďto do dvířek kotle, nebo pod něj. Po takovéto úpravě se spalovací stacionární zdroj může zařadit do vyšší třídy dle ČSN EN 303–5 (pouze po posouzení autorizovanou osobou – zajišťuje výrobce přestavbové sady), což například může majiteli umožnit provoz staršího kotle i po zákazu jeho používání zákonem a zároveň komfort jeho užívání dosáhne komfortu užívání automatického kotle. Investice do takové přestavby je přibližně třetinová oproti pořízení nového kotle. Nutno podotknout, že takto zrekonstruovaný starý kotel zpravidla nedosahuje parametrů jako kotel nový, kdy je vyvíjeno kotlové těleso a hořák společně.

1.5 Prvky ovlivňující míru komfortu provozu spalovacích stacionárních zdrojů do příkonu 300 kW určených pro spalování pevných paliv

Při volbě spalovacího stacionárního zdroje pro vytápění domácnosti je jedním z nejdůležitějších parametrů komfort. Komfortem je z hlediska vytápění spalováním pevných paliv myšlena především četnost nutných

provozních zásahů do spalovacího stacionárního zdroje za jednotku času. Nejdůležitějším a nejčastějším zásahem do chodu kotle je přikládání dávky paliva (vyprázdnění popelníku může být považováno za zásah, který je možné provést při přiložení, popřípadě dosypání paliva).

Četnost přiložení úzce souvisí s konstrukčním typem spalovacího stacionárního zdroje do příkonu 300 kW, hmotností dávky paliva, typem paliva, které je do kotle přikládáno a v neposlední řadě také s kvalitou obsluhy, nebo lépe řečeno s nastavením kotle.

V případě kotlů s ruční příkládkou paliva jsou intervaly mezi přiložením velmi podobné. Nejvíce ovlivňujícími faktory jsou objem zásobníku paliva, násypky paliva či spalovací komory a vlastnosti paliva (za předpokladu stejné účinnosti kotle). Jednoduše, čím více hmotnosti paliva je dodáno, tím by měla být teoreticky perioda mezi přiloženími delší (při udržování stejného výkonu). To však například u prohořivacího kotle není dost dobře možné z důvodů špatných regulačních vlastností, které byly popsány v kapitole 1.4.1. Toto tvrzení rovněž ovlivňuje hmotnostní zlomek prchavé hořlaviny v palivu. Čím vyšší je hmotnostní zlomek prchavé hořlaviny v palivu, tím se palivo snadněji zapaluje a také je nutné jej přikládat po menších dávkách. Při zahřívání paliva se uvolňuje plyn, jehož produkce je závislá na množství a teplotě ohřívání paliva. Cílem je při spalování vytvořit v maximální míře konstantní množství vznikající prchavé hořlaviny, smíchat ji se správným množstvím vzduchu a spálit. Paliva s malým obsahem prchavé hořlaviny (např. koks) je možné přiložit velkou dávkou najednou. Při zahřívání tohoto paliva dochází k malému vývinu hořlavých plynů a rychlost hoření je pak možné řídit přiváděním oksyličovadla (vzduchu).

Dalším ovlivňujícím faktorem je výhřevnost paliva, vynásobena jeho hustotou. Čím je výsledná hodnota vyšší, tím více chemické energie je možné, v podobě paliva, do kotle na jednu dávku naložit. Jednoduše řečeno by pak délka periody mezi přiloženími, při zachování stejného výkonu, měla být delší.

Přiložená dávka paliva obsahuje chemicky vázanou energii v MJ, která je dána součinem výhřevnosti daného paliva v MJ/kg a jeho hmotnosti v kg. Přivedené množství energie za čas představuje příkon kotle.

$$P_{in} = \frac{Q}{t} \quad \left[kW = \frac{MJ}{h \cdot 3,6} \right]$$

P_{in}	příkon [kW]
Q	chemicky vázaná energie paliva dodaná do kotle [MJ]
t	čas [h]

1.5.1 Modelový příklad množství energie v jedné dávce paliva do kotle

Objem zásobníku paliva modelového zplyňovacího kotle je $V_n = 80 \text{ dm}^3$. Délka je $l = 38 \text{ cm}$, a maximální délka polena je dle pokynů výrobce $l_p = 33 \text{ cm}$. Jmenovitý výkon tohoto kotle je $P = 25 \text{ kW}$ při účinnosti $\eta = 84 \%$. Do kotle je přikládáno bukové dřevo (2 roky sušené) o hmotnostním zlomku vody 14% , a to tak, že celkový objem zásobníku paliva je zaplněn ze $2/3$ (jedná se o odhad při úplném zaplnění zásobníku paliva, přičemž $1/3$ je odhadovaný objem mezer mezi jednotlivými kusy paliva; reálné hodnoty se budou lišit dle tvaru jednotlivých polen a způsobu ukládání). Výhřevnost spalovaného dřeva je $Q_{i,m} = 15 \text{ MJ/kg}$. Vážením a měřením objemu jednoho polena byly stanoveny hodnoty m_p (hmotnost polena) a V_p (objem polena), na základě kterých bylo vypočteno, že dřevo zadaných parametrů má výhřevnost na jednotku objemu $Q_{i,v} = 9,5 \text{ MJ/dm}^3$.

$$Q_{i,v} = Q_{i,m} \cdot \frac{m_p}{V_p} = 15 \cdot \frac{1,456}{2,3} = 9,5 \text{ MJ/dm}^3$$

m_p hmotnost polena [kg]

V_p objem polena [dm^3]

$Q_{i,v}$ výhřevnost dřeva vztažená na jednotku objemu [MJ/dm^3]

$Q_{i,m}$ výhřevnost dřeva vztažená na jednotku hmotnosti [MJ/kg]

V souvislosti s výše uvedenými úvahami (na jedno naložení se do kotle vejde cca dvě třetiny objemu zásobníku paliva) což je dle níže uvedeného výpočtu cca $Q = 507 \text{ MJ}$ chemicky vázané energie v palivu.

$$Q = V_n \cdot \frac{2}{3} \cdot Q_{i,v} = 80 \cdot \frac{2}{3} \cdot 9,5 = 506,6 \text{ MJ} = \frac{506,6}{3,6} \text{ kWh} = 140,7 \text{ kWh}$$

V_n objem zásobníku paliva [dm^3]

Q chemicky vázaná energie v palivu dodaná do kotle jednou dávkou [MJ ; kWh]

Při takto nastavených modelových podmínkách má jedna dávka paliva hmotnost $33,87 \text{ kg}$.

S takto naloženým zásobníkem by měl kotel být teoreticky schopen provozu při jmenovitém výkonu po dobu 4 hodin a 42 minut při započítání výše uvedené účinnosti $\eta = 84 \%$.

$$t = \frac{Q}{3,6 \cdot \eta} = \frac{506,6}{3,6} \cdot 0,84 = 4,7 \text{ hod}$$

t čas hoření jedné dávky paliva [hod]
 η účinnost [–]

Pokud by se jednalo např. o kotel prohořivací, který by měl příkladací prostor o stejných rozměrech a který by měl účinnost $\eta = 60 \%$, pak by stejná dávka dřeva při udržení stejného výkonu teoreticky vydržela jen 3 hodiny a 22 minut.

Při reálném spalování kusového dřeva nebo uhlí, v kotli s ruční příkládkou paliva, není možné zaručit konstantní výkon kotle, proto jsou uvedené hodnoty pouze teoretické. Aktuální tepelný výkon kotle je závislý na fázi periody hoření. Nejprve dochází k zahřívání a sušení paliva, dále se uvolňuje prchavá hořlavina, která následně hoří a až poté dojde k hoření odplyněného zbytku paliva (dřevěného uhlí nebo koksu). Problematika spalování pevných paliv je detailně popsána v kapitole 1.7.

1.5.2 Akumulační nádoby

Zásobník tepla, jinak též nazývaný jako akumulční nádoba, je zařízení umožňující uskladnění energie na vhodném místě a ve vhodné formě tak, aby byla použitelná v potřebný čas, v požadované kvalitě a kvantitě. Akumulační nádoba umožňuje provozovat kotel na jmenovitý výkon i v době, kdy je potřeba výkonu pro vytápění obytných místností menší než jmenovitý výkon kotle (minimalizace dehtování kotle, optimalizace spalování, maximalizace účinnosti). Druhým přínosem je, že během čerpání tepla z nabitě akumulční nádoby není nutné provozovat kotel (teplo je odebíráno z úložiště).

V oblasti domácí akumulace tepla je aplikován především typ akumulace s využitím citelného tepla média. U tohoto principu je využívána měrná tepelná kapacita látek v provozním rozsahu teplot, přičemž je množství akumulované energie přímo úměrné rozdílu těchto teplot (počáteční, konečná) a hmotnosti akumulční látky. Jako příklad tohoto typu akumulace lze uvést jednoduchý vodní zásobník, který pracuje v takovém rozmezí teplot, aby voda neměnila své skupenství.

Zapojení tohoto zásobníku do sestavy je velmi vhodné (až nutné) u kotlů s ručním příkládáním paliva, které mají při jmenovitém výkonu vyšší účinnost a nižší koncentrace znečišťujících látek ve spalinách. Při sníženém výkonu tyto

kotle nevyužívají plně svůj potenciál. Použití akumulčních nádob u kotlů s ruční příkládkou paliva je rovněž vhodné pro vykrytí období, kdy je potřeba vytápět dům, avšak kotel již vyhasl. Případně pro konstantní tepelné zatížení otopné soustavy bez rázových změn teplot otopné vody. Při provozu kotle jsou zásobníky tepla zpravidla nahřívány až tehdy, jakmile dojde k vytopení obytné části domu.

Čas nabíjení a vybíjení zásobníku tepla záleží na následujících faktorech:

- Výkon kotle, kterým je zásobník nabíjen, je v čase proměnlivý a nejedná se o celý aktuální výkon kotle, neboť část výkonu slouží k udržování teploty v obytných prostorech. Výkon do zásobníku tedy závisí primárně na tepelné ztrátě budovy a teplotě okolí.
- Objem akumulční nádoby, popř. soustavy akumulčních nádob.
- Počáteční a koncová teplota vody v akumulční nádobě (minimální teplota, kdy je možné z akumulční nádoby vytápět obytné prostory, je závislá na typu vytápění, např. minimální teplota otopné vody na vstupu do otopného okruhu u podlahové vytápěcí soustavy (cca 30 °C) běžně bývá podstatně nižší než v případě vytápění pomocí radiátorů (cca 50 °C).
- Měrná tepelná kapacita látky, do které je energie akumulována (většina nádrží je naplněna vodou, jen velice malá část funguje na bázi např. propylen-glykolu).

1.5.3 Zjednodušený výpočet doby ohřevu a chladnutí akumulční nádrže

Nejprve je nutné stanovit tepelnou ztrátu domu. Pokud je již známa, lze tento výpočet přeskočit a pokračovat následujícím krokem.

$$P_{ztr} = \frac{q_{ztr_1st} \cdot S \cdot h \cdot (t_{int} - t_e)}{1000} [kW]$$

P_{ztr} tepelná ztráta domu [kW]

q_{ztr_1st} přibližná tepelná ztráta domu na 1 m³ stanovená při teplotě $t_e = -15$ °C a $t_{int} = 20$ °C [W/(m³·K)] viz Tab. 1

S plocha domu [m²]

h výška stropu [m]

t_{int} teplota interiéru [°C]

t_e venkovní výpočtová teplota (lze vyhledat dle lokality) [°C]

Tab. 1 Přibližná tepelná ztráta domu přepočtena na 1 m³ dle typu domu stanovená pro teplotu $t_e = -15\text{ °C}$ a $t_{int} = 20\text{ °C}$

Typ domu	q_{ztr_1st}	Jednotka
Starší nezateplený rodinný dům	1	W/(m ³ ·K)
Starší zateplený rodinný dům	0,57	W/(m ³ ·K)
Novostavby odpovídající tepelně technickým předpisům	0,43	W/(m ³ ·K)
Energeticky úsporné domy	0,29	W/(m ³ ·K)
Nízkoenergetické domy	0,17	W/(m ³ ·K)
Pasivní domy	0,08	W/(m ³ ·K)

Tepelná ztráta budovy při rozdílu teplot interiéru a exteriéru o 1 °C se vypočte jako:

$$P_{ztr_1st} = \frac{P_{ztr}}{(t_{int} - t_e)} \left[\frac{kW}{K} \right]$$

P_{ztr_1st} tepelná ztráta domu při rozdílu teplot interiéru a exteriéru o 1 °C [kW·K⁻¹]

Tepelná ztráta budovy při aktuálním rozdílu teplot interiéru a exteriéru se vypočte jako:

$$P_{ztr_akt} = P_{ztr_1st} \cdot (t_{int} - t_{ext}) [kW]$$

P_{ztr_akt} tepelná ztráta domu při aktuální teplotě exteriéru [kW]

t_{ext} aktuální teplota exteriéru [°C]

Výkon nahřívající vodu v nádobě:

$$P_{nahřívací} = P_{vody} - P_{ztr_akt} [kW]$$

$P_{nahřívací}$ část výkonu kotle použitá pro nahřátí vody v akumulární nádobě [kW]

P_{vody} výkon kotle předávaný vodě [kW]

Teplu potřebné pro ohřátí vody v akumulární nádobě se vypočte:

$$Q_{\text{potřebné}} = \frac{V \cdot c_p \cdot (t_{\text{max}} - t_{\text{start}}) \cdot \rho_{\text{stř}}}{1000}$$

$Q_{\text{potřebné}}$ teplo potřebné pro ohřátí vody v akumulární nádobě [MJ]

V objem akumulární nádoby [m^3]

c_p měrná tepelná kapacita vody [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

t_{max} maximální teplota v akumulární nádobě [$^{\circ}\text{C}$]

t_{start} počáteční teplota v akumulární nádobě [$^{\circ}\text{C}$]

$\rho_{\text{stř}}$ střední hustota kapaliny v akumulární nádobě [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

Pro představu se do akumulární nádoby o objemu $V = 1 \text{ m}^3$ dá uložit při ohřátí vody z počáteční teploty $t_{\text{start}} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ na koncovou teplotu $t_{\text{max}} = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ cca $Q_{\text{potřebné}} = 210 \text{ MJ}$ (cca $58,3 \text{ kWh}$) tepla. Maximální teplota v akumulární nádobě se odvíjí od požadavků výrobce, avšak běžně může dosahovat i více než $90 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Čas potřebný pro ohřátí akumulární nádoby za předpokladu, že část výkonu z kotle je využívána pro pokrytí tepelné ztráty domu, se vypočte jako:

$$t_{\text{ohřátí}} = \frac{Q_{\text{potřebné}}}{P_{\text{nahřívací}} \cdot 3,6} \text{ [hod]}$$

$t_{\text{ohřátí}}$ čas potřebný pro ohřátí akumulární nádoby za předpokladu, že část výkonu z kotle je využívána pro pokrytí tepelné ztráty domu [hod]

Čas, po který je akumulární nádoba schopna pokrýt tepelnou ztrátu objektu:

$$t_{\text{chladnutí}} = \frac{V \cdot c_p \cdot (t_{\text{max}} - t_{\text{stop}})}{\frac{3600}{P_{\text{ztr}}}}$$

t_{stop} minimální teplota otopné vody na vstupu do otopné soustavy [$^{\circ}\text{C}$]

Pro prezentaci časů ohřevu u různě výkonných kotlů a různých domů, myšleno z hlediska jeho tepelné ztráty, slouží Graf 2, Graf 3 a Graf 4.

Z těchto grafů je patrné, že akumulární nádrže provozované v domech s nízkou tepelnou ztrátou (do 8 kW), mohou být například při objemu vody $V = 1000 \text{ dm}^3$ běžně nabity v čase do 12 hodin i s kotlem o jmenovitém

výkonu 15 kW při velice nízkých teplotách okolí $t_{\text{ext}} = -20\text{ °C}$, a to i za situace, kdy kotel zároveň ukládá část energie do akumulární nádrže a zároveň udržuje teplotu v interiéru na hodnotě $t_{\text{int}} = 20\text{ °C}$. S rostoucí teplotou exteriéru čas nabití rapidně klesá. Při běžných zimních teplotách v podmínkách České republiky okolo -10 °C netrvá nabití akumulární nádoby o tomto objemu déle než 9 hodin provozu kotle na jmenovitý výkon. Tento čas musí být vždy navýšen o potřebné prohřátí kotle a náběh na jmenovitý výkon, což většinou netrvá déle než jednu hodinu. Snížením interiérové teploty lze rovněž snížit čas nahřátí akumulární nádoby. Tento zásah však může snížit komfort užívání domu.

Při navyšování výkonu kotle se rapidně snižuje potřebný čas k nabití nádrže. Nutno podotknout, že kotel by měl být vybírán do domu individuálně, právě podle výpočtové tepelné ztráty domu a objemu akumulární nádoby. Nemělo by docházet k extrémům typu příliš rychlého nabití akumulární nádoby nebo naopak nemožnosti nabití akumulární nádoby při okolních teplotách pod cca $t_{\text{ext}} = -5\text{ °C}$.

Pro prezentaci časů chladnutí akumulární nádoby slouží Graf 5. Vzhledem k přímé úměře mezi časem chladnutí a celkovým objemem akumulárních nádob ve výpočtu, lze velice jednoduše dopočítat časy chladnutí pro odlišné objemy akumulárních nádob nebo pro jejich větší množství.

Z grafu je patrné, že dům s nízkou tepelnou ztrátou blížící se například 4 kW, který je vybaven podlahovou vytápěcí soustavou, může být z akumulární nádoby vytápěn při okolní teplotě $t_{\text{ext}} = 0\text{ °C}$ až 20 hodin. Do výpočtu nebyly zahrnuty ztráty akumulární nádoby, neboť teplo, které unikne přes izolaci do místnosti, v níž je nádoba umístěna, prakticky rovněž vytápí dům. Množství využitelné energie v akumulární nádobě klesá s nejnižší možnou vstupní teplotou do otopné soustavy. Pro domy vytápěné radiátory, které potřebují vyšší teplotu vstupní vody, bude čas chladnutí výrazně kratší než pro domy s podlahovou vytápěcí soustavou, které potřebují nižší teplotu vstupní vody.

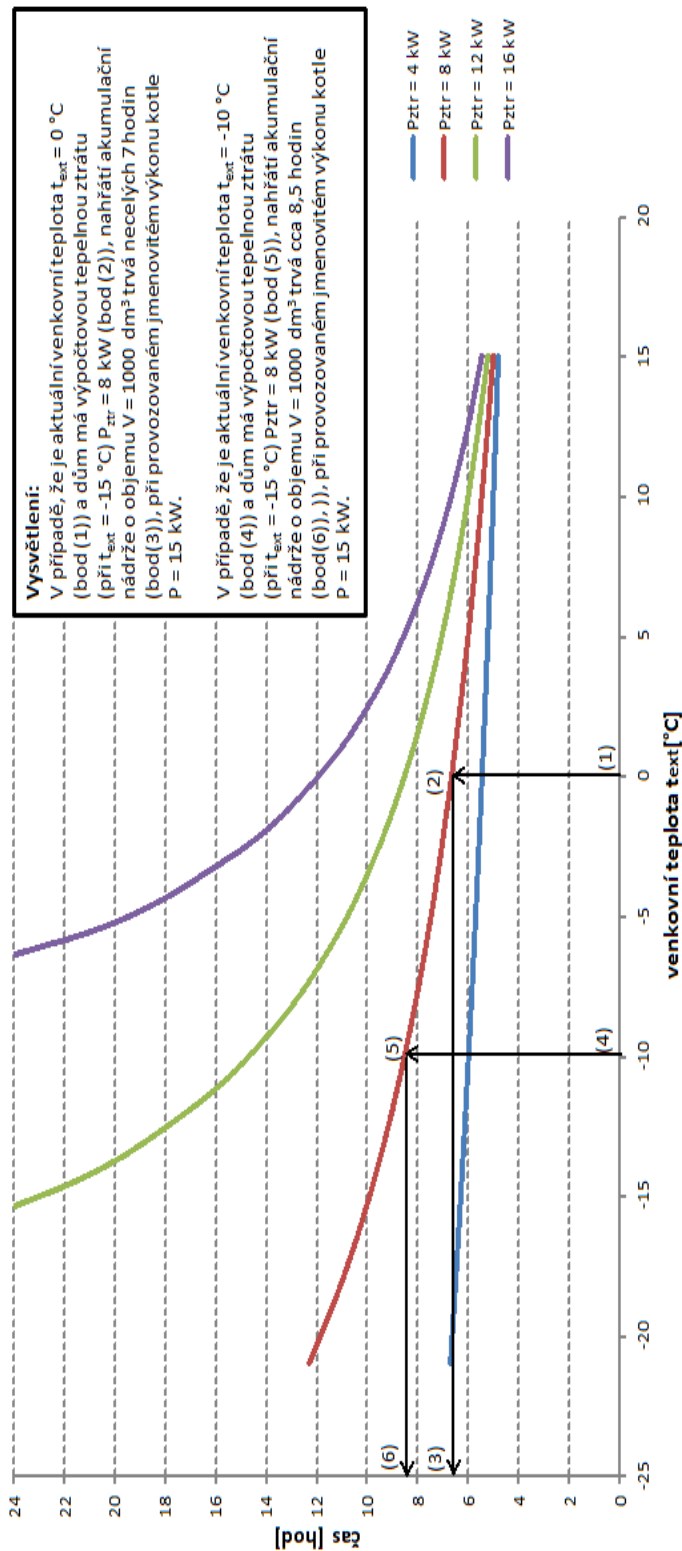
Vzhledem k tomu, že pro dosažení dotace na většinu ručně plněných kotlů na pevná paliva (Kotlíkové dotace) je zapotřebí splnit podmínku objemu akumulární nádoby, která musí mít objem alespoň $V = 55 \cdot P_{\text{jm}}$ v dm^3 , je někdy instalováno více akumulárních nádob. Větší objem akumulární nádrže znamená větší kapacitu pro uložení tepla, delší dobu nabití, ale i vybití, vyšší nároky na prostor a vyšší investiční náklady.

Reálnou aktuální tepelnou ztrátu domu při známé výpočtové tepelné ztrátě v závislosti na teplotě okolí t_{ext} a na skutečné teplotě interiéru t_{int} prezentuje Graf 6. Z grafu je patrné, že dům s výpočtovou tepelnou ztrátou 5 kW (výpočet pro $t_e = -15\text{ °C}$ a $t_{\text{int}} = 20\text{ °C}$) vytápěný

na 24 °C nemá při výpočtové teplotě $t_e = -15$ °C aktuální tepelnou ztrátu 5 kW, ale 5,6 kW, přičemž stejný dům vytápěný na teplotu 27 °C má aktuální tepelnou ztrátu při stejné teplotě dokonce 6 kW, tedy o 20 % vyšší, než je výpočtem stanovená.

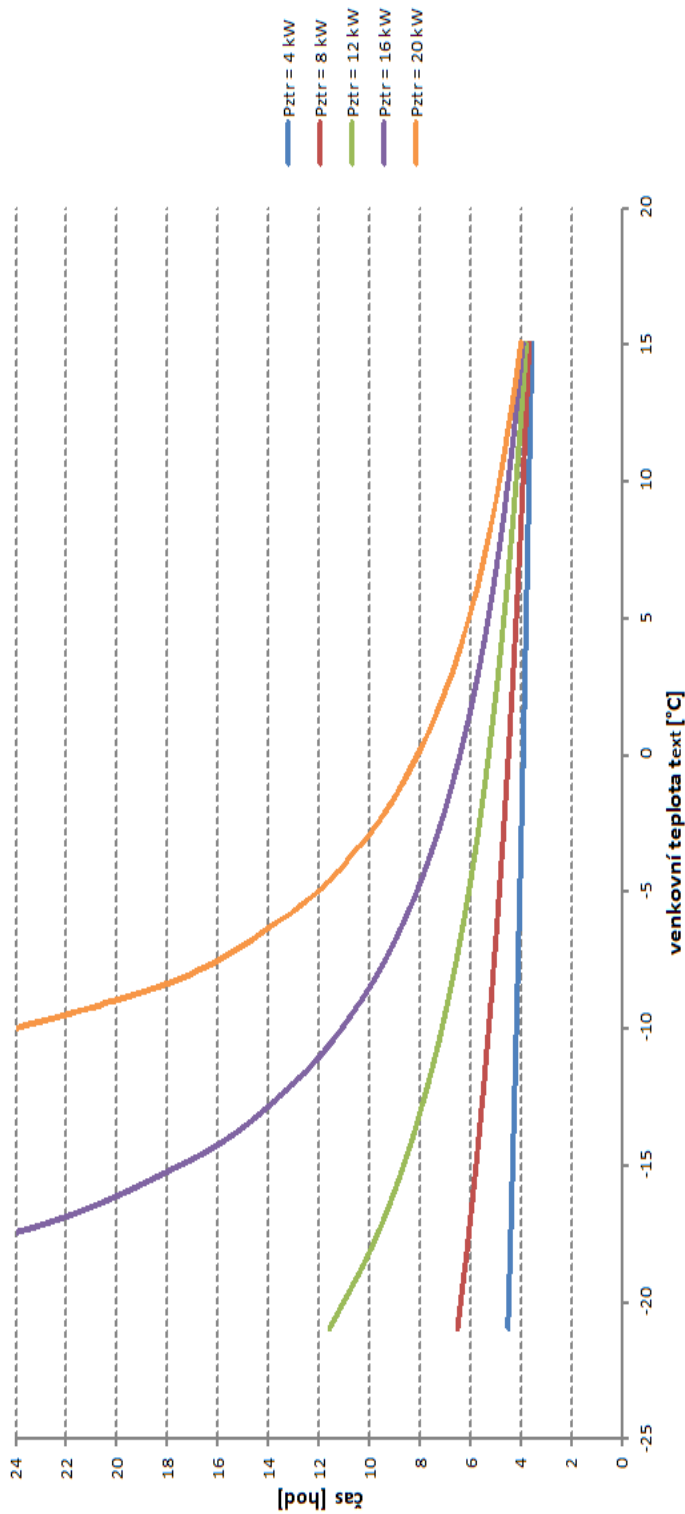
Porovnání délky bezobslužného provozu pro vstupní parametry: kotel o jmenovitém výkonu $P_{jm} = 20$ kW, výpočtová tepelná ztráta domu $P_{ztr} = 8$ kW (při $t_{ext} = -15$ °C), aktuální teplota okolí je $t_{ext} = 0$ °C (aktuální tepelná ztráta objektu je $P_{ztr_akt} = 4,6$ kW), teplota interiéru $t_{int} = 20$ °C; akumulární nádoba chladne z teploty $t_{max} = 80$ °C na $t_{stop} = 30$ °C) znázorňuje Graf 7.

Závislost času potřebného k nahlátí AKUnádrže na venkovní teplotě, v případě, že část tepla je využita na vytápění a přebytky na nabíjení akumulací nádob o objemu $V = 1000 \text{ dm}^3$; k vytápění slouží kotel provozovaný na výkon $P = 15 \text{ kW}$



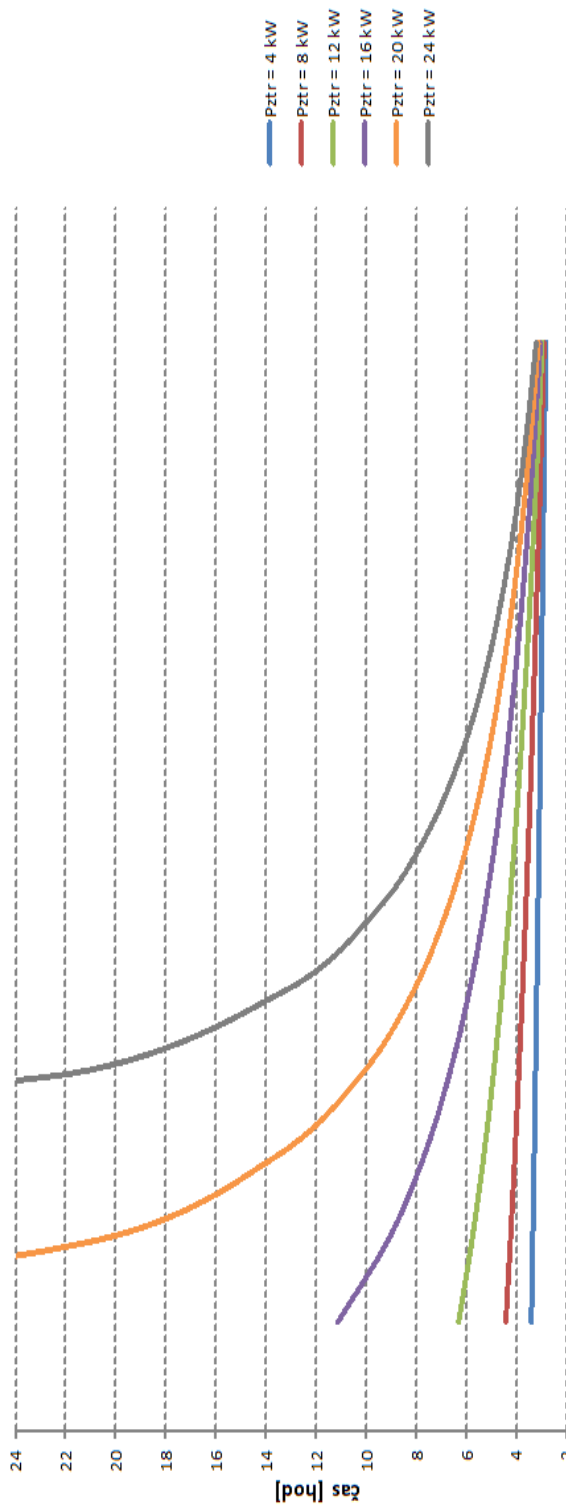
Graf 2 Závislost času potřebného k nahlátí akumulací nádrže na venkovní teplotě, v případě, že část tepla je využita na vytápění (udržení teploty v interiéru $t_{\text{int}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$) a přebytky na nabíjení akumulací nádob o objemu $V = 1000 \text{ dm}^3$; k vytápění slouží kotel provozovaný na tepelný výkon $P = 15 \text{ kW}$; počáteční teplota v nádobě je $20 \text{ }^\circ\text{C}$; koncová teplota v nádobě je $80 \text{ }^\circ\text{C}$

Závislost času potřebného k nahláží AKUnádrže na venkovní teplotě, v případě, že část tepla je využita na vytápění a přebytek na nabíjení akumulací nádoby o objemu $V = 1000 \text{ dm}^3$; k vytápění slouží kotel provozovaný na výkon $P = 20 \text{ kW}$



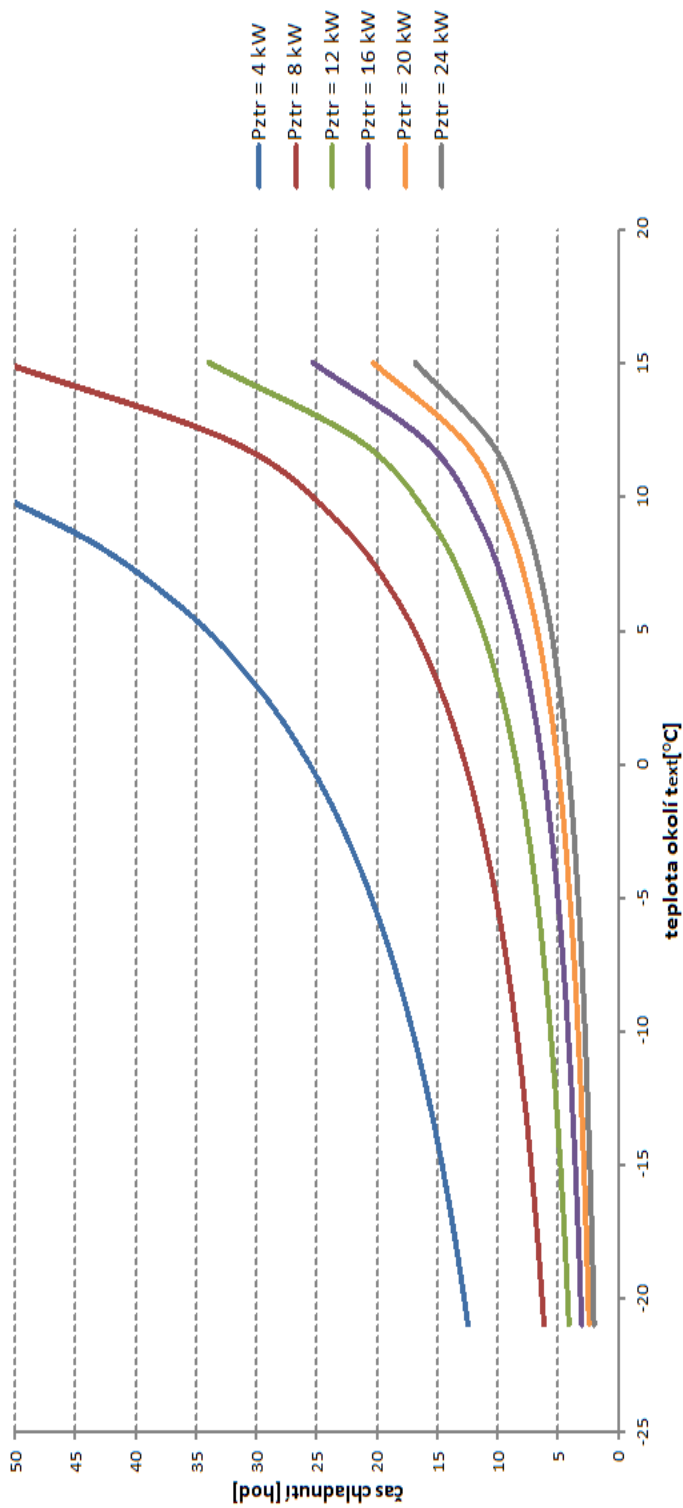
Graf 3 Závislost času potřebného k nahláží akumulací nádrže na venkovní teplotě, v případě, že část tepla je využita na vytápění (udržení teploty v interiéru $t_{int} = 20 \text{ °C}$) a přebytek na nabíjení akumulací nádoby o objemu $V = 1000 \text{ dm}^3$; k vytápění slouží kotel provozovaný na tepelný výkon $P = 20 \text{ kW}$; počáteční teplota v nádobě je 20 °C ; koncová teplota v nádobě je 80 °C

Závislost času potřebného k nahřátí AKUnádrže na venkovní teplotě, v případě, že část tepla je využita na vytápění a přebytky na nabíjení akumulací nádoby o objemu $V = 1000 \text{ dm}^3$; k vytápění slouží kotel provozovaný na výkon $P = 25 \text{ kW}$



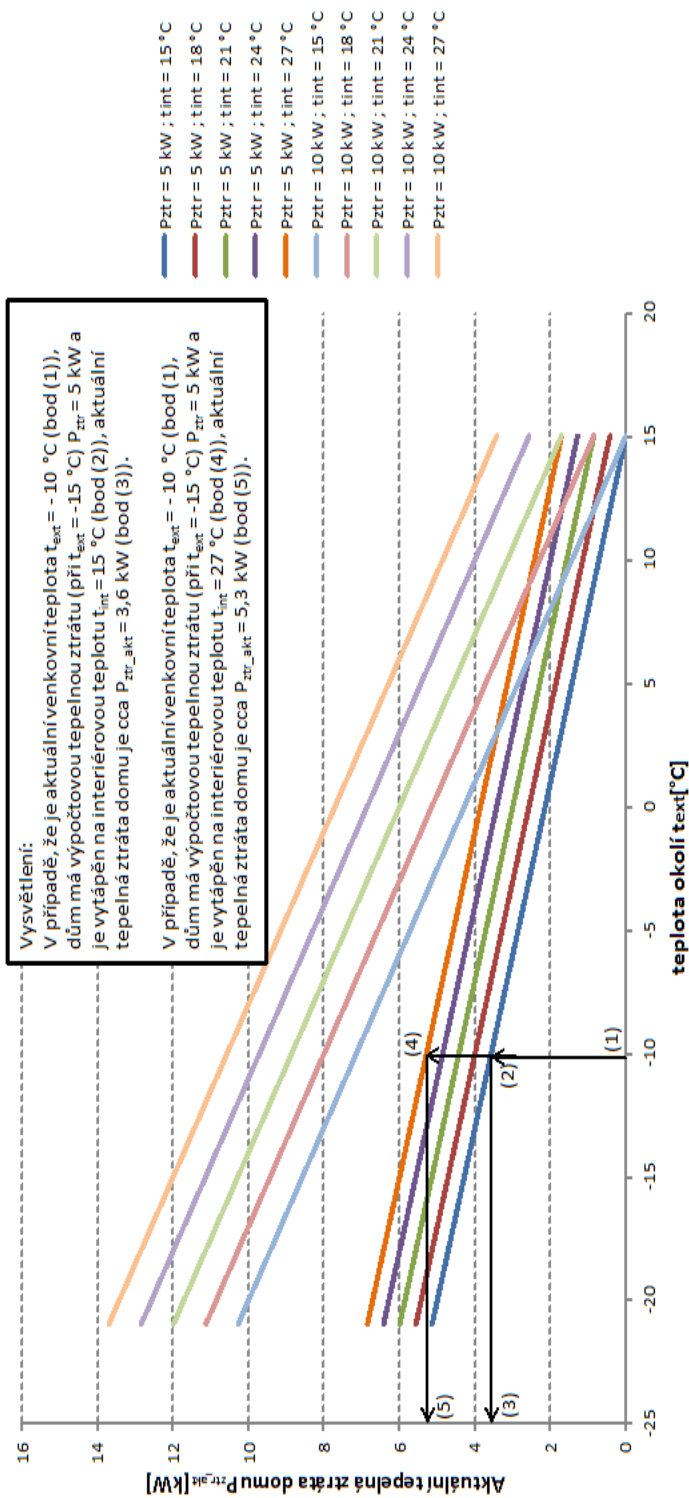
Graf 4 Závislost času potřebného k nahřátí akumulací nádrže na venkovní teplotě, v případě, že část tepla je využita na vytápění (udržení teploty v interiéru $t_{\text{int}} = 20 \text{ °C}$) a přebytky na nabíjení akumulací nádoby o objemu $V = 1000 \text{ dm}^3$; k vytápění slouží kotel provozovaný na tepelný výkon $P = 25 \text{ kW}$; počáteční teplota v nádobě je 20 °C ; koncová teplota v nádobě je 80 °C

Závislost času vybití akumulární nádoby o objemu $V = 1000 \text{ dm}^3$ dle tepelných ztrát domu v závislosti na okolní teplotě (chlazení z teploty $t_{\text{max}} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ na teplotu $t_{\text{stop}} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$)

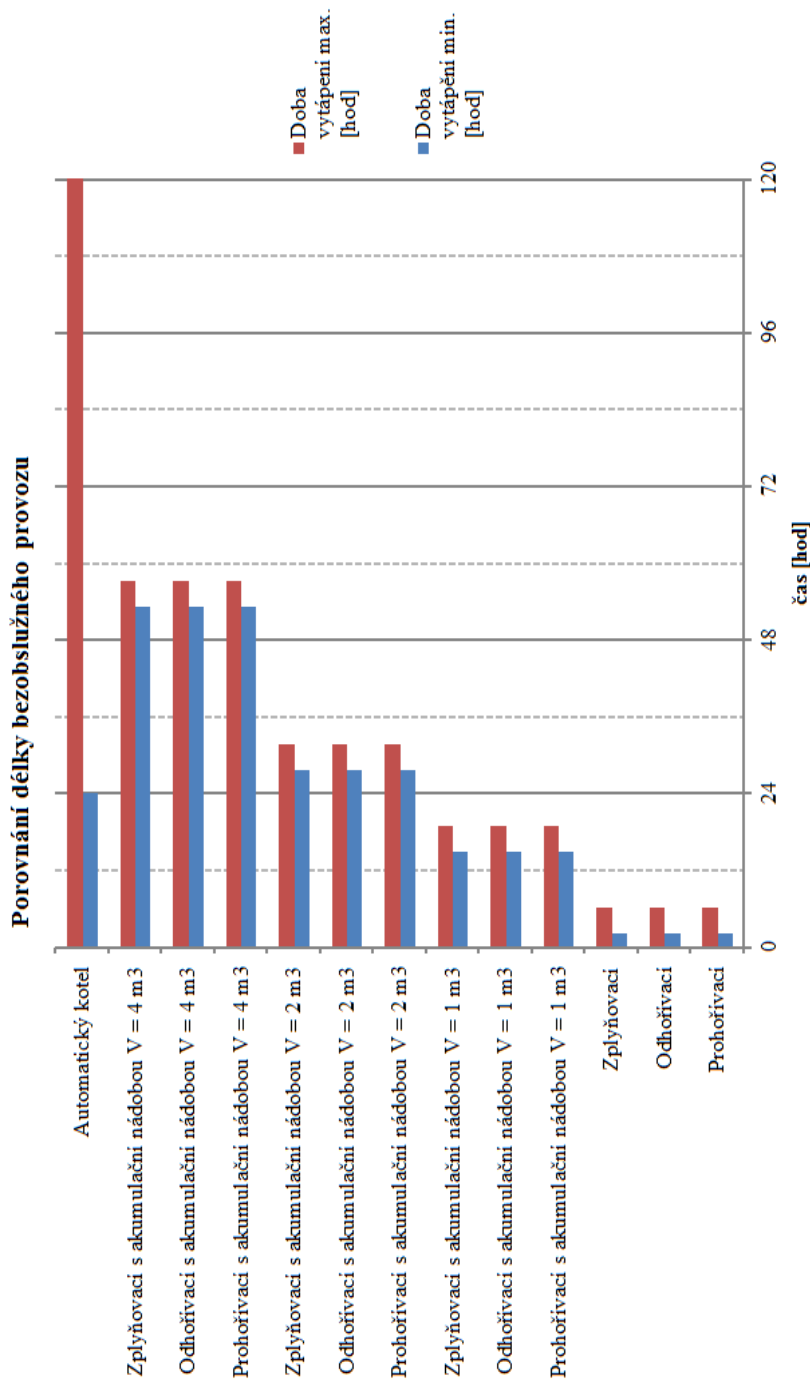


Graf 5 Závislost času chlazení akumulární nádoby o objemu $V = 1000 \text{ dm}^3$ dle tepelných ztrát domu v závislosti na okolní teplotě (chlazení z teploty $t_{\text{max}} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ na teplotu $t_{\text{stop}} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$)

Závislost aktuální tepelné ztráty domu v závislosti na teplotě okolí a teplotě interiéru pro dva modelové objekty s tepelnými ztrátami $P_{ztr} = 5$ a 10 kW (při $t_{int} = 20$ °C a $t_{ext} = -15$ °C)



Graf 6 Závislost aktuální tepelné ztráty domu v závislosti na teplotě okolí a teplotě interiéru pro dva modelové objekty s tepelnými ztrátami $P_{ztr} = 5$ a 10 kW (při $t_{int} = 20$ °C a $t_{ext} = -15$ °C)



Graf 7 Porovnání délky bezobslužného provozu pro vstupní parametry: kotel o jmenovitém tepelném výkonu $P_{jm} = 20 \text{ kW}$, výpočtová tepelná ztráta domu $P_{ztr} = 8 \text{ kW}$ (při $t_{ext} = -15 \text{ }^\circ\text{C}$), aktuální teplota okolí je $t_{ext} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ (aktuální tepelná ztráta objektu je $P_{ztr,akt} = 4,6 \text{ kW}$), teplota interiéru $t_{int} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; akumulční nádoba chladne z teploty $t_{max} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ na $t_{stop} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$)

1.6 Problematika kondenzace ve spalinové cestě

Moderní automatické teplovodní kotle na pevná paliva musí mít schopnost plnit přísné legislativní požadavky v širokém rozsahu 30 – 100 % jmenovitého tepelného výkonu. Při nižších tepelných výkonech, než je jmenovitý tepelný výkon, výrazně klesá teplota spalin ve spalinové cestě za kotlem, což má za následek zvýšení rizika tvorby kondenzátu v tělese komína. Zvýšení rizika kondenzace je spojeno se všemi spalovacími stacionárními zdroji do příkonu 300 kW, které jsou dlouhodobě provozovány na nižší než jmenovitý tepelný výkon. Zvyšování výstupní teploty spalin je v rozporu s legislativně vyžadovanými hodnotami tepelné účinnosti spalovacího stacionárního zdroje do příkonu 300 kW. Z deklarovaných provozních parametrů kotlů je často zřejmé, že je nutné je napojit na spalinovou cestu odolnou agresivnímu kondenzátu, tedy určenou pro tzv. mokrý provoz. Uvádění této informace však není u mnoha výrobců zcela běžné.

Jako částečné řešení oddálení kondenzace vodních par obsažených ve spalinách ve spalinové cestě se nabízí omezení jejich chladnutí v ní. Další možností je posunutí hranice tepelného výkonu kotle, při němž již dochází k trvalému vzniku kondenzátu, k nižším hodnotám, popř. zkrátit dobu, po kterou dochází ke kondenzaci (než se komín po zátopu prohřeje na dostatečnou teplotu). U keramických systémových komínů s izostatickou vložkou se nabízí řešení v přidání tepelné izolace z nehořlavého materiálu (minerální vlna) z vnější strany vložky. Tepelná izolace zpřičňuje snížení tepelného toku ze spalin mimo izostatickou vložku, čímž se zpomalí jejich chladnutí po výšce komína. Další předpokládanou výhodou udržení vyšší teploty spalin v komínovém průduchu je zvýšení mnohdy nedostatečného komínového tahu. Tato problematika je rovněž výrobcí moderních kotlů často opomíjena a jejich požadavky na hodnotu podtlaku spalin v sopouchu se nezřídka kdy vymykají fyzikálním zákonům.

Kapalnění neboli kondenzace je pojmenování jevu, při kterém dochází ke skupenské přeměně látky v plynném skupenství na látku v kapalném skupenství. Tato kapitola je zaměřena na daný jev přeměny vodní páry vyskytující se ve spalinách na vodu v kapalném skupenství ve spalinové cestě. Iniciace pro kapalnění může být snížení teploty plynu, nebo zvýšení tlaku plynu (při kondenzaci vodní páry ve spalinách přichází v úvahu pouze první možnost). V praxi to znamená, že se molekuly plynu přiblíží na nižší vzájemnou vzdálenost.

Tlak se v praxi často měří/udává ve výšce vodního sloupce kapaliny. Při obvyklé (normální) teplotě a tlaku platí:

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$1 \text{ mm H}_2\text{O} = 9,81 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mm Hg} = 133,32 \text{ Pa} = 1 \text{ torr}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

Při kapalnění dochází k uvolňování tzv. skupenského tepla kondenzačního (je rovno skupenskému teple výparnému), které podle typu látky nabývá různých hodnot. Pro vodu je skupenské teplo výparné $l_v = 2,51 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ při $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$. Měrné skupenské teplo výparné je funkcí teploty a to tak, že s rostoucí teplotou klesá ($l_v = 2,26 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ při $t = 100 \text{ }^\circ\text{C}$).

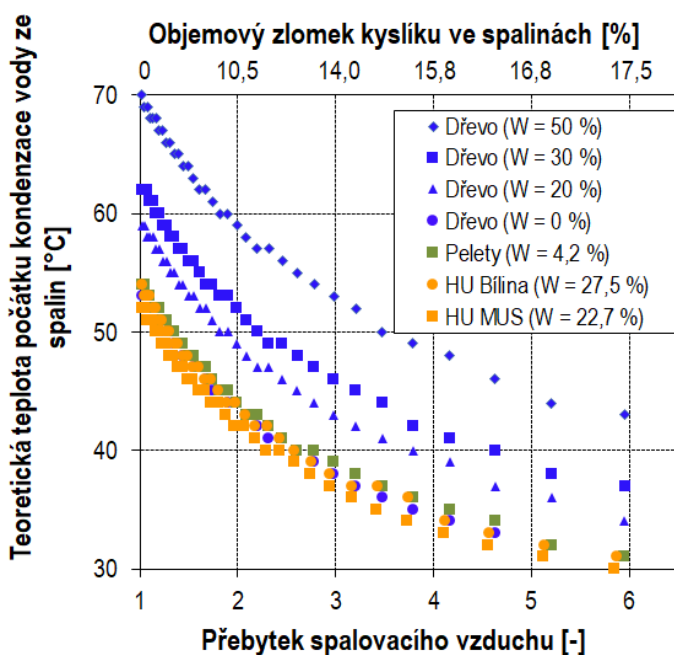
Dle definice rosného bodu, se jedná o teplotu, kdy je vzduch (nebo v tomto případě spaliny) maximálně nasycen vodními parami (tedy relativní vlhkost je rovna 100 %). Při dosažení teploty nižší dochází k počátku kondenzace. Významný je rovněž vliv kondenzačních jader, s jejichž pomocí přechází voda z plynného do kapalného skupenství.

1.6.1 Teoretický výpočet teploty počátku kondenzace vodních par obsažených ve spalinách

Tento výpočet slouží především pro přiblížení toho, v jakých teplotních hladinách by měla kondenzace při běžných provozních podmínkách probíhat. Výpočet byl vyhotoven pro několik typů paliv. Jejich prvkové složení je znázorněno v Tab. 2. Výsledné hodnoty teploty počátku kondenzace byly stanoveny dle parciálního tlaku vodní páry obsažené ve spalinách, který byl vypočítán ze spalovacích rovnic pro různé přebytky spalovacího vzduchu. Vzhledem k rozsahu výpočtu není detailní popis tohoto výpočtu součástí této učebnice. Výsledky znázorňuje Graf 8. V grafu je možné pozorovat vliv hmotnostního zlomku vody v palivu a vliv hmotnostního zlomku vodíku v palivu na konečnou teoretickou hodnotu teploty počátku kondenzace vodních par ve spalinách. Teoreticky by měla kondenzace vodní páry obsažené ve spalinách začít probíhat při ochlazení spalin pod teplotu $70 - 53 \text{ }^\circ\text{C}$ (dle složení paliva) při stechiometrickém spalování. Ředění spalin vzduchem zapříčiňuje snížení této teploty a umožňuje jejich (bezpečné) ochlazení na teplotu nižší. Do výpočtu byl zahrnut pro všechna paliva stejný součinitel pro zvětšení objemu vzduchu vlivem vlhkosti $u = 1,02$.

Tab. 2 Složení paliv pro teoretický výpočet teploty počátku kapalnění vodní páry ze spalin; Dřevo – Bukové dřevo; HU Bílina – Hnědé uhlí Bílina; HU MUS – Hnědé uhlí Mostecká uhelná společnost; Pelety - Dřevní pelety splňující standard A1

Látka/ Vlastnost	Označení	Jednotka	Dřevo	Dřevo	Dřevo	Dřevo	HU Bílina	HU MUS	Pelety
			W = 50 %	W = 30 %	W = 20 %	W = 0 %	W = 27,5 %	W = 22,7 %	W = 4,2 %
Uhlík	C ^(t)	[%]	24,7	34,6	39,6	49,5	51,2	53,5	48,4
Vodík	H ^(t)	[%]	3,1	4,3	5,0	6,3	4	4,3	5,8
Dusík	N ^(t)	[%]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,7	0,7	0,2
Kyslík	O ^(t)	[%]	21,8	30,5	34,5	43,6	12,5	9,6	40,8
Síra	S ^(t)	[%]	-	-	-	-	0,5	1,7	-
Voda	W ^(t)	[%]	50,0	30,0	20,0	0,0	27,5	22,7	4,2
Popelovina	A ^(t)	[%]	0,3	0,4	0,4	0,5	3,7	7,5	0,6
Výhřevnost	Q _i ^(t)	[MJ/kg]	8,0	12,2	14,3	18,5	19,7	21,1	17,9

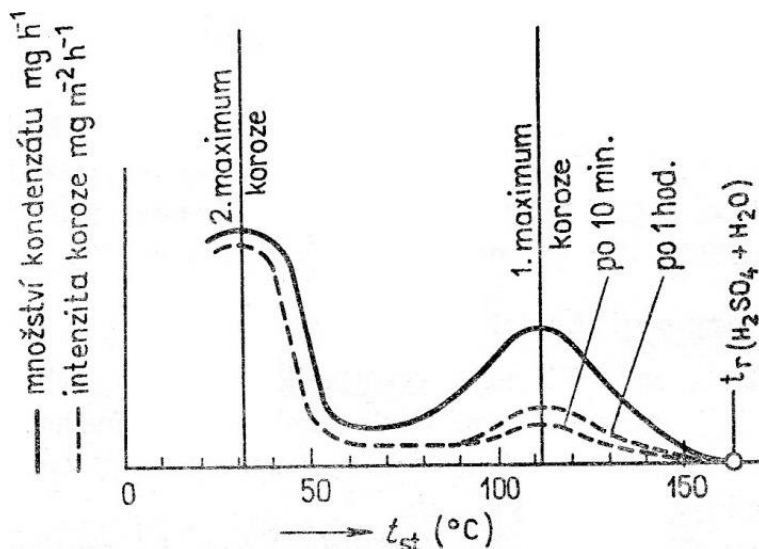


Graf 8 Závislost teploty rosného bodu vodní páry ve spalinách při spalování různých pevných paliv na přebytku spalovacího vzduchu

V rámci této kapitoly byl zohledněn pouze tzv. vodní rosný bod. Tzv. kyselý rosný bod, charakterizující kondenzaci velmi koncentrované kyseliny sírové nebyl dále zohledněn. Graf 9 znázorňuje tzv. kyselý rosný bod (t_{krb} [°C]) a jeho rozmezí dle sirnatosti paliva cca mezi teplotami 110 – 150 °C. Tyto hodnoty byly stanoveny dle empirických výpočtů na základě parciálních tlaků vodní páry a SO₃ ve spalinách. Jako příklad byly uvedeny vzorce pro výpočet dle Verhoffa & Brancheroa (1) a dle Haaseho a Borbmanna (2).

$$\frac{1000}{t_{krb} - 273,15} = 1,7842 + 0,0269 \cdot \lg(p_{H_2O}) - 0,1029 \cdot \lg(p_{SO_3}) + 0,0329 \cdot \lg(p_{H_2O}) \cdot \ln(p_{SO_3}) \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$t_{krb} = 255 + 27,6 \cdot \lg(p_{SO_3}) + 18,7 \cdot \lg(p_{H_2O}) \text{ [}^\circ\text{C]}$$



Graf 9 Závislost teploty vodního rosného bodu spalin při spalování různých pevných paliv na přebytku spalovacího vzduchu

1.7 Vliv přebytku spalovacího vzduchu na kvalitu spalování

Účastníky spalovacího procesu jsou palivo a okysličovadlo – ve spalovacích stacionárních zdrojích do příkonu 300 kW se zpravidla jedná o vzduch. Role množství spalovacího vzduchu ve spalovacím procesu je často uživateli opomíjena, možná právě proto, že na rozdíl od paliva není přímým nositelem energie, je všude dostupný a hlavně je zadarmo. To však nic nemění na tom, že by bez něj nemohlo docházet ke spalování paliva a je nutné s ním obezřetně nakládat. Správné nastavení spalovacího stacionárního zdroje ve smyslu ovlivnění poměru množství spalovacího vzduchu ke spalovanému palivu je stěžejním krokem pro udržení kvalitního spalovacího procesu. Kvalitní vedení spalovacího procesu je nejdůležitějším předpokladem pro nízké hmotnostní koncentrace znečišťujících látek ve spalinách, pro udržení co nejvyšší tepelné účinnosti spalovacího stacionárního zdroje na požadované úrovni a zároveň pro zajištění jeho dlouhé životnosti.

Podstatou spalovacího procesu je hoření paliva. Jedná se o jev, při kterém hoří palivo za současného uvolnění tepla a světla (plamen, žhavé uhlíky). Aktivní složky hořlaviny v palivu (C, H, S) reagují se vzdušným kyslíkem (O₂). Protože je tato reakce doprovázena uvolňováním tepla, nazýváme ji exotermní, spaliny (produkty spalování) mají vysokou teplotu. Spalinám je teplo záměrně odebíráno pro různé účely jako je vytápění, ohřev vody nebo vaření.

Jednou z nejtěžších věcí, které život staví před učitele je, jak jednoduše popsat nějaký děj či problém, vymyslet jednoduchou definici. Richard P. Feynman definoval spalování biomasy takto: *„Stromy vznikly převážně ze vzduchu. Když je spálíme, vrátí se zpátky do vzduchu, přičemž se uvolní sálavé teplo, což je sálavé teplo Slunce, které bylo třeba, aby se vzduch přeměnil v dřevo stromů; trocha popela je pozůstatek té části stromů, která neměla původ ve vzduchu, ale v zemi“*.

Pro lepší představivost a atraktivnost je možné spalování paliva přirovnat ke vztahu muže a ženy. Přestože určitě bylo o vztahu muže a ženy napsáno více knih než o spalování paliva, stejně je tato oblast lidského života zahalena mnoha tajemstvími a můžeme konstatovat, že zákonitosti spalovacích reakcí jsou nám lépe pochopitelné. Toto přirovnání bude použito pro lepší pochopení principů spalování, přestože není dokonalé, protože používá mnohá zjednodušení a nepřesnosti. Jednou z mnoha součástí manželského života je intimní život páru. Aby muž „zreagoval“ se ženou, je nutné splnit minimálně tyto čtyři podmínky a stejně je tomu s hořlavinou a okysličovadlem:

- Muž a žena se musí v dané oblasti či prostoru vyskytnout, musí tam být.
- Muž a žena se musí k sobě přiblížit, musí se sejít, vzít se za ruku a obejmout se.
- Musí se jim chtít.
- Musí mít čas a prostor, aby spolu „zreagovali“.

1.7.1 Muž a žena se musí v dané oblasti či prostoru vyskytnout, musí tam být

V oblasti spalování to znamená, že musí být přítomno palivo, v němž je obsaženo něco, co může hořet, tedy aktivní hořlavina (C, H, S) a okysličovadlo (nejčastěji vzdušný kyslík).

Palivo nemůže hořet bez přítomnosti kyslíku (pokud hořící svíčku přiklopíme obrácenou sklenicí, přestane po vyčerpání kyslíku hořet; zápal

v dole uhasíme tím, že jej uzavřeme a budeme do něj pouštět inertní plyn, např. dusík).

Přiklopení svíčky sklenicí „jinak“.

Uhašení svíčky obrácenou sklenicí je něco, co nikoho nepřekvapí. Zajímavý pokus však může být přiklopení svíčky, která plave ve vodě. Po jejím (nepřekvapivém) uhašení dojde k (překvapivému) zvednutí hladiny vody ve sklenici (nasátí vody do sklenice) nad úroveň okolní hladiny.

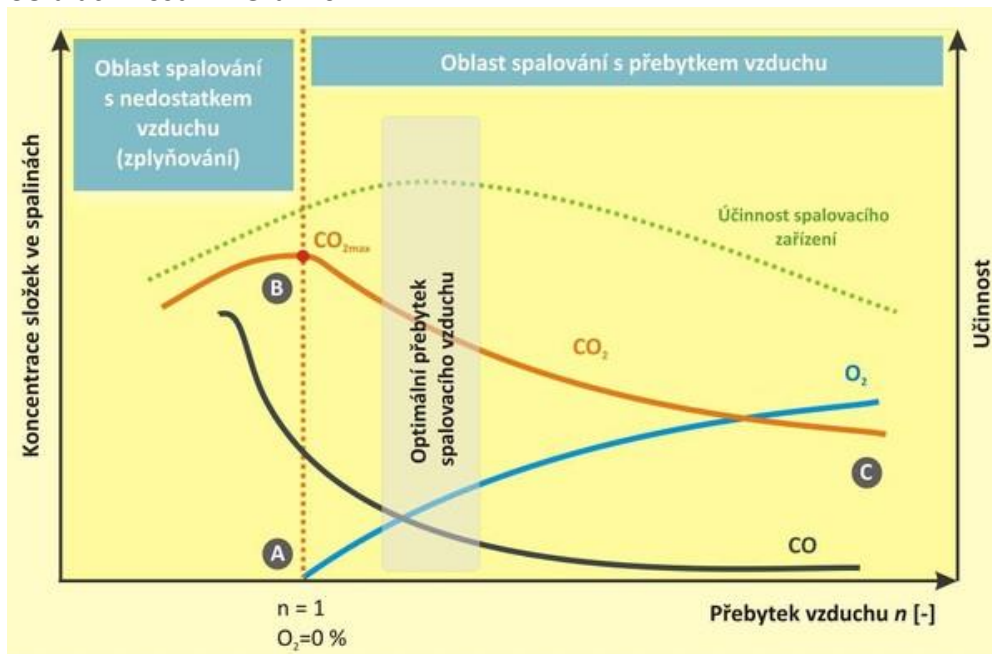
Osvětlení tohoto pokusu je složitější, protože při něm probíhá několik jevů současně. Po přiklopení jsou viditelné bublinky unikající mimo sklenici. Unikají z důvodu přetlaku ve sklenici způsobeného ohřátím vzduchu. Jakmile svíčka uhasne a vzduch ochladne, tlak ve sklenici se sníží, tlak a okolí natlačí vodu dovnitř.

Dalším jevem je kondenzace vodní páry, která vznikla spálením materiálu, který svíčka obsahuje, např. stearin. Z jeho sumárního vzorce ($C_{57}H_{110}O_6$) je patrné, že ve spalinách bude voda v nezanedbatelném množství.

Poslední jev je rovněž spojen se složkou spalin vzniklých během spalování, a to CO_2 . Oxid uhličitý je poměrně dobře rozpustný ve vodě, tedy kromě výše uvedených jevů může dojít k jeho rozpuštění do vody, ve které svíčka plave.

Spalovací rovnice, které bilančně popisují reakci mezi hořlavinou a kyslíkem, zjednodušeně vyjadřují množství kyslíku (vzduchu), který je potřeba k tomu, aby došlo k jejich reakci. Toto množství nazýváme stechiometrické (teoretické) a představuje minimální potřebu pro spalování v případě, že by se všechny reagenty sešly a všechny plně doreagovaly. V tomto případě je přebytek spalovacího vzduchu n (poměr skutečného a teoretického množství spalovacího vzduchu) roven jedné. V reálném spalovacím procesu je toto množství nedostatečné, protože řečeno jazykem přirovnání: se ti dva nesetkají. Proto je ve většině případů nutné, aby skutečné množství spalovacího vzduchu bylo větší než teoreticky potřebné. Tím dochází ke zvýšení pravděpodobnosti jejich setkání a interakce (dokonalost spalování, minimalizace vzniku znečišťujících látek vznikajících při neúplném spalovacím procesu). V takovém případě hovoříme o spalování s přebytkem spalovacího vzduchu, který běžně nabývá hodnot cca 1,5 až 2 pro automatické kotle a cca 2 až 4 pro kotle a kamna s ručním přikládáním paliva. Se zvyšujícím se přebytkem spalovacího vzduchu ovšem postupně klesá teplota v ohništi, takže začne klesat i kvalita spalování, dále roste množství spalin, tím také

roste komínová ztráta a snižuje se účinnost spalovacího stacionárního zdroje. Každý spalovací stacionární zdroj má svůj optimální přebytek spalovacího vzduchu, při kterém je dosaženo optimálních hodnot hmotnostní koncentrace CO a účinnosti viz Graf 10.



Graf 10 Vliv přebytku spalovacího vzduchu na účinnost a kvalitu spalování

Při reálném provozu dochází ke změně přebytku spalovacího vzduchu regulací množství nasávaného vzduchu, tedy např. otevření/zavření dvířek popelníku, otevření/zavření regulačních klapek nebo zvýšení/snížení otáček ventilátoru. Těmito kroky je pomyslně posouván spalovací proces na výše uvedeném grafu doleva (méně spalovacího vzduchu), nebo doprava (více spalovacího vzduchu). Dalším důležitým vlivem na přebytek spalovacího vzduchu je těsnost spalovacího stacionárního zdroje (kvalita/stav opotřebení těsnicí šňůry apod.). Těsnost spalovacího stacionárního zdroje je možné ověřit jednoduchým testem. Uzavřením všech přívodů spalovacího vzduchu během provozu spalovacího stacionárního zdroje by mělo dojít k viditelnému pohasnutí plamene (např. u krbových kamen je možné tento jev pozorovat přes sklo dvířek). Jestliže k pohasnutí nedojde, je zřejmé, že se vzduch (tzv. falešný vzduch) dostává do spalovací komory netěsnostmi. V takovém případě se dá s úspěchem předpokládat, že spalovací stacionární zdroj běžně pracuje především v oblasti pravé části výše uvedeného grafu, což je doprovázeno vysokou komínovou ztrátou, a tedy nízkou účinností. Pokud je spalovací stacionární zdroj těsný, je možné se po uzavření přívodu vzduchu

dostat až do oblasti, kde je nedostatečné množství spalovacího vzduchu, čímž začne probíhat tzv. zplyňování, což v zařízení, které k tomu není určené, znamená vysoké hmotnostní koncentrace znečišťujících látek ve spalinách a snížení účinnosti vlivem vysoké hodnoty ztráty energie způsobené únikem hořlaviny v plynných zbytcích. Tento jev je velmi běžný při přiložení velké dávky paliva (např. na noc) za současného uzavření všech přívodů spalovacího vzduchu. Je pravda, že se podstatně prodlouží doba periody (hoření – zplyňování), ale křivka CO ve výše uvedeném grafu ukazuje, jak dramatickému nárůstu produktů nedokonalého spalování dojde a také účinnost je velmi špatná.

Zplyňování

Zplyňování je proces přeměny organických materiálů obsažených v palivu na hořlavé plyny. V případě, že tento proces probíhá v zařízení tomu určenému s následným využitím vzniklých hořlavých plynů, je situace zcela v pořádku. Za vhodná zařízení jsou považovány cíleně vybudované velké zplyňovací jednotky i spalovací stacionární zdroje do příkonu 300 kW (zplyňovací kotle).

Jestliže ke zplyňování dochází v zařízení, které tomu není přímo určené a hořlavé plyny odcházejí do ovzduší jako znečišťující látky, čímž mohou lokálně významně snížit kvalitu ovzduší. Zároveň také dochází ke snížení tepelné účinnosti ztrátou v plynném nedopalu (hořlavé plyny mohly shořet a předat tak energii do teplotnosného média). V neposlední řadě může mít tento jev významný vliv na životnost spalovacího stacionárního zdroje do příkonu 300 kW (neurčenému ke zplyňování) i na životnost spalinové cesty.

Křivka označená jako „O₂“ znázorňuje průběh objemového zlomku kyslíku ve spalinách v závislosti na přebytku spalovacího vzduchu. V případě, že by bylo k palivu dovedeno právě tolik vzduchu, které je minimálně potřeba (přebytek spalovacího vzduchu $n = 1$) a nastaly by ideální podmínky (vzájemný kontakt, dostatečná iniciační energie a dostatečný čas), tak by se všechen přivedený kyslík spotřeboval, takže jeho objemový zlomek ve spalinách by byl nulový, to popisuje bod „A“.

Při tomto stavu by také došlo k tomu, že by veškerý uhlík v palivu shořel na CO₂, takže jeho objemový zlomek by byl maximální, tehdy hovoříme o CO_{2_max}, viz bod „B“. Se zvyšujícím se přebytkem spalovacího vzduchu roste

objemový zlomek kyslíku ve spalinách. Naopak objemový zlomek CO_2 klesá, protože přebytečný vzduch ředí CO_2 .

S rostoucím přebytkem spalovacího vzduchu se zvyšuje kvalita spalovacího procesu, klesá hmotnostní koncentrace CO ve spalinách a zároveň roste množství spalin, tedy i množství tepla odvedeného komínem, což má za následek pokles tepelné účinnosti spalovacího stacionárního zdroje. Vždy je nutné najít optimální kompromis. Spalování běžně probíhá s dostatečně vysokým přebytkem spalovacího vzduchu pro udržení CO na akceptovatelné úrovni z hlediska legislativních požadavků. Každý spalovací stacionární zdroj má pro dané palivo optimální hodnotu přebytku spalovacího vzduchu (viz např. plocha v grafu).

Zjednodušeně (záleží na složení) můžeme říci, že pro spálení jednoho kilogramu uhlí je potřeba minimálně (teoreticky) cca 6 metrů krychlových vzduchu, pro spálení jednoho kilogramu dřeva cca 4 metrů krychlových vzduchu. Pro lepší, tedy automatické a zplyňovací kotle bývá přebytek spalovacího vzduchu cca 2 (objemový zlomek kyslíku ve spalinách cca 10,5 %), takže spotřeba vzduchu bude dvojnásobná ve srovnání s teoretickou, tedy cca 12 m^3 na jeden kilogram paliva. Starší typy kotlů s ruční dopravou paliva (prohořivací a odhořivací) včetně krbových kamen, sporáků a krbových vložek spalují palivo s ještě větším přebytkem spalovacího vzduchu cca s hodnotou 2 až 4. U otevřeného krbu, kde nedochází k regulaci přívodu spalovacího vzduchu, objemový zlomek kyslíku ve spalinách dosahuje dle fáze spalovací periody až k dvaceti procentům, což odpovídá hodnotě přebytku vzduchu cca 20.

V tomto případě je již množství skutečného vzduchu, který se spotřebuje (je nasáno do krbu a odvedeno komínem) pro spálení jednoho kilogramu dřeva kolem 100 metrů krychlových. Proto je tepelná účinnost otevřených krbů cca 10 %, což se výrazně projevuje na velké spotřebě paliva.

Otevřený krb. Krásný na pohled, drahý pro peněženku.

Při vytápění v otevřeném krbu, je cca 90 % tepla nevyužito pro vytápění, ale jednoduše řečeno odejde komínem (tzv. ztráta citelným teplem spalin). Otevřený krb má účinnost přibližně pouze 10 % a to především kvůli obrovskému přebytku spalovacího vzduchu, kterým jsou spaliny naředěny a teplo odvedeno do okolí komínem. Množství spalovacího vzduchu u otevřených krbů není nijak regulováno a závisí pouze na komínovém tahu.

Množství nasávaného vzduchu je dáno komínovým tahem. Komín pracuje jako kouřový ventilátor, který vysává spaliny z topeniště. Komínový tah vzniká na základě rozdílů hustot spalin a okolního vzduchu a jedná se o stejný jev, který byl nejprve popsán Archimedesem (známá příhoda, kdy se Archimedes koupal ve vaně). Základní parametry ovlivňující tah komínu jsou tyto:

- teplota spalin – množství přiloženého paliva a jeho složení, konstrukce spalovacího stacionárního zdroje do příkonu 300 kW, tepelná izolace komínu;
- účinná výška komínu a jeho vnitřní průřez;
- tlaková ztráta celé spalinové cesty (průměr kouřovodu, množství a tvar spojovacích dílů, čistota/míra zanesení).

Základní funkcí komína je bezpečně odvést spaliny, které vzniknou při spalování paliva v napojeném spalovacím stacionárním zdroji.

Množství spalin je přibližně stejné jako množství nasátého spalovacího vzduchu.

Potřebné množství spalovacího vzduchu se dle typu a tepelného výkonu stacionárního spalovacího zdroje pohybuje přibližně v rozsahu od 10 do 1 000 m³/h. Této potřebě je také nutné přizpůsobit přívod vzduchu k danému spalovacímu stacionárnímu zdroji do příkonu 300 kW, který je zajištěn nasáváním přes netěsnosti oken, dveří a přes větrací otvory (mimo případ s externím přívodem spalovacího vzduchu). Zvýšené požadavky na snižování energetické náročnosti budov vedou k jejich důkladnému utěsňování včetně oken a dveří. Pokud v místnosti, kde je spalovací stacionární zdroj nainstalován (kotel v kotelně, kamna v obývacím pokoji) není zajištěn dostatečný přívod spalovacího vzduchu, musí být vzduch přiveden samostatným přívodem z exteriéru. Většina nových kamen již má sveden

přívod spalovacího vzduchu do jednoho centrálního místa (většinou je vzadu nebo dole vyvedena trubka o průměru cca 100 mm).

V souvislosti s touto problematikou je nutné nezanedbat vliv jiných zařízení a prvků na proudění vzduchu a tlakové poměry v domácnosti. Nejvýznamnějším a nejběžnějším nebezpečím z pohledu narušení komínového tahu může být digestoř. Zařízení určená k odsávání znečištěného vzduchu vařením mohou dosáhnout průtoků několika set metrů krychlových za hodinu zpravidla z prostoru kuchyně. V případě, že je spalovací stacionární zdroj umístěn ve stejné místnosti (obytné haly spojené s kuchyňským koutem nebo kuchyňským sporákem), mohlo by dojít ke zpětnému tahu komínu, protože výkon digestoře je výrazně větší než (výkon) tah komína. Tomuto stavu je nutné zabránit správným konstrukčním řešením přívodu spalovacího vzduchu.

1.7.2 Muž a žena se musí k sobě přiblížit, musí se sejít, vzít se za ruku a obejmout se

V oblasti spalování to představuje konstrukci spalovacího stacionárního zdroje do příkonu 300 kW, která zahrnuje rozvody spalovacího vzduchu, způsob jeho přívodu, ohřevu a dopravy k hořlavině v palivu.

Velká část dnes používaných stacionárních spalovacích zdrojů do příkonu 300 kW používá rošt, jehož základní funkce je právě v umožnění přívodu spalovacího vzduchu (primárního) k palivu. Podstatné je, aby konstrukce spalovacího stacionárního zdroje zajistila přívod okysličovadla přímo až k hořlavině. Nestáčí jen přivést dostatečné množství spalovacího vzduchu kamkoliv do ohniště – jde o to kontakt reagentů významně intenzifikovat. Nelze provést bezkontaktní spalování na dálku.

Další faktor, který rozhoduje o tom, zda se reagenty tzv. potkají, je granulometrie paliva. Tlaková ztráta vrstvy tříděného paliva (při stejné výšce) je podstatně menší než vrstva netříděného paliva, která obsahuje velké množství prachu (menších částic paliva), nemluvě o uhelných kalech (jen jemný prach). Před spalováním kalů bylo toto palivo vždy smícháno s vodou, aby nepropadlo roštem do popelníku, nicméně prostupnost vzduchu je nulová, proto tuto vrstvu uživatelé rozrušovali pohrabáčem (vytváření tzv. komínu), aby alespoň někudy mohl spalovací vzduch projít. Kaly jako prachové palivo jsou vynikající pro velké uhelné kotle s práškovými hořáky. Pro spalovací stacionární zdroje jsou však z pohledu vysokých koncentrací

znečišťujících látek ve spalinách zcela nevyhovující (to, že se po nějakém čase po zátopu již nekouří z komínu, neznamená, že palivo dobře hoří, jedovatý oxid uhelnatý jako hlavní parametr nedokonalosti spalování je plyn bezbarvý a bez zápachu, jeho objemový zlomek v takových krajních případech může dosahovat až několika procent).

Teplota spalovacího vzduchu (např. sekundární nebo terciární spalovací vzduch) je většinou podstatně nižší než teplota plamene (plamen je hořící prchavá hořlavina, která je složena převážně z uhlovodíků a z hořlavého plynu CO), což v praxi znamená, že jejich promíchání je obtížné (mají různé viskozity). Jestliže se nepromíchají, projdou spalovací komorou vedle sebe s minimální šancí na interakci. Situaci s míšením reagentů je možné si představit tak, že proud vzduchu narazí na oblast plamene a ten se chová jako by byl pokryt nepropustnou blánou (plachta na hladině vody v bazénu), takže přestože je přivedeno dostatečné množství vzduchu do ohniště, kyslík s hořlavinou se nesejde, takže spolu nemohou reagovat. Technicky se tato komplikace v ohništi zmírňuje předeřevem spalovacího vzduchu (zmenšení rozdílu viskozit), zvětšením vstupní rychlosti spalovacího vzduchu (geometrie trysek, větší rychlost poruší „blánu“ plamene) a optimalizací proudění (maximalizace víření je vlastně kombinací dvou výše uvedených opatření).

Hoření začíná na povrchu látek (paliva) a pokud neshoří povrchová vrstva, nemůže hořet další. Tím se vysvětluje relativně pomalý průběh hoření pevných paliv v porovnání s kapalnými a plynnými palivy. Dřevěné třísky hoří podstatně rychleji než větší špalky. Rychlost hoření souvisí s množstvím uvolněné energie a tedy s tepelným výkonem spalovacího stacionárního zdroje. Proto po příjezdu do nevytopené budovy (např. chata v zimě) je vhodné nejdříve spalovat menší kusy paliva, ty mají větší povrch, rychleji hoří a tím zajistí větší tepelný výkon s tím, že v první fázi vytápění je méně podstatná účinnost spalovacího stacionárního zdroje (vysoká teplota spalin znamená velkou komínovou ztrátu), avšak podstatné je rychlé vytopení objektu a zajištění tepelného komfortu. U velkých uhelných kotlů je uhlí před spalováním mleté na prášek, protože má podstatně větší povrch než kusové uhlí.

1.7.3 Musí se jim chtít

V oblasti hoření je chtění dáno výší teploty. Čím vyšší teplota je v oblasti, kde se vyskytuje hořlavina a vzdušný kyslík, tím více se reagentům chce reagovat a tím se také zvyšuje rychlost reakce.

Po dosažení teploty vznícení začne hořlavina hořet. Zápalná teplota jednotlivých hořavin se podstatně liší, např. u dřeva je to cca 330 – 470 °C, u benzínu cca 60 - 120 °C.

Složení hořlaviny paliva (poměr mezi uhlíkem, vodíkem a kyslíkem) ovlivňuje zásadním způsobem zápalnou teplotu paliva. Pro málo prouhelněná paliva (dřevo, lignit, hnědé uhlí) je typický velký hmotnostní zlomek prchavé hořlaviny (směs uhlovodíků), která se snadno zapaluje. Se zvyšujícím se hmotnostním zlomkem uhlíku v pevném palivu (černé uhlí, antracit) se hmotnostní zlomek prchavé hořlaviny výrazně snižuje, což komplikuje jejich zapalování. Koks představuje palivo s velmi nízkým hmotnostním zlomkem prchavé hořlaviny, protože při koksování (zpracování koksovatelného uhlí při vysoké teplotě bez přístupu vzduchu s cílem termického rozkladu) dochází k uvolnění prchavé hořlaviny (tzv. koksárenský plyn). Ve výsledném produktu, koksu, je (co se týče složení) dominantní pouze uhlík a popelovina. Dřevěné uhlí, které se používá při grilování, se v podstatě vyrábí obdobným postupem jako koks, jen je jako vstupní surovina použito dřevo a uvolněný plyn se nazývá dřevní plyn (popř. dřevoplyn). To je důvod, proč je zapalování koksu a dřevěného uhlí velmi obtížné. Proto se při běžné praxi papírem nebo nějakým podpalovačem nejprve zapalují suché dřevěné třísky (menší kousek paliva potřebuje k hoření méně iniciační energie, má větší měrný povrch a vyšší hmotnostní zlomek prchavé hořlaviny), ty následně zapálí větší kousky dřeva, které mohou zapálit uhlí či koks.

Spalování uhlí vyžaduje vyšší spalovací teploty. Až výroba roštů (19. století) umožnila rozšíření spalování uhlí. Do té doby bylo spalováno především dřevo, protože bezroštová ohniště neumožnila dosáhnout vyšší teploty (cca nad 1000 °C), které jsou potřebné pro kvalitní spalování uhlí.

Souhrnně je možné říci, že pokud se hořlavina s okysličovadlem setká, ale není vystavena dostatečné teplotě, k hoření nedojde nebo dojde jen k nedokonalému částečnému hoření. Se zvyšující se teplotou se rychlost a kvalita spalování zlepšuje (za předpokladu dostatečného přísunu paliva i okysličovadla).

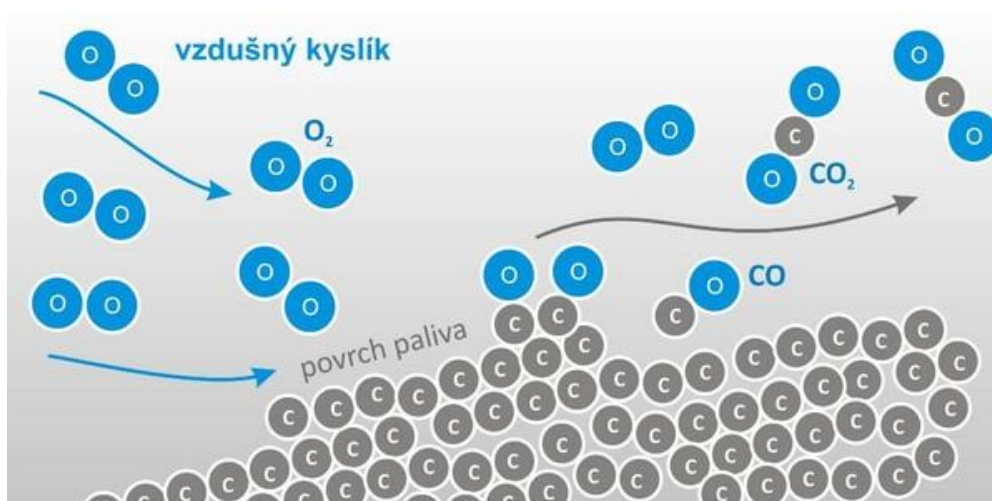
1.7.4 Musí mít čas a prostor, aby spolu „zreagovali“

V oblasti spalování to znamená objem a uspořádání spalovací komory a celého spalovacího stacionárního zdroje. Objem spalovací komory je přizpůsoben vlastnostem spalovaného paliva. Například při spalování paliv s větším hmotnostním zlomkem prchavé hořlaviny (hnědé uhlí a biomasa) je

velká část paliva tvořena hořlavým plynem (směs uhlovodíků), který se uvolňuje již při zahřátí paliva na dostatečnou teplotu cca 200 až 400 °C. Hořící plyn je vnímán jako plamen (stejně tomu je u táboráku při opékání, nebo v krbových kamnech při hoření kusového dřeva).

Každá reakce probíhá s jistou rychlostí, přičemž čím větší teplota, tím větší je rychlost reakce. Od rychlosti reakce se odvíjí i minimální čas, který je nutný pro to, aby reakce proběhla úplně. Po tomto čas musí být naplněny všechny tři výše uvedené podmínky – musí tam být, musí se sejít a musí se jim chtít. Zároveň vše musí probíhat ve vhodně dimenzovaném prostoru poskytujícím dostatečný čas pro oxidaci hořlaviny. Při úplné reakci uhlík shoří na oxid uhličitý (CO_2 , mimo jiné toto je plyn, který vydechujeme a také jej můžeme nalézt v bublinkách perlivé minerálky). Uhlovodíky, které tvoří prchavou hořlavinu, shoří na CO_2 a vodní páru (H_2O) a síra shoří na SO_2 .

Pokud je čas nedostatečný, bude reakce předčasně ukončena a nedojde k dokonalému vyhoření hořlaviny. Přesný průběh oxidace uhlíku není zcela znám, ale velmi zjednodušeně si jej můžeme představit tak, že uhlík částečně oxiduje na hořlavý plyn oxid uhelnatý (CO je jedovatý, bezbarvý plyn bez zápachu), který následně dohoří na CO_2 . Schematicky je hoření uhlíku zobrazeno na Obr. 5. Obdobně je tomu s uhlovodíky než shoří na CO_2 a H_2O .



Obr. 5 Schématické zobrazení procesu hoření paliva – uhlíku

1.7.5 Nedokonalé spalování

O dokonalém spalování hovoříme tehdy, pokud veškerá hořlavina obsažená v palivu zcela shoří (uhlík na CO_2 , uhlovodíky na CO_2 a vodu a síra

na SO_2). Ve skutečnosti je to tak, že může reakce proběhnout dokonale, částečně nebo vůbec. Stejně tak je tomu i při spalování paliva, nic není dokonalé. Část uhlíku neshoří vůbec (černý popel, černé saze a popílek v komíně) a část uhlíku shoří jen částečně (např. na CO). Míru nedokonalosti spalování je možné určit dle hmotnostní koncentrace produktů nedokonalého spalování ve spalinách. Mezi produkty nedokonalého spalování se řadí především CO , saze a polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU). Nedokonalé spalování nastává, pokud jedna ze čtyř výše uvedených podmínek není zcela v pořádku. V dnešní době není problém změřit objemový zlomek CO ve spalinách (mobilní zařízení vlastní i některé kominické firmy) a tím získat představu o aktuální kvalitě vedení spalovacího procesu.

Při umístění studené lžice nad plamen (např. svíčky), její povrch zčerná a zůstanou na ní černé saze. Rozžhavené saze vnímá lidské oko jako červenou (až oranžovou) barvu. Barva plamene svíčky je červená, protože jsou v něm hořící saze, barva plamene z plynového hořáku (zemní plyn nebo propan butan) je modrá, protože neobsahuje žádné saze a vodíkový plamen je modrý. Při omezení přívodu vzduchu u plynového hořáku (např. u přenosného vařiče, který se používá na hory, zakryjeme trysky hořáku rukou nebo páskou), barva plamene se změní – částečně zčervená, což identifikuje nedokonalé spalování. Při přenášení hořící svíčky, je možné pozorovat zvýšený vývin sazí (černé okraje plamene), protože vzduch proudící kolem plamene jej více ochlazuje, čímž dochází ke snížení kvality spalování. Při sfouknutí svíčka zhasne, protože proudící vzduch odvede teplo od knotu a zchladí plamen pod zápalnou teplotu. Pokud bude vnitřní povrch výfuku automobilu světle našedlý, bude to ukazovat na lepší spalování kapalného paliva v motoru ve srovnání s černým povrchem výfuku. Stejný princip platí u vzhledu částic, které se zachytávají v komínu za kamny či kotlem, ale i v samotném kotli na teplosměnných plochách.

CO je hořlavý plyn. Pokud je jeho hmotnostní koncentrace ve spalinách vysoká (řádově v procentech), narůstá ztráta plynným nedopalem. Pokud by CO ve spalovacím stacionárním zdroji shořelo, tak by mohlo předat teplo, které by bylo využito, ale protože neshořelo, nestalo se tak a tato energie doslova odešla komínem. Vysoké hmotnostní koncentrace CO ve spalinách tak přímo souvisejí se snižováním účinnosti spalovacího stacionárního zdroje.

1.8 Transformace energie a míra dokonalosti těchto dějů

Jak již bylo zmíněno výše, lidstvo se doposud nenaučilo energii vyrobit. Pro navýšení komfortu našeho života jsme se naučili energii pouze přeměňovat, nebo jiným slovem transformovat na jiný druh energie, který uživateli v daný okamžik lépe poslouží pro danou potřebu. Všechny tyto transformace jsou provázeny ztrátami, což jsou toky energií, které jsou pro uživatele v danou chvíli nechtěné. Míru dokonalosti transformace je možné zjednodušeně nazvat slovem **účinnost**.

Účinnost lze stanovit u jakékoliv transformace, tedy i u spalování paliva ve spalovacích stacionárních zdrojích do příkonu 300 kW. Pro její správné stanovení je vždy nutné si předem určit vstupní energii a chtěné a nechtěné výstupní energie. Např. u krbových kamen je vstupní energie chemická energie v palivu a výstupní energie je teplo přenesené do prostoru, který uživatel chce vytopit. V případě teplovodní kotle je chtěná výstupní energie teplo převedené do otopného média, naopak teplo přenesené do okolí kotle je obecně považováno za tepelnou ztrátu (patrně z toho důvodu, že kotel bývá často umístován do nevytápěných místností – kotelna, kůlna, sklep, garáž).

Celková účinnost spalovacího stacionárního zdroje je jedním z nejdůležitějších parametrů, který ukazuje na jeho celkovou kvalitu. Pokud hovoříme o účinnosti spalovacího stacionárního zdroje, které používáme pro vytápění domácností, je zřejmé, že s rostoucí účinností bude klesat spotřeba paliva, a tedy také náklady na palivo. Obdobně je možné konstatovat, že se snižující se účinností je nezbytné do spalovacího stacionárního zdroje přiložit více paliva, aby si uživatel udržel stejný tepelný komfort v domácnosti.

Běžný uživatel má minimální představu o tom, s jakou účinností pracuje jeho spalovací stacionární zdroj tj. kamna, krb, krbová vložka, sporák či kotel.

1.8.1 Jak stanovit účinnost spalovacího stacionárního zdroje do příkonu 300 kW v domácích podmínkách?

Účinnost lze stanovit dvěma způsoby, a to buď přímou anebo nepřímou metodou.

Přímá metoda stanovení účinnosti vychází z úvahy, že účinnost spalovacího stacionárního zdroje pro vytápění vyjadřuje poměr mezi využitou energií (to je množství tepla, kterým byly ohřáty obytné místnosti) a přivedenou energií (to je množství energie v palivu – výhřevnost a spotřeba paliva). Přímé stanovení je přesná metoda, která je ovšem s ohledem

na problematičnost stanovení hodnoty tepelného výkonu v domácích podmínkách pro běžného uživatele těžko použitelná.

Nepřímá metoda stanovení účinnosti je založena na následující úvaze: ideální stroj či zařízení pracuje s účinností 100 %, ve skutečnosti však žádné reálné zařízení není Perpetuum mobile a jeho účinnost je tedy vždy menší než 100 %. Skutečná účinnost je nižší o různé ztráty, tedy je možné říci, že účinnost je rovna 100 % mínus součet jednotlivých ztrát v %. Stanovením hlavních ztrát je možné relativně spolehlivě stanovit účinnost i v domácích podmínkách.

Zjednodušeně můžeme u stacionárních spalovacích zdrojů do příkonu 300 kW hovořit o těchto ztrátách:

- **Ztráta způsobená únikem hořlaviny v pevných zbytcích (tzv. ztráta mechanickým nedopalem)** – černý popel zpravidla obsahuje hořlavinu, která při spalování mohla shořet. Pokud je tento popel znehodnocen (např. vyhozen do popelnice, nebo na pole) nedošlo k transformaci chemické energie na teplo, čímž byla tato energie pro uživatele ztracena. Při spalování koksu někdy dochází ke spékání a nedokonalému vyhoření, což má za následek, navýšení této ztráty až k hodnotám okolo 10 %. V případě spalování nevhodného paliva, které obsahuje velký podíl jemných částic na roštu (např. netříděné uhlí, nebo piliny), může tato část propadnout do popelníku. V případě, že v popelníku nedohoří, výrazně se navýší ztráta mechanickým nedopalem. U teplovodních kotlů se tato ztráta většinou pohybuje v rozmezích od 2 do 4 %. Při spalování dřeva u krbových kamen se tato hodnota pohybuje kolem 0,5 %.
- **Ztráta způsobená únikem hořlaviny ve spalinách (tzv. ztráta plynným nedopalem).** Cílem každého uživatele spalovacího stacionárního zdroje je zajištění takových podmínek, aby spálení hořlaviny (C, H) v palivu bylo co nejdokonalejší. Pokud je spalování dokonalé, uhlík (C) shoří na oxid uhličitý (CO_2) a vodík (H) na vodu (H_2O). Pokud je spalování nedokonalé, uhlík shoří jen na jedovatý oxid uhelnatý (CO) anebo neshoří vůbec (saze). Typickým produktem nedokonalého spalování jsou také různé uhlovodíky (C_xH_y). CO a C_xH_y jsou hořlavé plyny. Pokud tyto hořlavé plyny opouštějí spalovací komoru, odnášejí chemickou energii, která mohla být transformována na teplo (výhřevnost [J/m^3]). Zjednodušeně řečeno, není možné získat teplo z paliva, které neshoří. U krbových kamen při objemovém zlomku CO do 0,1 % (velmi dobrá kamna) bude tato ztráta přibližně do 1 %, ale v případě horšího spalování při objemovém zlomku CO kolem jednoho procenta, může tato ztráta dosáhnout hodnot až 6 %.

Mimochodem podobný objemový zlomek CO je ve výfukových plynech starších benzínových motorů.

- **Ztráta způsobená únikem tepla z pevných zbytků (tzv. ztráta citelným teplem pevných zbytků).** Tato ztráta vzniká tehdy, pokud je z popelníku odebrán ven horký popel, který při chladnutí postupně odevzdá teplo do okolí (mimo určené žádoucí místo ve spalovací komoře). Při jednorázové dopravě paliva do kotle a kamen k tomuto běžně nedochází, proto je možné tuto ztrátu zanedbat.
- **Ztráta způsobená sdílením tepla do okolí stěnami kotle.** Primárním cílem teplovodního kotle je předat teplo spalin otopné vodě a ne vytápět kotelnu. Hodnota této ztráty závisí na tepelné izolaci stěn kotle, velikosti a teplotě povrchu kotle. U běžných teplovodních kotlů tato ztráta nepřevyšuje 2 %. Čím je tato ztráta větší, tím je v kotelně tepleji. U krbu, krbových a kachlových kamen, krbové vložky a kuchyňských sporáků se nejedná o ztrátu, protože je cílem těchto stacionárních zdrojů ohřívat vzduch v místnosti, kde jsou instalovány. Tepelný tok stěnami výše uvedených sálavých spalovacích stacionárních zdrojů do okolí se nenazývá ztráta, ale tepelný výkon.
- **Ztráta způsobená únikem tepla ve spalinách (tzv. ztráta citelným teplem spalin, nebo též komínová ztráta).** Komínová ztráta představuje tu část tepla, které tzv. vyletí komínem. Jedná se o nevyužité teplo spalin, kterým ještě mohla být ohřáta topná voda anebo vzduch ve vytápěném prostoru, ale z nějakého důvodu se tak nestalo. U dobře pracujících spalovacích stacionárních zdrojů nabývá tato ztráta významně vyšších hodnot než ostatní zmíněné ztráty. Z tohoto důvodu bude pro další úvahy zohledňována pouze tato ztráta a ostatní budou zanedbány.

Hodnotu komínové ztráty nejvíce ovlivňují dva parametry:

1. teplota spalin;
2. množství spalin, bez jejichž znalosti nejsme schopni účinnost spalovacího stacionárního zdroje stanovit.

Ad 1) Teplotou spalin je myšlena teplota, kterou mají spaliny na výstupu ze spalovacího stacionárního zdroje (mezi zdrojem a komínem). Bez informace o teplotě spalin, není možné stanovit účinnost spalovacího stacionárního zdroje. Zde může nastat komplikace s nalezením vhodného a přístupného místa ke kouřovodu. Největší problém je u zabudovaných krbových vložek. Teplotu spalin je možné jednoduše stanovit vhodným teploměrem. Ve většině obchodů, ve kterých prodávají kamna, je možné

zakoupit obyčejný analogový teploměr (rozsah alespoň do 400 °C). Dle individuální situace optimalizujte natočení ciferníku, délku a tuhost stonku teploměru. Ideální je měřit teplotu uvnitř kouřovodu (vyvrtat otvor a zasunout stonek, viz Obr. 6. Orientačně je možné stanovit teplotu na povrchu kouřovodu pomocí magnetického dotykového teploměru, přičemž je nutné počítat s vysokou chybou měření.

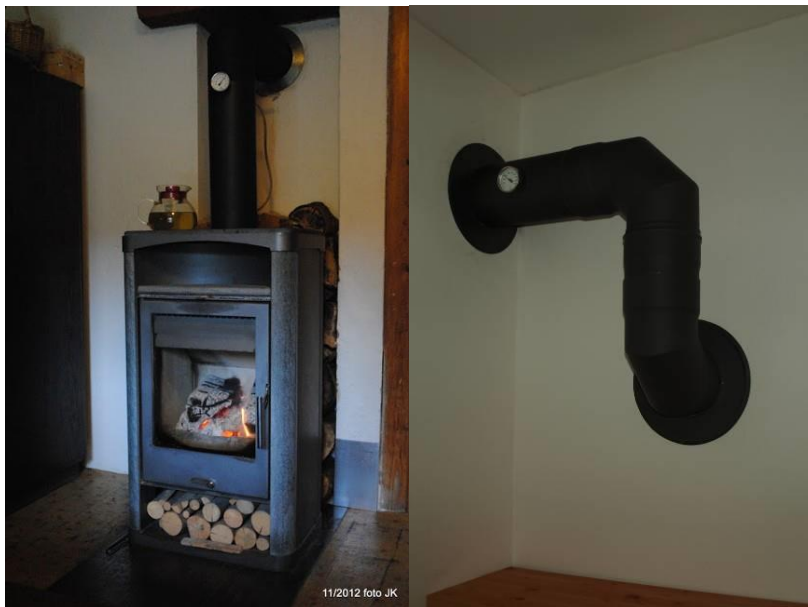
Není teploměr jako teploměr

Zákazník má zpravidla možnost vybrat si ze dvou typů konstrukcí dřívkový/magnetický.

Dřívkový teploměr je náročnější na instalaci (vrtání díry a připevnění malé příruby dvěma vruty). Konec dřívku je v cca středu kouřovodu. Díky konstrukci je měřená teplota spalin prezentovaná na ciferníku blízká průměrné teplotě spalin v kouřovodu. Zajištění teploměru červíkem v přírubě zajišťuje bezpečné uchycení bez nebezpečí vypadnutí.

Magnetický teploměr je jednoduchý na instalaci (stačí připlácnout). Z podstaty své konstrukce teploměr neměří teplotu spalin, ale vnější teplotu kouřovodu, která se může od teploty spalin významně lišit.

Ad 2) Stanovení množství spalin představuje ve srovnání se stanovením jejich teploty výrazně složitější úkol. Měření není snadné, ale na druhou stranu je zřejmé, že množství spalin úzce souvisí s tím, kolik spalovacího vzduchu je do spalovací komory přiváděno (ve většině případů nasáváno), tedy s jakým přebytkem spalovacího vzduchu (poměr množství vzduchu skutečného k množství vzduchu teoreticky potřebného) spalovací stacionární zdroj pracuje. Zjednodušeně je možné tvrdit, že množství spalin je přibližně stejné jako množství spalovacího vzduchu. Každý spalovací stacionární zdroj má oblast s optimálním přebytkem spalovacího vzduchu, kdy dosahuje nejlepších parametrů (účinnost, hmotnostní koncentrace znečišťujících látek). Množství spalovacího vzduchu ovlivňují dva faktory, a to nastavení všech regulačních prvků pro přívod spalovacího vzduchu (klapky apod.) spolu s parametry komínu a těsnost spalovacího stacionárního zdroje. Při uzavření všech regulačních prvků přívodu primárního, sekundárního popř. terciárního spalovacího vzduchu u těsného spalovacího stacionárního zdroje by mělo dojít k viditelnému pohasnutí plamene (lze zkontrolovat pouze u zdrojů s prosklenými dvířky). V případě, že po uzavření vzduchů plamen nepohasne, je zřejmé, že kamna nejsou těsná a jakákoliv regulace je zbytečná, protože je neúčinná.



Obr. 6 Příklad umístění teploměru za krbovými kameny

Netěsnosti je potřeba nalézt a odstranit. Jednoduchou metodou hledání netěsností je přiblížení zdroje kouře (např. zapálená cigareta) ke spalovacímu stacionárnímu zdroji, ve kterém hoří palivo a vyhledávání místa, v němž je kouř nasáván do kamen či kotle. Ve většině případů bývají největším zdrojem netěsnosti dvířka. Pro její odstranění většinou stačí vyměnit těsnicí šňůry na příkladacích dvířkách a vyměnit nalepovací těsnění u popelníků a skel.

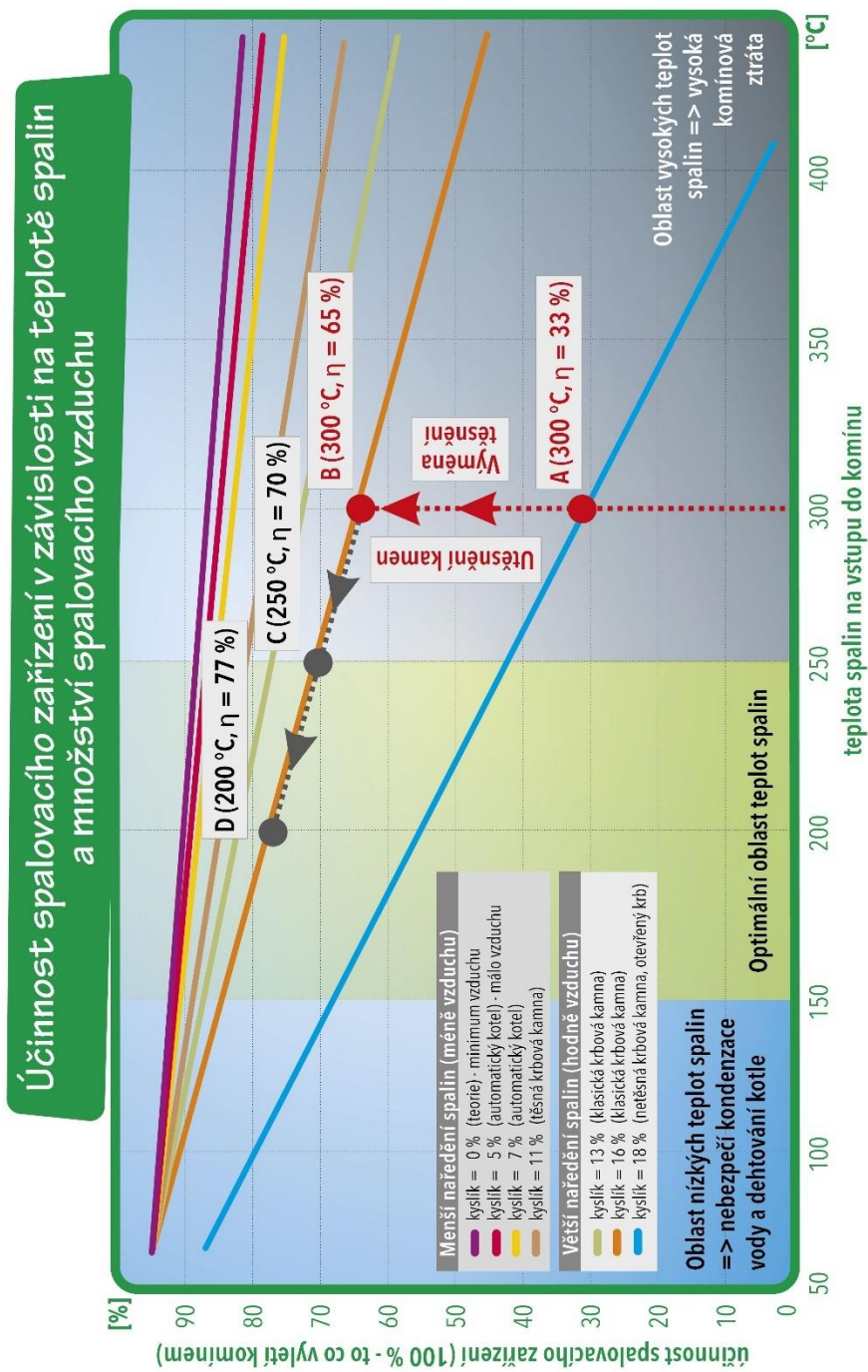
Po utěsnění spalovacího stacionárního zdroje je možné regulačními prvky významně ovlivňovat kvalitu spalovacího procesu. Cílem utěsnění netěsností je omezení přívodu falešného vzduchu, který negativně ovlivňuje kvalitu spalovacího procesu. Cílem však není úplné zamezení přívodu vzduchu k palivu, ale omezení přívodu falešného vzduchu do nevhodných míst ve spalovací komoře. Přivedení falešného spalovacího vzduchu do nevhodných míst má za následek pouze naředění a ochlazení spalin. Regulační prvky umožňují přivést dostatečné množství vzduchu na správné místo ve spalovací komoře. Regulační prvky je vhodné zcela uzavírat jen při testu těsnosti, nikdy ne po přiložení paliva.

Orientační stanovení těsnosti spalovacích stacionárních zdrojů, které nemají prosklená dvířka nebo průhledítko (většina teplovodních kotlů) je velmi problematické. Nejlépe je možné jej provést změřením objemového zlomku kyslíku ve spalinách, což bez přenosného analyzátoru spalin (používají je někteří kominíci) není možné v domácích podmínkách provést. Na základě

výše uvedených informací bude dále rozhodující vizuální zhodnocení stavu těsnosti při uzavření klappek (těsná/netěsná).

Informace o teplotě spalin a částečně o tom, jak je spalovací stacionární zdroj těsný postačí k orientačnímu stanovení jeho tepelné účinnosti. Postup práce pro Graf 11 je následující:

- Volba jedné z křivek podle legendy pod grafem a výsledku testu těsnosti, tak aby popisek nejlépe vystihoval aktuální situaci.
 - Jestliže se u klasických krbových kamen po uzavření všech regulačních klappek plamen nijak nezmenší, znamená to, že jsou kamna velmi netěsná a situace odpovídá modré křivce (18 % kyslíku ve spalinách). Znamená to, že množství vzduchu nasávaného do kamen se mění jen dle toho, jaký je tah komínu, popř. jak je nastavena komínová klapka. Pokud je komín v pořádku, můžeme předpokládat, že množství vzduchu je zbytečně velké a mnoho tepla jde do komína.
- Stanovení teploty spalin na výstupu z kamen v průběhu jedné spalovací periody (několikrát). Stanovení průměru z těchto teplot. Pro další popis bude počítáno s průměrnou naměřenou teplotou 300 °C.



Graf 11 Orientační závislost účinnosti spalovacího stacionárního zdroje na teplotě spalin a jeho těsnosti

- Průměrnou naměřenou hodnotu (např. 300 °C) vyhledáme na horizontální ose (ose x) na výše uvedeném grafu. Z tohoto bodu bude sestrojena kolmice směrem vzhůru. Označení průsečíku této kolmice a barevné křivky, která vystihuje aktuální stav (těsnost). Průsečíkem proložíme horizontální přímkou, která protne svislou osu grafu (osu y). Výsledná hodnota na svislé ose je výsledná účinnost kamen. V případě naměřené teploty spalin 300 °C a stavu kamen odpovídající modré křivce (bod A) je výsledná účinnost 33 %. V případě naměřené teploty spalin 300 °C a stavu kamen odpovídající oranžové křivce (bod B) je výsledná účinnost 65 %.
- Relativně jednoduchá opatření ke zvýšení těsnosti kamen v uvedeném případě znamenají snížení nákladů na palivo o cca polovinu při zachování stejného tepelného komfortu.

Cílem všech uživatelů spalovacích stacionárních zdrojů by mělo být snížení množství spalovaného paliva při zachování stejného tepelného komfortu (tj. zvýšit účinnost). Graf 11 ukazuje, jaké existují možnosti pro zlepšení. Při odstranění netěsností je možné zvýšit účinnost z původních cca 33 % na 65 %, čímž spotřeba paliva klesne na polovinu při zachování srovnatelného užítku.

Řešením není uzavřít všechny klapky přívodu spalovacího vzduchu, právě naopak. Regulačními prvky u těsných kamen dochází k regulaci potřebného množství spalovacího vzduchu. Oproti netěsným kamnům dochází k zásadnímu omezení přívodu falešného vzduchu. Přes těsná kamna prochází podstatně méně spalovacího vzduchu, než přes netěsná kamna, a tedy vzniká menší množství spalin. Regulační klapky jsou účinná metoda, jak řídit množství spalovacího vzduchu, pouze pokud nedochází k přísávání falešného vzduchu. Menší množství vzduchu znamená menší množství spalin a tím i menší komínovou ztrátu.

Graf 11 naznačuje, jaké existují další možnosti zvýšení účinnosti. Při snížení teploty spalin na výstupu z kamen, dochází ke snížení množství tepla odcházejícího komínem ven a tím opět zvýšíme účinnost. Teplotu spalin lze snížit snížením množství spalovaného paliva, nastavením regulačních prvků přívodu spalovacího vzduchu a intenzitou chlazení. U klasických krbových kamen je chlazení pláště problematické. U teplovodních kamen je nutné zkontrolovat, zda není výměník zanesený. Pokud není, řešením je zvýšení průtoku otopné vody a snížení teploty vratné vody (vždy je však nutné dodržet

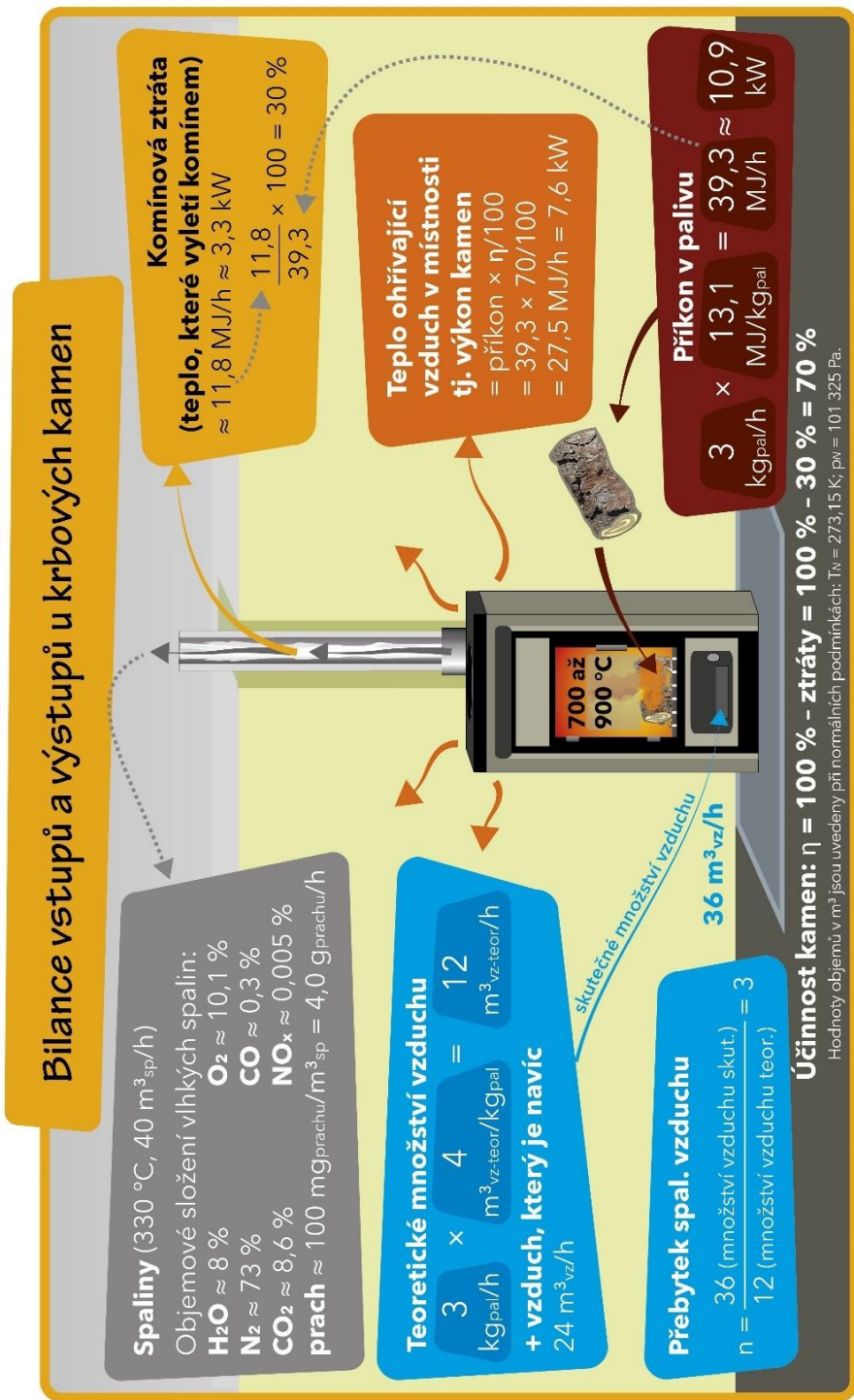
požadavky výrobce). U teplovzdušných krbových vložek je možné intenzitu chlazení zvýšit otevřením všech klapek pro přívod ohřátého vzduchu do místnosti nebo zapnutím ventilátoru ohřívaného vzduchu (pokud je instalován). Při snížení průměrné teploty spalin na hodnotu 250 °C (bod C na uvedeném grafu), je výsledná účinnost cca 70 %. Při průměrné teplotě spalin 200 °C (bod D na uvedeném grafu) by byla účinnost cca 77 % (příklady jsou uvedeny pro objemový zlomek kyslíku ve spalinách 16 %).

Teplota spalin by se u krbových kamen měla pohybovat v rozsahu od 150 do 300 °C. U teplovodních kotlů s ručním přikládáním paliva by to mělo být cca od 150 do 250 °C a u teplovodních kotlů s automatickou dodávkou paliva by to mělo být cca 125 – 150 °C. Pokud bude teplota příliš vysoká, odejde mnoho tepla komínem, což znamená velkou komínovou ztrátu. Ale pozor, teplotu spalin nelze snižovat donekonečna, protože pokud budou spaliny příliš chladné (pod 150 °C, záleží na složení spalin – obsah vody a SO₃), může dojít ke kondenzaci dehtových látek a vodní páry. Příliš nízká teplota spalin může mít také za následek snížení komínového tahu. Kondenzace zmíněných složek snižuje životnost komínu a spalovacího stacionárního zdroje. Jedná se tedy o kompromis, kdy spalinám musí být odebráno takové teplo, aby nedocházelo k neúčinnému vytápění a zároveň aby nedocházelo ke kondenzaci zmíněných složek na vnitřních stěnách komínového tělesa.

Příklad možné bilance jednotlivých vstupů a výstupů krbových kamen je uveden na Obr. 7.

Regulátor komínového tahu

S rostoucí teplotou spalin roste i komínový tah. Při vysoké teplotě spalin tak může být komínový tah i násobně vyšší, než je při certifikaci spalovacího stacionárního zdroje na zkušebně, což může mít za následek zvýšený průtok spalovacího vzduchu vedoucí ke snížení účinnosti. V takovém případě je vhodné instalovat regulátor komínového tahu, který sníží a zrovnoměrní průběh komínového tahu během provozu spalovacího stacionárního zdroje, čímž může významně zvýšit jeho výslednou účinnost.



Obr. 7 Bilance jednotlivých vstupů a výstupů krbových kamen

2 Palivové hospodářství

Palivo můžeme označit za nejdůležitější energetický vstup do spalovacího stacionárního zdroje. Získat palivo, správně jej připravit a nakonec ho správně využít, stojí velké úsilí a nezanedbatelné finanční náklady. Poměr mezi těmito dvěma parametry se liší dle typu paliva, dle typu spalovacího stacionárního zdroje a dle míry součinnosti uživatele na těchto činnostech. Pro srovnání je možné uvést příklady, kdy uživatel disponuje vlastním lesem, přičemž těžba dřeva a jeho zpracování na rozměry dané výrobcem používaného spalovacího stacionárního zdroje, jsou jeho koníčkem. Zároveň nemá nouzi o zastřešený prostor, kde může palivo dlouhodobě schnout. V takovém případě uživatel vynaloží velké úsilí, ale malé finanční náklady. Jako opačný příklad je možné uvést situaci, kdy si uživatel nechá dovést např. dřevní brikety nebo dřevní pelety za nezanedbatelnou cenu, přičemž úsilí spojené s přípravou paliva na použití je oproti prvnímu příkladu významně nižší.

Obecně platí, že palivo je látka, která hoří, a že se při tomto procesu uvolňuje teplo, které využíváme pro naše potřeby (topení, vaření, příprava teplé užitkové vody). Palivo se skládá z hořlaviny (h) a balastu. Hořlavina je ta část, kterou v palivu chceme, protože je nositelem energie. Balastem nazýváme tu část paliva, která je v palivu obsažena, ale nepřináší žádný energetický zisk, hovoříme o vodě (W) a popelovině (A). Se snižujícím se hmotnostním zlomkem vody a popeloviny se zvyšuje kvalita paliva, snáze a účinněji se spaluje a zároveň obsahuje více energie. Se snižujícím se hmotnostním zlomkem popeloviny se snižuje hmotnostní koncentrace TZL a zmenšuje se náročnost údržby spalovacího stacionárního zdroje (odpopelnění – pevný zbytek po spálení nazýváme popelem).

Organická složka paliva (hořlavina) se skládá z pěti základních prvků: C – uhlík, H – vodík, O – kyslík, N – dusík a S – síra. První tři zásadním způsobem ovlivňují vlastní spalovací proces a poslední dva spíše ovlivňují produkci znečišťujících látek (tvorba oxidů dusíku – NO_x a oxidu siřičitého – SO_2). Uhlík, vodík a síra představují aktivní prvky hořlaviny a jsou nositeli chemicky vázané energie, která se při jejich spalování uvolňuje a transformuje na teplo. Dusík představuje pasivní složku hořlaviny, protože do spalovací reakce nepřináší žádnou významnou energetickou hodnotu. Kyslík v palivu působí jako vnitřní okysličovadlo a o jeho množství se snižuje potřeba spalovacího vzduchu. Kyslík v palivu také významně ovlivňuje způsob hoření paliva. Složení hořlaviny jednotlivých paliv je proměnlivé. Recentní paliva (biomasa; zjednodušeně se jedná o paliva vzniklá během posledních 100 let) jsou málo

prouhelněna, takže se vyznačují nižším hmotnostním zlomkem uhlíku (cca 45 %) a vyšším hmotnostním zlomkem vodíku (cca 5 %) a kyslíku (cca 40 %). Stejně tak obsahují více prchavé hořlaviny (hořlavina, která se po dostatečném zahřátí uvolňuje v podobě hořlavých plynů), takže se snáze zapalují a hoří větším plamenem.

2.1 Druhy paliv

Paliva jako taková je možné rozdělit dle následujících základních kategorií. Rozsah uvedeného rozdělení je upraven pro porozumění oblasti vytápění domácností spalovacími stacionárními zdroji do příkonu 300 kW. U každého rozdělení bude v závorce uveden příklad.

Dělení paliv dle skupenství:

- Plynné (zemní plyn, propan, butan).
- Kapalné (lív, benzín, nafta).
- Pevné (dřevo, uhlí).

Podle obnovitelnosti/podle doby vzniku:

- Obnovitelné/recentní (dřevo, bioplyn, biolív).
- Neobnovitelné/fosilní (uhlí, zemní plyn, benzín).

Dále mohou být jednotlivé typy paliv rozdělovány dle specifických vlastností.

Granulometrie:

- U dřevních pelet se jedná o popsání charakteristických rozměrů – délka, průměr.
- U uhlí se jedná o zařazení do kategorie – Kostka (40 – 100 mm), Ořech 1 (20 – 40 mm), Ořech 2 (10 – 25 mm).
- U špalků dřeva se zpravidla jedná o popsání charakteristických rozměrů – délka, průměr.

Hmotnostní zlomek vody v palivu

- Vodě obsažené v palivu budou věnovány celé kapitoly této učebnice (např. Palivové hospodářství – 2.2.1 Sušení kusového dříví; Palivové hospodářství – 2.2.2 Stanovení hmotnostního zlomku vody a výhřevnosti dřeva v domácích podmínkách).

Měrná sirnatost

- Udává, jaká hmotnost síry připadá na jednotku výhřevnosti surového paliva.
- Měrná sirnatost uhlí spalovaného ve spalovacích stacionárních zdrojích do příkonu 300 kW je legislativně omezena vyhláškou č. 415/2012. Sb. o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší.
- V uvedené vyhlášce č. 415/2012 Sb. jsou uvedeny tyto limitní hodnoty:
 - Měrná sirnatost uhlí pro spalovací stacionární zdroje o celkovém jmenovitém tepelném příkonu do 300 kW včetně nesmí překročit $0,65 \text{ g} \cdot \text{MJ}^{-1}$.
 - Měrná sirnatost výlisků z uhlí, určených ke spalování ve spalovacích stacionárních zdrojích do příkonu 300 kW, nesmí překročit $0,50 \text{ g} \cdot \text{MJ}^{-1}$.
- Kvalitu paliva dodávaného koncovým uživatelům by měl hlídat jeho dodavatel.

Hmotnostní zlomek příměsí

- Problematika příměsí je aktuální především u paliv vzniklých zpracováním materiálu, tedy pelety a brikety. Např. dřevní pelety se řadí dle několika kritérií do kategorií A1, A2 a B, přičemž ze specifikace je zřejmé, že pelety s označením A1 mohou být vyrobeny pouze z čistého dřeva. Pro výrobu pelet s označením A2 mohly být využity celé stromy i s kůrou (bez kořenů). Pelety třídy B pak mohou být vyrobeny i odpadů z nábytkářského a dřevozpracujícího průmyslu a z odpadního nebo stavebního dřeva. Kvalita pelet má přímý vliv na chod kotle, komfort jeho použití (častější vynášení popela) a složení spalin především z pohledu hmotnostních koncentrací znečišťujících látek.
- Jinou kapitolou jsou dřevní pelety s obsahem chemicky ošetřeného dřeva a dalších příměsí, které nejsou na bázi biomasy, které nemohou získat žádnou z výše uvedených tříd a jsou pro spalování ve spalovacích stacionárních zdrojích do příkonu 300 kW nevhodné.

Z pohledu spalovacích stacionárních zdrojů do příkonu 300 kW je vždy nutné dodržet ve všech ohledech návod poskytnutý výrobcem daného výrobku a také zákon. Z hlediska zákona se jedná především o zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů (dále jen

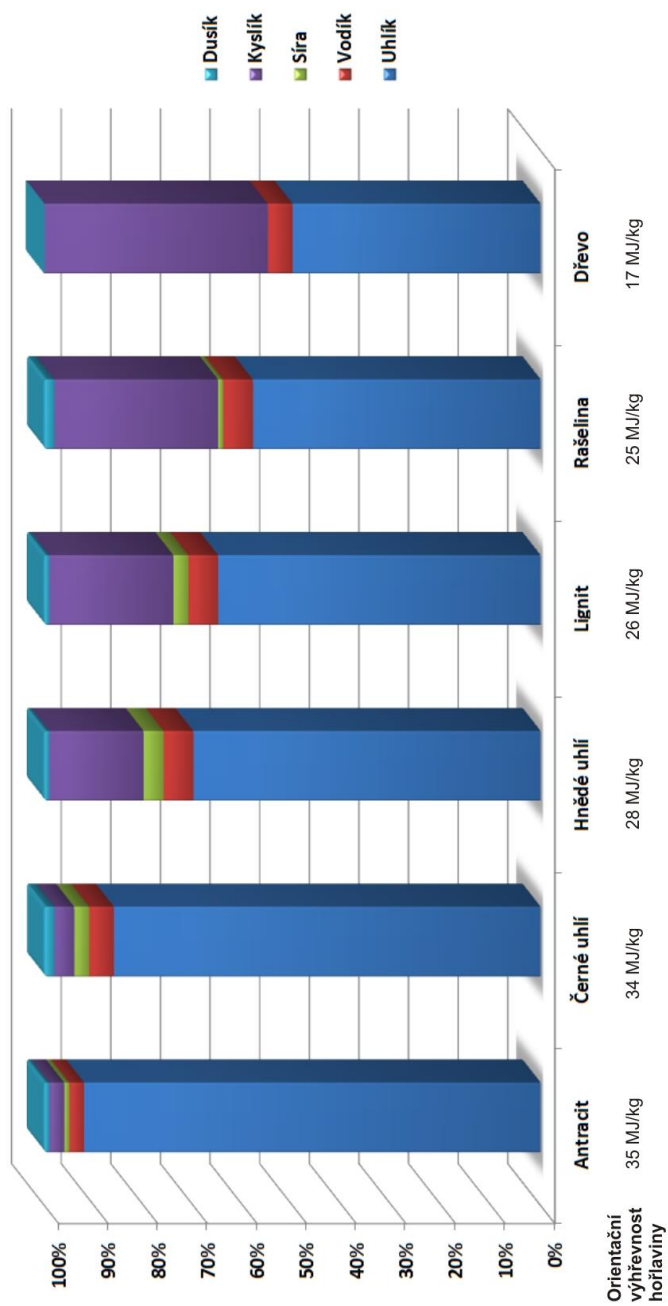
Zákon o ochraně ovzduší). S ohledem na výše uvedené dokumenty v České republice není dovoleno ve spalovacích stacionárních zdrojích do příkonu 300 kW určených pro vytápění domácností spalovat hnědé uhlí energetické, lignit, uhelné kaly, proplásky a odpad. Blíže specifikaci paliva, které je v daném spalovacím stacionárním zdroji do příkonu 300 kW možno spalovat, poskytuje právě návod výrobce. V případě, že uživatel nedodržuje parametry paliva dle návodu, přichází o záruku. V případě, že uživatel nedodržuje zákon, může být finančně postihnut.

Běžně se v České republice setkáváme s kotli pro vytápění domácností určenými pro spalování:

- Palivového dříví (různé délky a průměry dle rozměrů spalovací komory a násypky).
- Černého uhlí (kostka, ořech 1, ořech 2, hrášek 2) – slovní označení pro různé zrnitosti se může dle dodavatele lišit.
- Hnědého uhlí (kostka, ořech 1, ořech 2) – slovní označení pro různé zrnitosti se může dle dodavatele lišit.
- Dřevní pelety (nejčastěji s certifikací A1).
- Hnědouhelné brikety (různé délky a průměry/průřezy dle rozměrů spalovací komory a násypky).
- Koks (otopová směs, ořech 1, ořech 2).

Lidé se často mylně domnívají, že tvrdé dřevo (např. dub, ořešák, javor, třešeň, jabloň, jasan, buk, hrušeň, švestka, akát, habr) má větší výhřevnost než dřevo měkké (např. smrk, borovice, jedle, topol, vrba, lípa, modřín, bříza). Je to mylný názor, ale na druhou stranu je nutné říci, že spálením kousku tvrdého dřeva se uvolní více tepla, než když spálíme objemově stejný kousek měkkého dřeva. Důvodem je vyšší hustota ($\text{kg}_{\text{dřeva}}/\text{m}^3_{\text{dřeva}}$) tvrdého dřeva v porovnání s dřevem měkkým. Výhřevnost vyjadřuje množství tepla obsaženého v kilogramu paliva. Při stejném hmotnostním zlomku vody v palivu bude jeden koš měkkého dřeva lehčí než stejný koš tvrdého dřeva, takže při jeho spálení se uvolní více tepla. Kvalitní pelety či brikety mají hustotu o něco větší než voda, takže jednoduchým testem (vlození pelet do vody) je možné zjistit, jak kvalitní pelety jsou. Pokud se peleta ponoří a neplave, je její hustota větší než hustota vody $1\,000\text{ kg}_{\text{vody}}/\text{m}^3_{\text{vody}}$.

Příklad složení jednotlivých paliv používaných ve spalovacích stacionárních zdrojích do příkonu 300 kW v České republice znázorňuje Graf 12.



Graf 12 Srovnání prvkového složení hořlaviny různých paliv včetně jejich výhřevností

2.2 Těžba, příprava a skladování paliv

V případě spalování všech druhů paliv (mimo palivové dříví) nemá zákazník téměř možnost vstoupit do procesu těžby, ani přípravy paliva. Uhlí je těženo specializovanými společnostmi, které surovinu následně třídí do jednotlivých rozměrových kategorií. Uhlí je dále distribuováno buďto tzv. volně nebo v pytlech ke koncovým zákazníkům. Pelety a brikety jsou vyráběny z dřevního odpadu zpracovatelských společností. Na trhu jsou volně dostupné briketovací a peletovací lis, avšak jejich využití (a tedy i návratnost vstupní investice) souvisí s dostatečným přísunem pilin, kterým disponují pouze zpracovatelé surového dřeva. Výhodou koupě paliva, které bylo připraveno pro účely spalování v daném spalovacím stacionárním zdroji, je přenesení odpovědnosti za kvalitu paliva na jeho dodavatele.

Individuální těžbou dřeva se dá oproti výše uvedeným příkladům významně ušetřit, avšak jak již bylo zmíněno výše, musí pro tuto činnost být vynaloženo nemalé fyzické úsilí. S ohledem na tyto a mnoho dalších parametrů je na každém uživateli, aby si vybral vhodný spalovací stacionární zdroj a k tomu náležitě palivo tak, aby byl poměr práce a ceny dle jeho potřeb a možností.

Jakmile palivo doputuje k zákazníkovi, je zcela stěžejní způsob jeho uskladnění. Vzhledem k faktu, že skladování předchází spalování a trvá dlouhou dobu (v řádech měsíců až let), je velmi důležité z pohledu změny hmotnostního zlomku vody v palivu. Voda v palivu je parametr, který významně ovlivňuje kvalitu spalovacího procesu.

Vyjma palivového dřeva je důležité palivo pouze uklidit na suché, zastřešené místo a zároveň je možné jej hned odebírat a spalovat. V případě palivového dřeva by mělo být období mezi těžbou a spalováním podstatně delší, aby dřevo stihlo dostatečně vyschnout.

2.2.1 Sušení kusového dříví

Dřevo spalované v kotli, kamnech nebo např. v krbové vložce má mít přijatelný hmotnostní zlomek vody (tradičněji se označuje jako vlhkost), aby spalování probíhalo hospodárně, a zároveň aby byl minimalizován vliv na kvalitu ovzduší.

Spotřeba biomasy v českých domácnostech např. v roce 2017 byla cca 210 tis. tun briket a pelet a 10,1 M_{prmr} (tj. miliónů prostorových metrů rovných) palivového dřeva. Oproti roku 2003 došlo k nárůstu spotřeby lisované biomasy 10× (brikety a pelety) a 1,6× z pohledu palivového dřeva

ve srovnání s rokem 2017. Rozšíření využívání biomasy pro vytápění spalovacími stacionárním zdroji do příkonu 300 kW je rovněž v souladu se státní energetickou koncepcí ČR. Česká republika patří mezi státy s poměrně vysokým procentem zalesněného území (před vypuknutím kůrovcové kalamity před rokem 2015) – lesy tvoří asi 35 % celkové plochy, z čehož asi dvě třetiny představují dřeviny jehličnaté (smrk – 52 %, borovice – 15 %, jedle – 8 %) a třetinu pak dřeviny listnaté (buk – 14 %, dub – 4 %). Dřeviny jsou víceroční rostliny se zdřevnatělými kmeny a výhonky, rostoucí ve formě stromů, keřů a polokeřů. Výhodou dřeva oproti uhlí je, že neobsahuje síru a hmotnostní zlomek popeloviny v palivu je malý (pod 0,5 %_{hm}).

Se začátkem topné sezóny se výrazně zvyšuje poptávka po dřevu pro vytápění, ale nutno dodat, že koupit suché dřevo za rozumnou cenu není snadné. Většinou je dostupné pouze dřevo mokré – surové. S kůrovcovou kalamitou se tato skutečnost výrazně mění, ale jen pro smrkové dřevo.

Norma ČSN EN 844-1 definuje pro dřevozpracující průmysl mimo jiné pojmy: dřevo a dříví. Norma ČSN EN ISO 17225 je zaměřená na pevná biopaliva a definuje např. tyto pojmy: kulatina, poleno, palivové dřevo. Dále budou používány dva pojmy, a to celý špalek a čtvrtina špalku.

Dřeviny se dělí dle objemové hmotnosti do tří kategorií – lehké, středně těžké a těžké (viz Tab. 3). Objemová hmotnost závisí na druhu dřeva a také na jeho hmotnostním zlomku vody (s rostoucím hmotnostním zlomkem vody roste také objemová hmotnost). Objemová hmotnost dřeva v suchém stavu se u většiny dřevin pohybuje v rozmezí 400 – 700 kg·m⁻³.

Tab. 3 Rozdělení dřevin dle objemové hmotnosti

Dřeviny	Objemová hmotnost sušiny	Příklad dřevin
lehké	do 500 kg/m ³	topol, smrk, lípa
středně těžké	500 - 700 kg/m ³	modřín, javor, bříza, jasan, dub, třešeň
těžké	nad 700 kg/m ³	habr

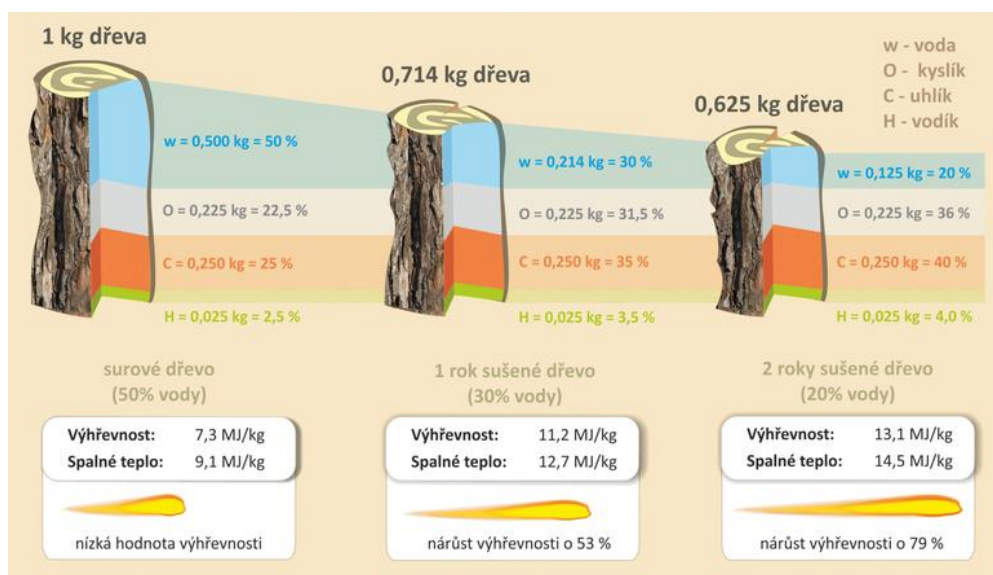
V praxi jsou používána dvě různá vyjádření vlhkosti dřeva: tzv. vlhkost **dřevařská** a **energetická**. Vlhkost dřevařská se stanovuje jako poměr množství vody ve vzorku k hmotnosti suchého vzorku dřeva.

$$w_{\text{dřevařská}} = \frac{\text{hmotnost vlhkého vzorku} - \text{hmotnost suchého vzorku}}{\text{hmotnost suchého vzorku}} \cdot 100 [\%]$$

Vlhkost energetická (hmotnostní zlomek vody v palivu) se stanoví jako poměr hmotnosti vody ve vzorku k hmotnosti vlhkého vzorku.

$$w_{\text{energetická}} = \frac{\text{hmotnost vlhkého vzorku} - \text{hmotnost suchého vzorku}}{\text{hmotnost vlhkého vzorku}} \cdot 100 [\%]$$

Čerstvě pokácený strom může být z poloviny tvořen vodou (záleží na druhu dřeva a období pokácení). V tomto případě tedy jeden kilogram surového dřeva obsahuje cca půl kilogramu vody. Dle výše uvedené definice je jeho dřevařská vlhkost rovna 100 % a energetická (hmotnostní zlomek vody v palivu) je 50 %. Pro energetické využití (spalování) bude dále hovořeno o energetické vlhkosti (hmotnostním zlomku vody v palivu). Kdyby dřevo bylo naprosto suché, tak by jeho výhřevnost byla cca 17 MJ/kg. Výhřevnost je přímo úměrně závislá na hmotnostním zlomku vody ve dřevě. Co se děje s kusem dřeva během přirozeného sušení je názorně zobrazeno na Obr. 9.



Obr. 9 Vysušování dřeva a průběh snižování vlhkosti

Běžně rozšířené tvrzení, že tvrdé dřevo má vyšší výhřevnost než měkké, není pravdivé. Výhřevnost je vztažena na hmotnost, nikoliv na objem. Výhřevnost hořlaviny dřevní biomasy je díky podobnému prvkovému složení téměř stejná. Při přiložení stejného objemu měkkého a tvrdého dřeva je rozdílná jejich hmotnost (vyšší u tvrdého dřeva), a tedy i chemická energie v nich uložená.

Hmotnostní zlomek vody ve dřevě má velký vliv na jeho výhřevnost. Tato veličina je nejdůležitějším parametrem, který charakterizuje dřevo jako palivo. Se snižujícím se hmotnostním zlomkem vody v palivu dochází ke zvýšení jeho výhřevnosti, tedy kvalita paliva roste. Spalování suchého dřeva je jednodušší proces, proto je spotřeba suchého dřeva výrazně nižší ve srovnání se spotřebou dřeva mokrého. Z předchozích studií také plyne, že ve spalínách produkovaných spalováním mokrého dřeva jsou vyšší hmotnostní koncentrace znečišťujících látek, jako např. CO, VOC, PAHs.

Hmotnostní zlomek vody se v surovém dřevě pohybuje přibližně od 40 % do 60 %. Jeho hodnota je ovlivněna druhem dřeviny a aktuálním vegetačním cyklem. Strom pokácený v zimě je podstatně sušší, než když je pokácen v létě. Doporučený hmotnostní zlomek vody palivového dřeva při jeho spalování je pod 20 %. Doporučenou hodnotu určuje výrobce v návodu k obsluze daného spalovacího stacionárního zdroje. Se zvyšujícím se hmotnostním zlomkem vody v přiloženém palivu se prodlužuje fáze jeho ohřevu a vysoušení. Tyto fáze odebírají energii z ohniště, což má za následek snižování jeho teploty (nižší teplota = horší spalování).

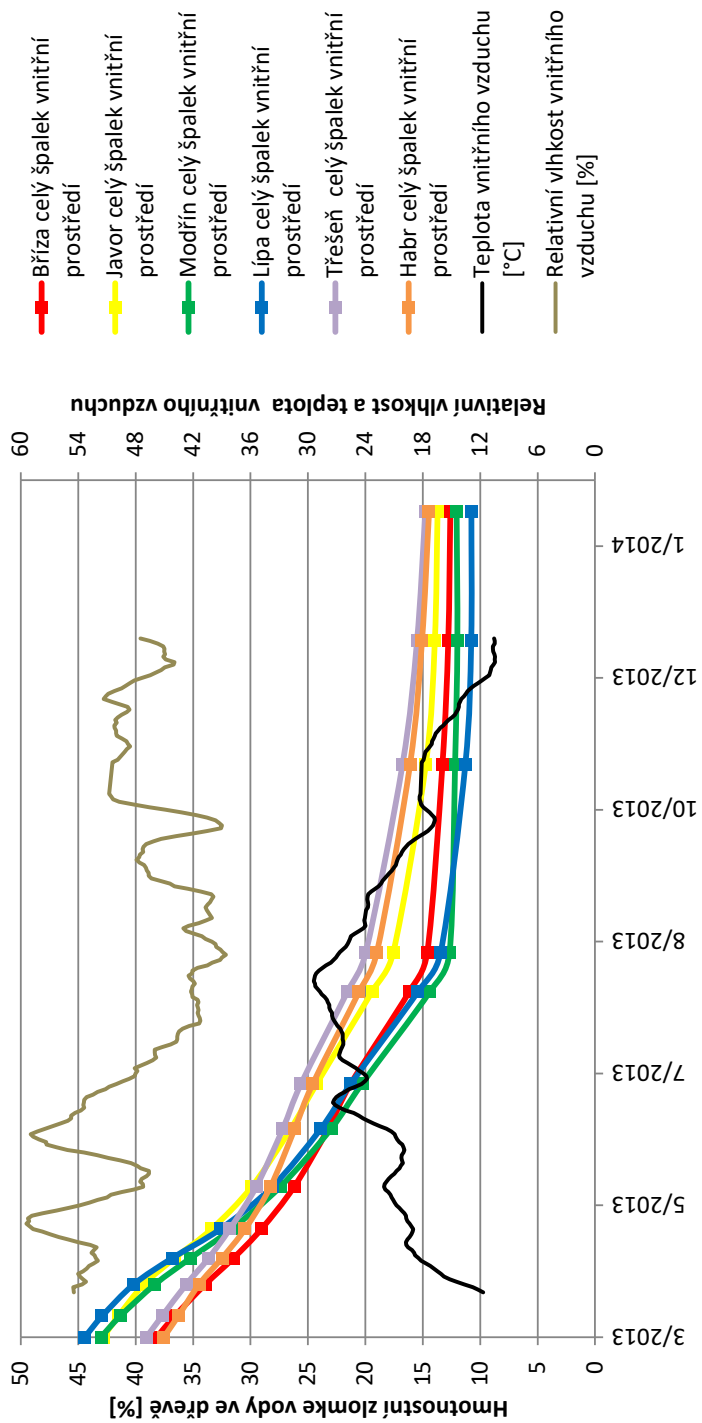
Níže uvedený výzkum byl zaměřen na stanovení doby potřebné pro sušení palivového dřeva v podnebí ČR tak, aby se hmotnostní zlomek vody v něm obsažený snížil na přijatelnou úroveň pro spalování, v závislosti na druhu dřeviny, tvaru sušeného dřeva a na podmínkách skladování dřeva. Smrky zasažené kůrovcovou kalamitou nebyly předmětem níže uvedeného výzkumu. Po úhynu stromu se začne hmotnostní zlomek vody ve dřevě významně snižovat.

2.2.1.1 Experimentální ověření závislosti doby schnutí dřeva na jeho hmotnostním zlomku vody

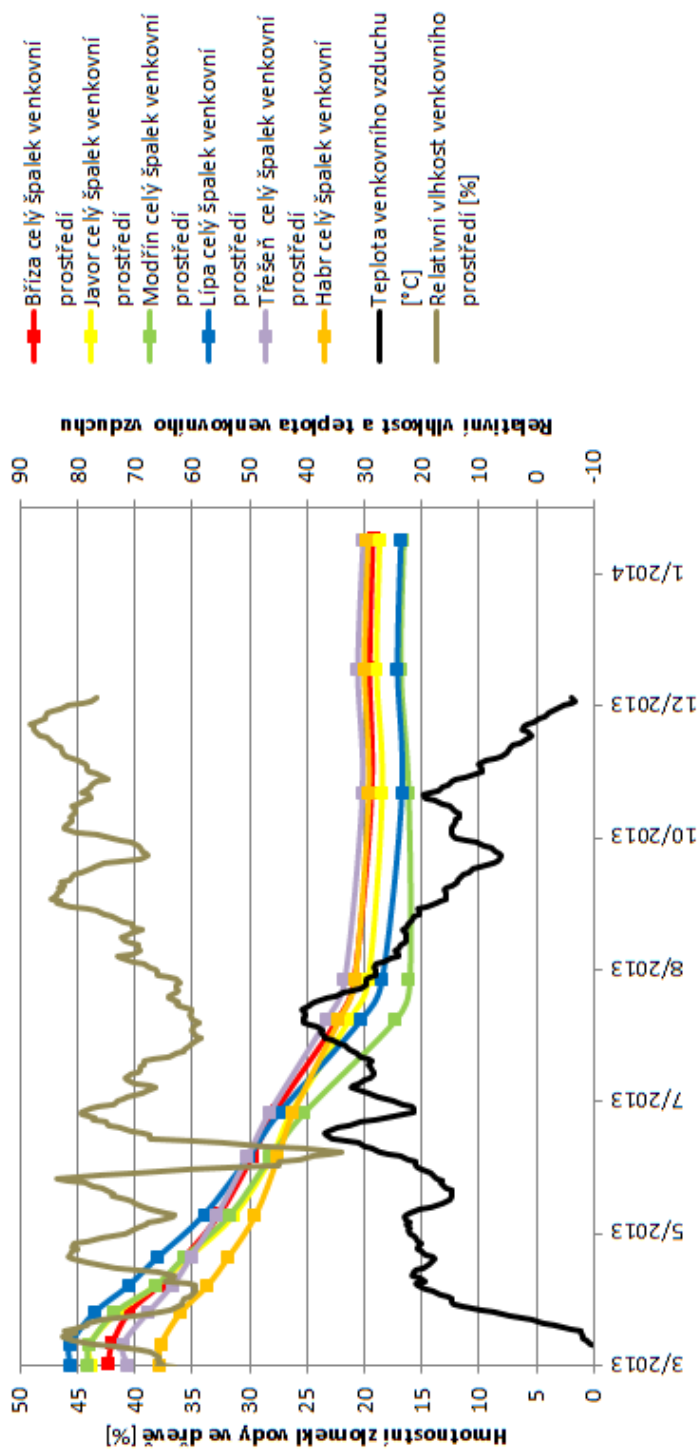
Výsledky uvedených experimentů sušení dřeva prezentované jako Graf 13, Graf 14, Graf 15 a Graf 16 ukazují, že na dobře větraném zastřešeném venkovním prostoru je možné dřevo usušit na uspokojivý hmotnostní zlomek vody ve dřevě pro spalování **již za jeden rok**. Při popsanych experimentech sušení dřeva byly všechny podmínky optimální a rychlost sušení je možno považovat za maximální možnou. Například při deštivém létě bude dřevo schnout déle, stejně tak pokud bude uskladněno na vlhkém stinném místě (např. u potoka na horách). V reálných podmínkách je dřevo naskládáno více

na sobě, čímž bude méně provzdušněné. Z pohledu přípravy dřeva na topení mohou být vyslovena tato doporučení:

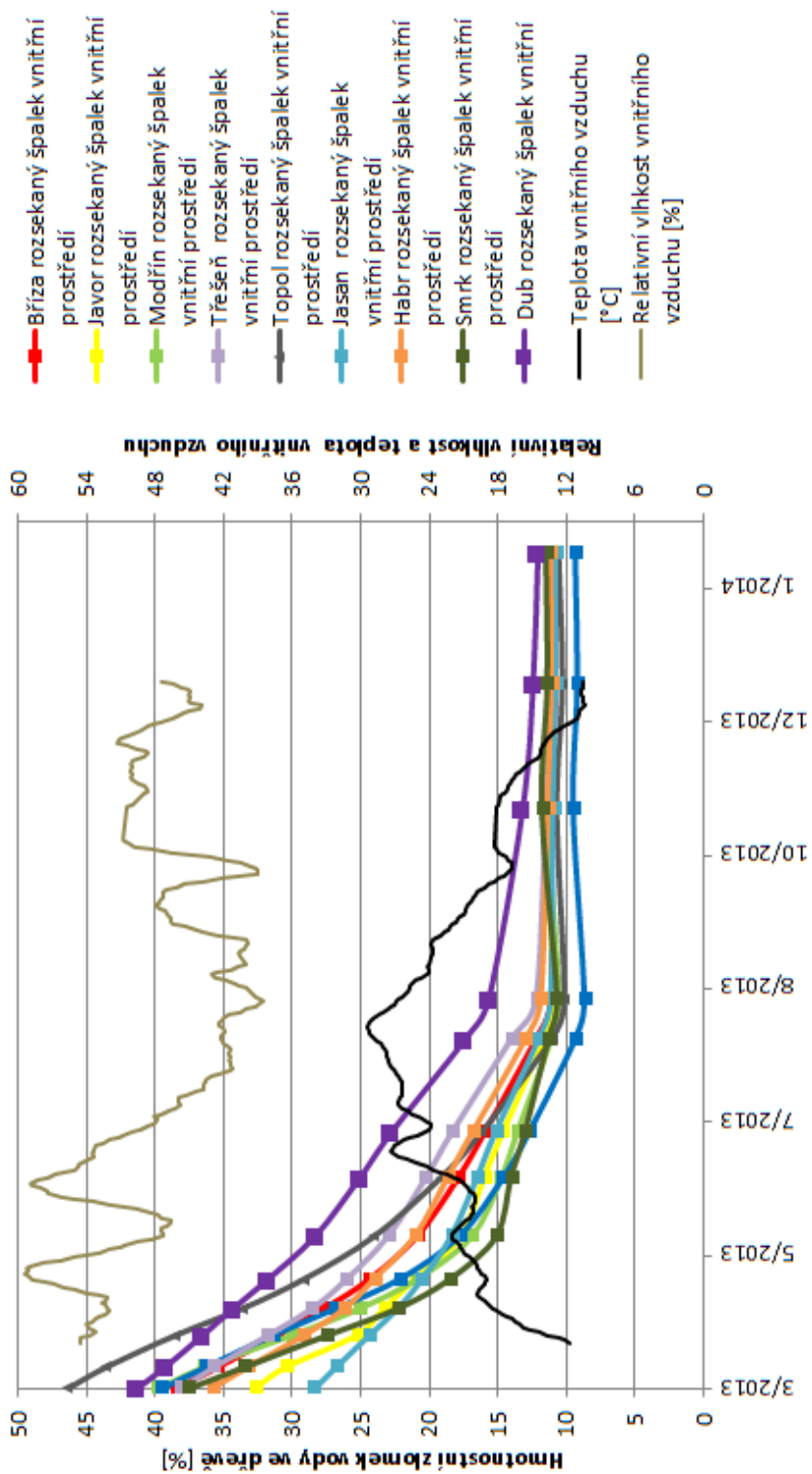
- Sušit dřevo minimálně jeden rok, lépe však dva (druhý bod SMOKEMANova desatera správného topiče). Z pohledu zvýšení výhřevnosti není mnohaleté (více než 3 roky) sušení dřeva výrazně přínosné.
- Doba potřebná na usušení lehkého dřeva (topol, smrk, lípa) na požadovaný hmotnostní zlomek vody je kratší než doba potřebná na usušení tvrdého dřeva (habr).
- Pro zajištění suchého kvalitního palivového dřeva je nutno zajistit prostor pro sušení a skladování. Dle roční spotřeby dřeva vznikají požadavky na prostory, na které je nutno pamatovat při rozhodování o druhu vytápění.
- Surové dřevo s vysokým hmotnostním zlomkem vody nebo nahromaděné dřevo musí být provětráváno, jinak se nastartuje biologický rozklad (hnití), při kterém dochází k úbytku hořlaviny a také pevnosti dřeva.
- Celé špalky schnou pomaleji než čtvrtiny špalků, protože měrný povrch čtvrtin je větší než u celých špalků. Z pohledu rychlosti sušení dřeva, ale i z pohledu náročnosti štípání, je vhodné dřevo na topení našťípat za mokra.



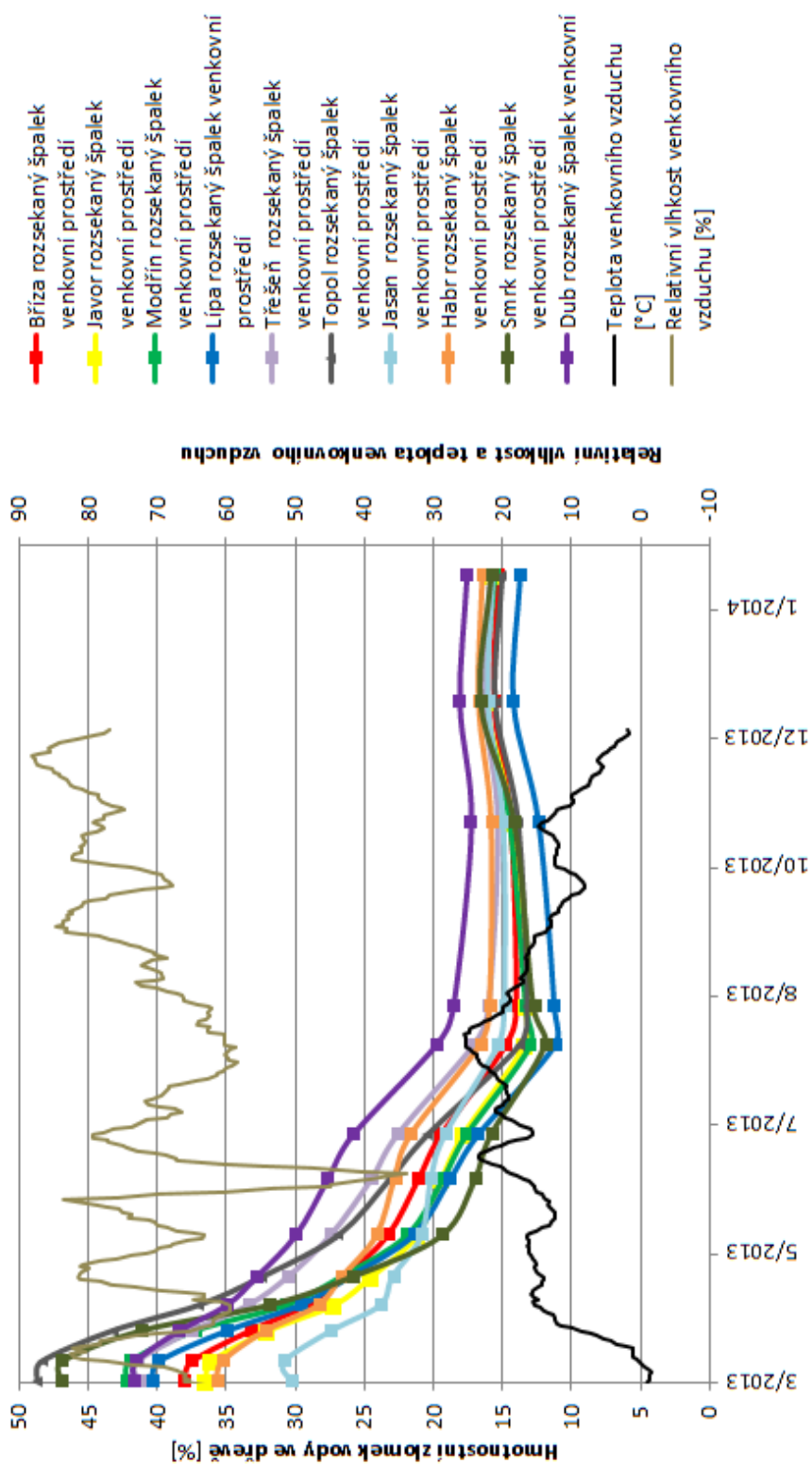
Graf 13 Průběh sušení dřeva v závislosti na podmínkách skladování, druhu dřevin a tvaru dřeva



Graf 14 Průběh sušení dřeva v závislosti na podmínkách skladování, druhu dřevin a tvaru dřeva



Graf 15 Průběh sušení dřeva v závislosti na podmínkách skladování, druhu dřevin a tvaru dřeva



Graf 16 Průběh sušení dřeva v závislosti na podmínkách skladování, druhu dřevin a tvaru dřeva

2.2.2 Stanovení hmotnostního zlomku vody a výhřevnosti dřeva v domácích podmínkách

Cílem této kapitoly je popsání postupu stanovení hmotnostního zlomku vody a výhřevnosti dřeva v domácích podmínkách s využitím běžného domácího vybavení (kuchyňská váha, mikrovlnná trouba). Díky tomuto postupu si může i běžný uživatel spalovacího stacionárního zdroje do příkonu 300 kW ověřit kvalitu svého paliva.

2.2.2.1 Příprava

Kusové dřevo by mělo být nasekáno na třísky přibližně ve tvaru hranolu o tloušťce cca 1 cm tak, aby byly kratší než průměr otočného talíře mikrovlnné trouby a mohly se při sušení v troubě volně otáčet. Přesnost měření se odvíjí od homogenity třísek (čím budou jejich rozměry podobnější, tím bude měření přesnější). Z jednoho kusu dřeva (špalku) je nutné připravit min. dvě hromádky třísek (vzorky) o hmotnosti vždy přibližně 100 g. Čím více vzorků (opakování) bude provedeno, tím bude měření přesnější (průměr z jednotlivých výsledků). Jako zdroj tepla pro vysoušení bude použita klasická (nevestavěná) mikrovlnná trouba. Během sušení je nutné pozorně sledovat odcházející výpary, je tedy nutné zpřístupnit její větrací otvor – je vhodné přesunout troubu do dostupné pozice např. na stůl.

2.2.2.2 Vážení a vložení třísek do mikrovlnné trouby

Na kuchyňskou váhu bude umístěn prázdný otočný talíř z mikrovlnné trouby. Následně bude váha vynulována. Jedna dávka třísek (100 g) bude postupně naskládána na otočný talíř na váze. Pro zajištění ideálního vysoušení budou třísky skládány do tvaru hranice. Čím menší plochou se jednotlivé třísky dotýkají, tím později se začne odpařovat prchavá hořlavina (objeví se štiplavý zápach) a tím budou výsledky věrohodnější. Po naskládání třísek na talíř, bude zapsána hmotnost třísek před sušením = hmotnost vlhkého vzorku (při pokusu na zkušebně Výzkumného energetického centra vážil 100,5 g vzorek č. 4). Otočný talíř i s třískami byl následně vložen do mikrovlnné trouby.

2.2.2.3 Sušení vlhkého vzorku dřeva

Výkon mikrovlnné trouby byl nastaven na maximální hodnotu a čas na cca 10 minut. Po zapnutí dojde k zahřívání třísek, čímž se bude vypařovat voda v nich obsažená. Doba potřebná pro úplné vysoušení vzorku dřeva je rozdílná, protože závisí na jeho počátečním hmotnostním zlomku vody,

množství a velikosti třísek. Od počátku sušení je nutné pozorně sledovat zápach vycházející z větracího otvoru trouby. V první fázi dochází k sušení, které je provázeno příjemnou vůní dřeva. Vůně dřeva se po cca 2 až 4 minutách provozu mikrovlnné trouby změnil na štiplavý zápach. Štiplavý zápach značí přechod z fáze sušení do fáze uvolňování prchavé hořlaviny. Ihned po indikaci změny zápachu je nutné vypnout mikrovlnnou troubu. V případě, že by vzorek dřeva byl vysoušen delší dobu, než je nutné, bude pokračovat uvolňování prchavé hořlaviny až do takového stavu, kdy dřevo začne kouřit a pálit se. Takový stav je znázorněn na Obr. 11. Tomuto stavu je nutné se vyvarovat jednak proto, že je velmi nebezpečný z hlediska požární bezpečnosti (při pokračování chodu mikrovlnné trouby by mohlo dojít ke vzplanutí třísek) a také z hlediska znehodnocení výsledků. Během tohoto experimentu je nutné stále věnovat mikrovlnné troubě plnou pozornost a nevzdalovat se od ní!



Obr. 11 Vzorky třísek, které byly sušeny zbytečně dlouho – vzorek dřeva sušte tak, abyste tohoto vzhledu nikdy nedosáhli.

2.2.2.4 Stanovení energetické vlhkosti dřeva

Po vypnutí mikrovlnné trouby budou třísky i s talířkem přesunuty na váhu, načež bude opsána hmotnost suchého vzorku. Pozor, talíř i třísky jsou horké, je tedy vhodné použít ochranné pomůcky (kuchyňské rukavice).

Při experimentu na zkušebně Výzkumného energetického centra byla naměřena koncová hmotnost 89,3 g z původních 100,5 g.

Ze známé hmotnosti vlhkého a suchého vzorku dřeva bude dle následujícího vzorce proveden výpočet vlhkosti paliva:

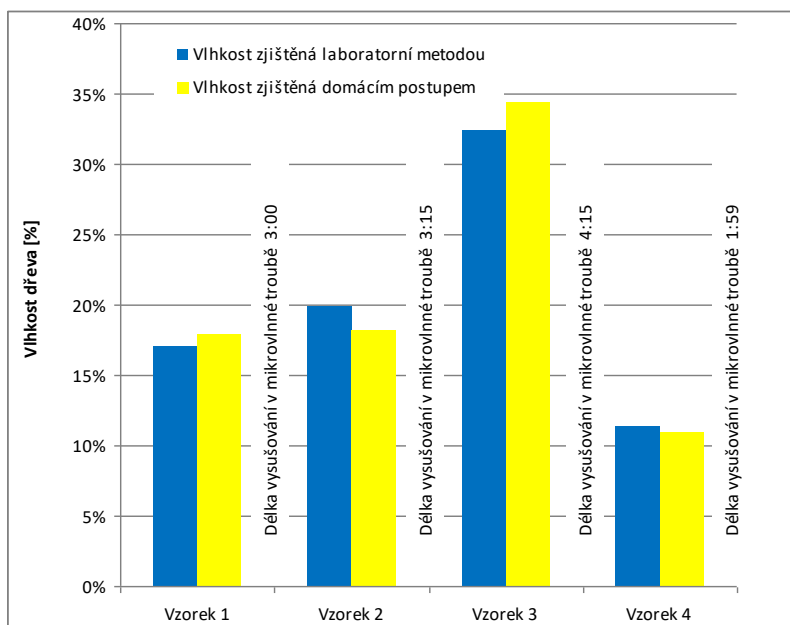
$$w_{\text{energetická}} = \frac{\text{hmotnost vlhkého vzorku} - \text{hmotnost suchého vzorku}}{\text{hmotnost vlhkého vzorku}} \cdot 100 [\%]$$

Pro názornost je zde uveden příklad výpočtu hmotnostního zlomku vody ve dřevě (energetická vlhkost) pro vzorek č. 4:

$$W_{\text{energetická}} = \frac{100,5 - 89,3}{100,5} \cdot 100 = 11,1 \%$$

Na zkušebně Výzkumného energetického centra byl hmotnostní zlomek vody v různých druzích paliv stanovován opakovaně za použití výše popsané metody (využití mikrovlnné trouby) a přesnější laboratorní metody (kvalitnější váhy, jiná navážka, sušení při 105 °C do konstantní hmotnosti).

Porovnání výsledků čtyř různých vzorků dřeva (viz Graf 17) ukazuje na velmi dobrou shodu výsledků obou metod (max. odchylka byla 1,9 %). Výsledky ukazují, že přestože metoda stanovení hmotnostního zlomku vody ve dřevě pomocí výše uvedeného postupu za pomoci mikrovlnné trouby je orientační, pro domácí užití poskytuje dostatečně důvěryhodné výsledky.

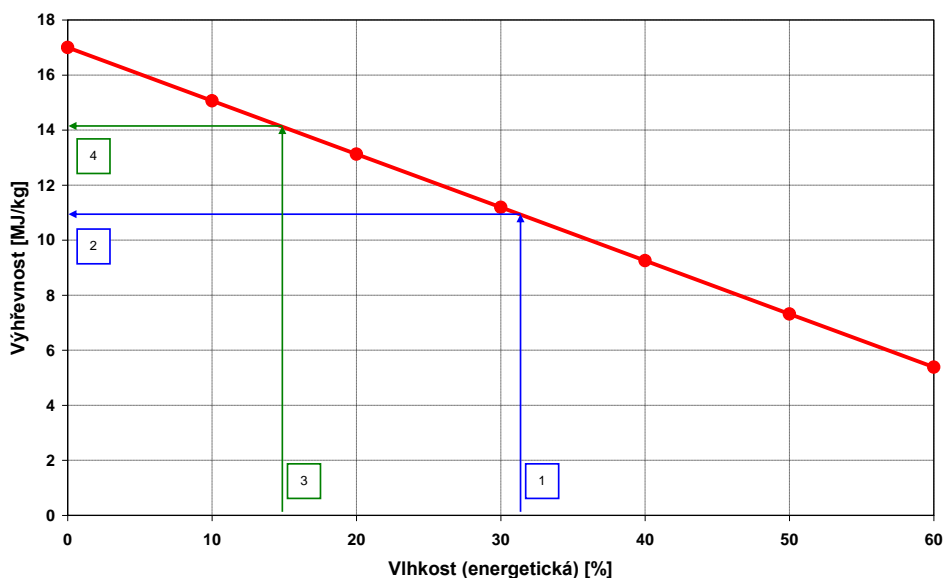


Graf 17 Výsledky stanovení vlhkosti dřeva pomocí domácího postupu a laboratorní metodou.

2.2.2.5 Stanovení výhřevnosti dřeva

Výhřevnost čisté hořlaviny je cca 17 MJ/kg. Zjednodušeně je možné říci, že se snižujícím se hmotnostním zlomkem vody v palivovém dříví se jeho

výhřevnost zvyšuje. Příklad závislosti výhřevnosti na energetické vlhkosti paliva byl znázorněn na Graf 18 (sklon křivky se může dle složení dřeva nepatrně měnit, což ale pro tyto účely není podstatné). Dle vypočtené energetické vlhkosti dřeva, je možné na základě uvedeného grafu stanovit hodnotu jeho výhřevnosti. Např. u vzorku č. 3 dosáhla vlhkost hodnoty 32,5 % (bod 1), což dle obrázku odpovídá výhřevnosti (bod 2) 10,7 MJ/kg. Přibližně za rok (až dva) sušení pod přístřeškem by mohl tento vzorek mít energetickou vlhkost cca 15 % (bod 3), což dle obrázku (bod 4) odpovídá výhřevnosti 14,1 MJ/kg. Sušením jsme tedy dosáhli navýšení výhřevnosti o 3,4 MJ/kg (cca o 30 %). Není to tak, že by došlo k navýšení množství energie, ale suché dřevo je lehčí, takže množství energie na kilogram dřeva je větší a sušší dřevo se dá kvalitněji spálit.



Graf 18 Závislost výhřevnosti na vlhkosti dřeva.

2.2.2.6 Výpočet hmotnosti dávky paliva podle požadovaného tepelného výkonu kotle

Jak již bylo uvedeno výše, energie je vázána na hmotu. Ve dřevě hoří hořlavina, avšak zároveň s ní přikládáme i balast ve formě vody a popeloviny. Hmotnostní zlomek vody ve dřevě rovněž souvisí s nakládáním s palivem z pohledu celkové hmotnosti přikládaného paliva do kotle v jedné dávce. Dle následujícího výpočtu je možné stanovit hmotnost jedné dávky paliva

do kotle při známém tepelném výkonu, účinnosti, výhřevnosti paliva a času mezi přiloženími.

Nejprve je nutné stanovit potřebný příkon kotle při jmenovitém tepelném výkonu:

$$P_{rjm} = \frac{P_{jm}}{\eta} [kW]$$

P_{rjm} příkon při jmenovitém tepelném výkonu [kW]

P_{jm} jmenovitý tepelný výkon [kW]

η účinnost kotle [–]

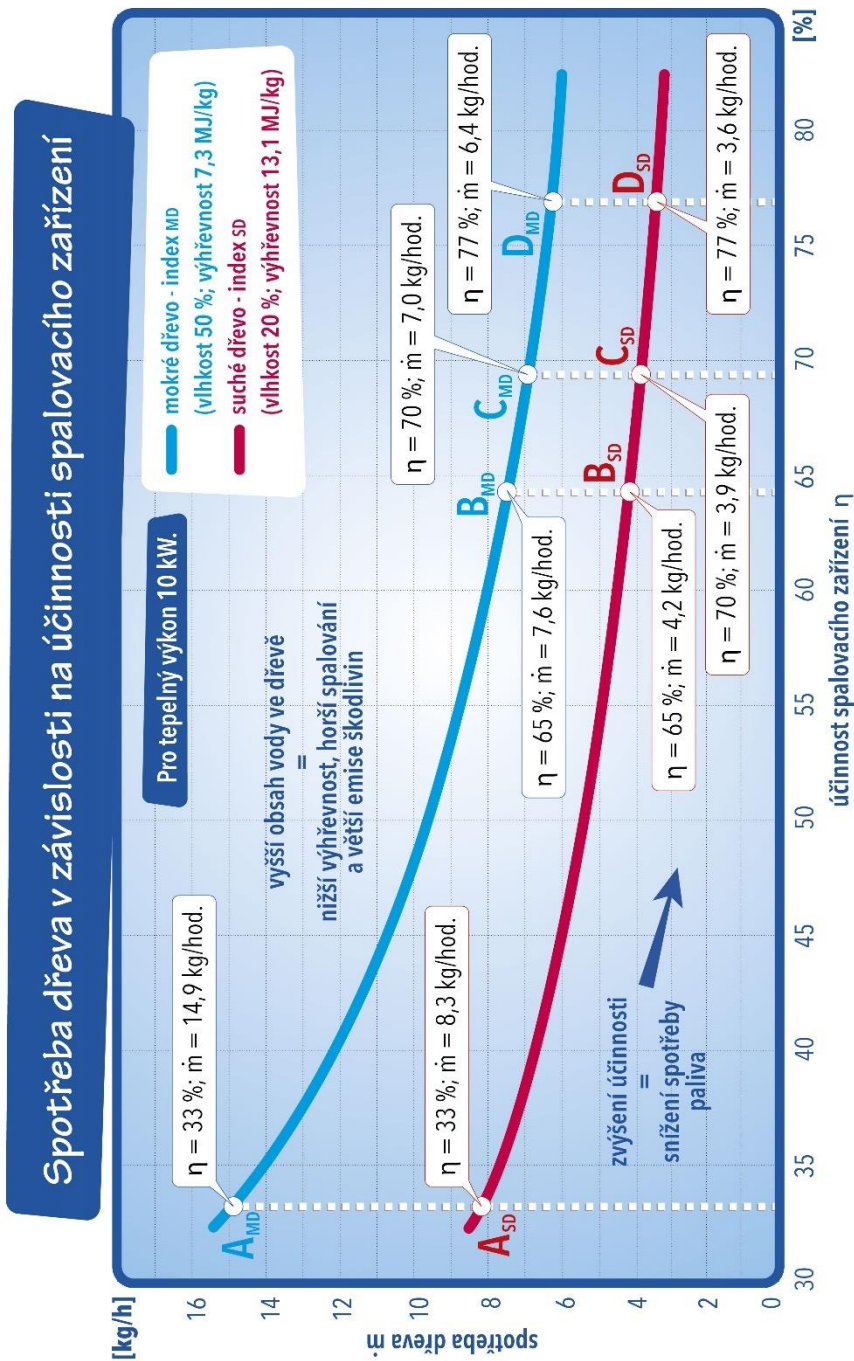
Dávka paliva pro hodinové udržení jmenovitého tepelného výkonu kotle (při zjednodušení, že po dobu celé periody se uvolňuje stejné množství tepla).

$$m = \frac{P_{rjm} \cdot t \cdot 3,6}{Q_i} [kg]$$

t čas hoření jedné dávky paliva [h]

Q_i výhřevnost paliva vztažená na jednotku hmotnosti [MJ/kg]

Pro dosažení průměrného tepelného výkonu např. 15 kW při intervalu přikládání 2 hodiny a účinnosti kotle 70 % je potřeba přikládat cca 19,3 kg čerstvého/nesušeného dřeva (50 %_{hm} vody), zatímco suchého dřeva (20 %_{hm} vody) je potřeba přiložit pouze 10,8 kg. Tyto výsledky potvrzují, že zvýšení komfortu při přikládání významně souvisí s hmotnostním zlomkem vody ve dřevě. Uživatel spalující vysušené dřevo fyzicky zvedá při každém naložení paliva do kotle cca o 44 % menší hmotnost paliva než uživatel využívající čerstvé dřevo. Tento fakt prezentuje Graf 19, kdy modrá křivka charakterizuje hmotnosti čerstvého dřeva přikládaného do kotle a červená křivka hmotnosti suchého dřeva přikládaného do kotle. Při spalování kvalitního černého uhlí se ekvivalentní dávka přiložení pohybuje okolo 5,5 kg.



Graf 19 Spotřeba dřeva v závislosti na obsahu vody ve dřevě a účinnosti spalovacího stacionárního zdroje

2.2.3 Podmínky v kotelně, rozměrové požadavky na skladovací prostory

Při volbě paliva, které bude v dané kotelně spalováno, je nutné zvážit míru prašnosti, která je s některými palivy spjata. Prašnost v kotelně vzniká hlavně při odpopelňování a následně během přikládání paliva.

Čerstvě pokácené dřevo je specifické vysokým hmotnostním zlomkem vody, což vyžaduje jeho sušení, čímž je náročnější z hlediska potřebných skladovacích prostor. Zároveň musí být vzhledem k trvání sušení uskladněno palivo na 2 až 3 topné sezóny, což významně navyšuje požadavky na skladovací prostory. Dřevo má v porovnání s ostatními palivy malou energetickou hustotu [MJ/m^3].

Sušení biomasy v podobě pelet a briket již není nutné, protože hmotnostní zlomek vody v nich je velmi malý (cca 6 až 10 %). Při vynechání procesu sušení jsou nároky na skladovací prostory násobně nižší. Lisovaná biomasa má zároveň vyšší výhřevnost než dobře vysušené dřevo (cca 17 MJ/kg). Brikety jsou většinou dodávány v balících po 10 nebo 8 kg, manipulace s nimi je jednoduchá a nedochází ke zvýšené prašnosti. Dřevní pelety jsou dodávány buď jako sypané (volně ložené), nebo pytlované. Jeden pytel pelet váží většinou 15 kg a kromě ochrany vůči zvýšené prašnosti při manipulaci s palivem slouží pytel jako částečná ochrana vůči vlhkosti.

Hnědé uhlí má cca dvojnásobnou výhřevnost vztaženou na jednotku objemu [MJ/m^3] oproti dřevu (špalky o energetické vlhkosti méně než 20 %), tedy potřebuje cca poloviční skladovací prostory na jednu topnou sezónu. Černé uhlí má cca trojnásobnou výhřevnost na jednotku objemu, tedy skladovací prostory při zachování stejného množství energie jsou pro černé uhlí oproti dřevu třetinové.

Stejně poměry jsou i u požadovaných objemů násypky paliva. Do stejně velké násypky paliva, plně naložené dřevem, se vejde cca dvojnásobné množství chemicky vázané energie v palivu, pokud je naplněna hnědým uhlím a cca trojnásobné množství chemicky vázané energie v palivu, pokud je naplněna černým uhlím (tyto poměry se budou lišit dle reálného tvaru jednotlivých kusů dřeva, granulometrie uhlí, výhřevnosti apod.).

2.3 Stanovení spalného tepla a výpočet výhřevnosti

Základními a zřejmě i nejdůležitějšími parametry, které charakterizují palivo, jsou **výhřevnost a spalné teplo**. Zjednodušeně řečeno tyto veličiny vyjadřují množství chemicky vázaného tepla (např. v MJ nebo kWh), které se uvolní při dokonalém spálení jednotkové hmotnosti paliva

(např. v $\text{kg}_{\text{paliva}}$ nebo v t_{paliva}). Zjednodušeně napsáno, čím je větší výhřevnost spalovaného paliva, tím menší hmotnost je nutné přikládat, pro zajištění shodného tepelného komfortu. Hodnota výhřevnosti závisí pouze na obsahu aktivních prvků hořlaviny (C, H, S). Čím větší část paliva bude tvořena těmito prvky, tím více energie bude obsahovat, a tím větší výhřevnost bude mít. Se zvyšujícím se obsahem vody a popeloviny se snižuje obsah aktivních prvků, a tedy výhřevnost klesá. Obsah popeloviny je možné ovlivnit jen minimálně, ale hmotnostní zlomek vody např. u biomasy (dřeva apod.) je možné výrazně snížit sušením.

Množství energie v palivu je vyjadřována buď jako výhřevnost nebo jako spalné teplo. Výhřevnost se nedá změřit a počítá se ze spalného tepla, které se stanoví v kalorimetru a z hmotnostního zlomku vodíku (prvkový rozbor paliva). Nejlépe lze pochopit rozdíl mezi výhřevností a spalným teplem při popisu způsobu získávání těchto hodnot. Spalné teplo se měří v **kalorimetru**, který je možné si představit jako nádobu (patrona – podobná nerezové termosce), do které se vkládá miska s přibližně jedním gramem (jedna polovina kávové lžičky) najemno pomletého paliva. Nádoba je po uzavření naplněna kyslíkem (kyslík zajistí úplné shoření paliva). Následně je palivo zapáleno. Při hoření paliva (exotermická reakce) se uvolňuje teplo. Celá nádoba je ponořena ve vodě (o okolní teplotě laboratoře cca 20 °C), která se díky uvolněnému teplu zahřívá, celá nádoba s vodou je tepelně izolovaná od okolí. Během a po hoření dochází k přenosu tepla do vodní lázně, která je přesně monitorována z pohledu teploty (standardní průběh je takový, že po iniciaci paliva teplota prudce vzroste a následně se ustálí na hodnotě do 25 °C). Známé množství zahřáté vody, hodnota měrné tepelné kapacity vody a teplotní diference je přímo úměrná teplu např. v kJ, které se uvolnilo při spalování známého množství paliva např. v g. Tento poměr představuje spalné teplo paliva, které se vyjadřuje např. v kJ/g, MJ/kg, GJ/t, kWh/kg apod. **Spalné teplo** je definováno jako teplo, které bylo uvolněno při spálení jednotkového množství paliva s tím, že produkty spalování (spaliny) jsou ochlazené na původní teplotu paliva, takže veškerá voda obsažená ve spalinách zkondenzuje a na konci experimentu je v kapalném stavu. U **výchřevnosti** je tomu tak, že voda ve spalinách nezkondenzuje (přestože by byly ochlazené na původní teplotu), ale zůstane v plynném stavu, takže se neuvolní skupenské teplo vody. Jedná se pouze o teoretický stav, který nelze v praxi experimentálně změřit, proto se výhřevnost vypočítává ze spalného tepla.

Do spalin se voda může dostat třemi cestami:

- Palivo, které hoří, obsahuje vodu, která při spalování nehoří, ale vypařuje se, takže dochází k sušení paliva, odpařená voda následně tvoří část

spalin. Z jednoho kilogramu – litru vody se jeho vypařením vytvoří cca 1,2 m³ vodní páry (zvětší objem více než tisíckrát, proto opatrně při hašení, pozor s rozpáleným tukem na pánvičce či ve fritovacím hrnci – prskání).

- Jedním z aktivních prvků hořlaviny je vodík, který je ve struktuře pevných paliv vázán v různých podobách, u plynných a kapalných paliv se jedná o směs mnoha uhlovodíků (např. zemní plyn obsahuje převážně metan, dále často používáme tyto uhlovodíky: propan, butan, benzín, nafta a např. slivovice je mimo jiné směs mnoha uhlovodíků). Když vodík v jakékoliv podobě hoří, tvoří se vodní pára, která je součástí spalin (v mrazivých dnech můžeme pozorovat bílý kouř nad komíny, to je vodní pára). Z jednoho kilogramu vodíku se vytvoří cca devět kg vodní páry, což je přibližně 11,2 m³ vodní páry. Spálením jednoho metru krychlového zemního plynu se vytvoří cca 1,5 kg (1,9 m³) vodní páry.
- Také samotný spalovací vzduch obsahuje vzdušnou vlhkost.

Spaliny tedy obsahují vodní páru z vlhkosti paliva, ze spalování vodíku a ze spalovacího vzduchu. Pokud jsou spaliny ochlazené pod teplotu rosného bodu, vodní pára z kondenzuje (stejný jev lze pozorovat při orosení brýlí při přechodu z chladného prostředí do teplého prostředí – brýle mají nižší teplotu, než je teplota rosného bodu), dochází ke změně skupenství z plynného na kapalné, čímž se uvolňuje skupenské teplo vody (2,45 MJ/kg_{vody}), které je stejně velké jako teplo, které je spotřebováno pro vypaření vody. Rozdíl mezi spalným teplem a výhřevností je ten, že u spalného tepla vodní pára z kondenzovala, u výhřevnosti je uvažováno, že voda obsažená ve spalinách zůstane v plynném stavu, tedy jako vodní pára, takže se neuvolní skupenské teplo vody z kondenzace. Z výše uvedeného vyplývá, že pokud palivo obsahuje vodu nebo vodík, bude spalné teplo vyšší než výhřevnost viz Tab. 4. Výhřevnost se ze spalného tepla vypočítá tak, že se spalné teplo sníží o skupenské teplo vody dle tohoto vztahu:



Tab. 4 Porovnání hodnot výhřevností a spalných tepel různých, v ČR běžně používaných, paliv ve spalovacích stacionárních zdrojích do příkonu 300 kW.

Palivo	Vlhkost paliva	Výhřevnost	Spalné teplo		O kolik je spalné teplo větší než výhřevnost	
	[%]				[%]	
Koks	4,75	27,84		28,02	0,6	
Dřevo (buk)	10	16,06		16,96	5,6	
	20	14,00		15,08	7,7	
	30	11,94		13,19	10,5	
	40	9,89		11,31	14,4	
HU	10	25,61	MJ/kg	26,97	MJ/kg	5,3
	20	22,49		23,97		6,6
	30	19,37		20,97		8,3
	40	16,26		17,98		10,6
ČU	10	27,56		28,79	4,5	
	20	24,23		25,59	5,6	
	30	20,89		22,39	7,2	
	40	17,56		19,19	9,3	
ZP	-	34,41	MJ/m ³	38,23	MJ/m ³	11,1
PB	-	46,60		50,70		8,8

Dva kilogramy suchého nebo čtyři kilogramy mokrého dřeva mají přibližně stejnou výhřevnost jako jeden metr krychlový zemního plynu.

Selský rozum by velel k tomu, aby bylo při spalování využíváno možnosti spalného tepla a ne jen výhřevnosti. V takovém případě je nezbytné provést opatření, pro kondenzaci vodní páry ve spalínách přímo ve spalovacím stacionárním zdroji (aby bylo možné latentní teplo vody plně využít, muselo by se tak dít na teplosměnné ploše výměníku). Při kondenzaci vodní páry obsažené ve spalínách přímo ve spalovacím stacionárním zdroji vzniká mnoho komplikací:

- zvýšené požadavky na korozní odolnost teplosměnných ploch výměníku, kondenzát může být agresivní;
- zvýšené požadavky na odvod spalin, kapičky kondenzátu, dehtování – odolný kouřovod a komín, odvod kondenzátu;
- nízká teplota spalin významně snižuje komínový tah, takže je nutné, aby spalovací stacionární zdroj měl kouřový nebo vzduchový ventilátor;
- zanášení teplosměnných ploch, kondenzace dehtů, ulpívání TZL a sazí, nutnost čištění;
- nízkopotenciální teplo – aby byly spaliny zchlazeny pod rosný bod, je potřebná dostatečně nízká teplota zpátečky – ideální využití pro podlahové vytápěcí soustavy např. při teplotním spádu 50/30 °C;

- kondenzát a jeho likvidace (v současnosti je u plynových kotlů do 50 kW povoleno kondenzát vypouštět do kanalizace, avšak jedná se o velmi kyselý roztok).

Kondenzace vodní páry obsažené ve spalinách má tato pozitiva:

- snížení teploty spalin = zmenšení komínové ztráty = zvýšení účinnosti;
- při kondenzaci vodní páry se uvolňuje skupenské teplo vodní páry, toto teplo je předáno topné vodě (v teplovodním výměníku kotle) a tím je navýšen tepelný zisk.

Jevu kondenzace vodní páry ve spalinách je dnes běžně využíváno v kondenzačních kotlích spalujících plynná paliva. Plynné palivo se vyznačuje vysokou mírou čistoty, takže komplikace s kondenzátem jsou minimální. Teoreticky se spálením jednoho metru krychlového vytvoří cca 1,5 kg (litru) vody. V reálném provozu je to o něco méně a z plynového kondenzačního kotle do kanalizace vyteče cca jeden kilogram (litr) kondenzátu, což představuje cca 66 % využití zisku z kondenzace vody ze spalin. Využití kondenzace při spalování pevných paliv je v začátcích a zatím existují jen aplikace pro spalování dřevních pelet, kde však zisk kondenzací není tak značný jako u spalování zemního plynu (spálením vodíku v zemním plynu vznikne podstatně více vody, než u relativně suchých pelet). Vývoj směřuje k využití kondenzace při spalování vlhké (více než 40 %) biomasy v podobě dřevní štěpky.

Účinnost kotle se počítá jako poměr tepla vyrobeného (tepelný výkon) k teple dodanému (příkon). V Evropě se při výpočtu účinnosti teplo dodané vyjadřuje z výhřevnosti paliva, proto je možné se v případě kondenzačních kotlů setkat s výslednou účinností, která je vyšší než 100 %. Samozřejmě, že se nejedná o perpetuum mobile, ale jde o to, zda se teplo dodané do kotle vyjadřuje z výhřevnosti či spalného tepla. Správně by se měla účinnost vyjadřovat ze spalného tepla, jenže potom by takto vyjádřená účinnost nebyla porovnatelná s účinností nekondenzačních kotlů. Nutnost porovnání je žádoucí, a proto se nabízí tato řešení:

- u všech kotlů počítat příkon ze spalného tepla, toto řešení by bylo z pohledu správnosti nejlepší, ale to by znamenalo, že u dosud prodávaných nekondenzačních kotlů by se účinnost musela přepočítat a znamenalo by to také to, že by se její hodnota zdánlivě snížila (např. z 90 na 83 %). Z pohledu výrobců, ale i z pohledu zákazníků je tento krok těžko akceptovatelný;
- ponechat původní výpočet účinnosti, kdy je příkon počítán z výhřevnosti a vysvětlit, že přestože účinnost kondenzačních kotlů vychází větší

než 100 %, nejedná se o perpetuum mobile, ale o údaj, který umožní porovnání účinnosti kondenzačního a nekondenzačního kotle;

- třetí způsob by mohl být kombinací dvou výše uvedených bodů a mohl by uvádět obě hodnoty.

3 Legislativa a dotační tituly týkající se spalovacích stacionárních zdrojů do příkonu 300 kW

Protože při spalování pevných paliv v lokálních topeništích pro vytápění domácností dochází k emitování znečišťujících látek, jsou postupně v jednotlivých zemích a v nadnárodních společenstvích přijímány různé zpřísnující požadavky (hmotnostní koncentrace znečišťujících látek a účinnost), které tyto spalovací stacionární zdroje musí v různých obdobích provozu splnit. Požadavky jsou cíleny jak na výrobce či dovozce spalovacích stacionárních zdrojů, tak na jejich provozovatele. Cílem této kapitoly je přinést přehled platných a plánovaných požadavků a také provést jejich srovnání.

S příchodem topné sezóny dochází na většině území ČR ke zhoršení kvality ovzduší. Poslední studie ukazují, že vliv spalovacích stacionárních zdrojů do příkonu 300 kW není malý a v některých případech může být až dominantní. Zhoršené rozptylové podmínky (inverze) v kombinaci s malou výškou komínů a nezanedbatelným množstvím emitovaných znečišťujících látek vedou k tomu, že v některých vesnicích a malých městech může kvalita ovzduší být horší, než v oblastech, kde převažují znečišťující látky emitované velkými průmyslovými zdroji znečištění nebo dopravou.

Ze sčítání lidu, domů a bytů z roku 2011 vyplývá, že je v České republice v provozu více než 3,6 mil. topných systémů pro zajištění tepelného komfortu v domácnostech. Jejich rozdělení dle způsobu je následující:

- 38,8 % bytů je vytápěno zemním plynem;
- 37,3 % bytů je vytápěno pomocí centralizovaného zásobování teplem (CZT) ze středních a velkých zdrojů;
- 9,2 % bytů je vytápěno uhlím – to reprezentuje cca 336 000 domácností;
- 7,8 % bytů je vytápěno palivem na bázi dřeva – to reprezentuje cca 285 000 domácností;
- 7 % bytů je vytápěno elektřinou;
- zanedbatelné množství bytů je vytápěno lehkými topnými oleji, propanbutanem a ostatními způsoby vytápění.

To znamená, že cca 621 000 domácností bylo v roce 2011 vytápěno spalováním pevných paliv v lokálních topeništích. Ve srovnání s výsledkem sčítání lidu z roku 2001 je zřejmé, že mezi léty 2001 až 2011 vzrostla obliba a podpora spalování paliv na bázi dřeva (nárůst o 88 %, ze 152 000 na 285 000 domácností), zatímco ubývá spalovacích stacionárních zdrojů, ve kterých je spalováno uhlí (pokles o 47 % z 570 000 na 336 000 domácností). Je nutné mít na paměti, že výsledky sčítání lidu, domů a bytů jsou poplatné použité metodě a kvalitě odpovědí dotázaných. V roce 2015 proběhlo výběrové statistické šetření ENERGO a zde se uvádí, že 544 000 domácností je vytápěno pevnými palivy. Přesnější informace o současném stavu nejsou nyní k dispozici. Nejpresnější informace bude možné obdržet na základě dat z pravidelných kontrol technického stavu teplovodních kotlů a krbových kamen s teplovodním výměníkem, která jsou od roku 2020 postupně ukládána v systému ISPOP.

Spalování pevných paliv je vždy doprovázeno produkcí znečišťujících látek a obecným cílem by mělo být snížení jejich množství na co nejnižší možnou/přijatelnou úroveň. Jedním z nástrojů ke snížení množství vypouštěných znečišťujících látek mohou být legislativní požadavky, které jsou uplatňovány při tzv. zkoušce typu, případně při jejich provozu. Cílem těchto požadavků je zvýšení kvality spalovacích stacionárních zdrojů. Tento nástroj není všelék a má samozřejmě svá omezení. Zjednodušeně v přirovnání s kontrolou kvality automobilů, je možné hovořit o tzv. technické kontrole kotle, která říká toto: pokud je vše optimální, může daný spalovací stacionární zdroj dosáhnout takovýchto (viz štítek) optimálních parametrů (hmotnostní koncentrace znečišťujících látek a účinnost). Pokud jsou reálné provozní podmínky výrazně odlišné od těch, které byly na zkušební (hlavně u prohořivacích a odhořivacích kotlů), budou také reálné parametry (hmotnostní koncentrace znečišťujících látek a účinnost) výrazně odlišné. Pro daný konkrétní spalovací stacionární zdroj se jedná hlavně o vliv paliva, obsluhy a údržby. V Německu a Rakousku jsou spalovací stacionární zdroje navíc, mimo certifikaci, měřeny pravidelně v reálném provozu a musí prokázat splnění limitních hodnot pozorovaných veličin.

Dalším nástrojem jsou různé dobrovolné ekologické programy, které kladou na spalovací stacionární zdroje vyšší nároky než obecně platná legislativa a podporují pořízení modernějších technologií. Mezi nejznámější ekologické známky a programy patří:

- Nová zelená úsporám – ČR (www.zelenausporam.cz – 3. výzva);
- Operační program životního prostředí (tzv. kotlíková dotace);
- RAL-Der blaue Engel – Německo (<http://www.blauer-engel.de>);

- Flamme Verte – Francie (<http://www.flammeverte.org>);
- HETAS certification – Anglie (<http://www.hetas.co.uk>); atd.

Při srovnání dotačních programů v ČR a například v Německu, je zde patrný jiný systém vyhlášení těchto dotačních programů. Zatímco v ČR se dotační titul vyhlásí a funguje tak dlouho, než se vyčerpají alokované prostředky, v sousedním Německu se dotační politika upravuje dynamicky v návaznosti na zájem o tyto prostředky. Díky tomuto přístupu jsou v Německu schopni pružněji reagovat na vzniklou situaci.

Tato kapitola se zabývá platnými limity pro koncentrace znečišťujících látek a požadavky na minimální účinnost, které jsou legislativně vyžadovány na základě platných technických norem, jak v celé EU (EN 303-5:2021), tak přísnějšími limity, které platí v Německu (14 mil. spalovacích stacionárních zdrojů do příkonu 300 kW) a Rakousku. Uvedené země představují evropské leadery v této oblasti.

Zásadní rozdíl je v přístupu jednotlivých zemí ke kontrole plnění jednotlivých limitů. První jednotný přístup je založen na povinnosti prokázání splnění požadavků při tzv. zkoušce typu (certifikace) – většina zemí EU. Druhý přístup (Německo, Rakousko) navíc k prvnímu vyžaduje pravidelnou kontrolu plnění limitů hmotnostních koncentrací vybraných znečišťujících látek (CO a TZL) přímo u provozovatele (např. v kotelně rodinného domu). Plnění limitů se prokazuje měřením (ne jen vizuální kontrolou), kominík vkládá sondu do kouřovodu a odsává spaliny přes filtr do analyzátoru.

V ČR v současné době existuje povinnost provozovatelů spalovacích stacionárních zdrojů na pevná paliva o jmenovitém tepelném příkonu od 10 do 300 kW včetně, které slouží jako zdroje tepla pro teplovodní soustavu ústředního vytápění, provádět jednou za tři roky kontrolu technického stavu a provozu spalovacího stacionárního zdroje. Tato povinnost vyplývá ze zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů. Tato kontrola musí být provedena prostřednictvím fyzické osoby, která byla proškolená výrobcem daného typu spalovacího stacionárního zdroje a má od něj udělené oprávnění k jeho instalaci, provozu a údržbě = odborně způsobilá osoba.

3.1 Zařazení kotle do třídy dle ČSN EN 303-5

V současné době je nutné před uvedením teplovodního kotle na pevná paliva provést tzv. zkoušku typu podle normy EN 303-5:2021 (kotle do tepelného výkonu 500 kW). V normě jsou popsány způsoby zkoušení kotlů, požadavky na konstrukční materiály a bezpečnost. Dále jsou zde

uvedeny základní limity hmotnostních koncentrací znečišťujících látek, které musí kotle plnit při jmenovitém i sníženém tepelném výkonu (až 30 % P_{jm}). Limity jsou uvedeny Tab. 5, Tab. 6 a Tab. 7.

Kotel je při tzv. zkoušce typu podroben výše uvedenému testování a dle výsledků spalovacích zkoušek je mu přiřazena třída (norma nezná pojem emisní třída). Znamená to, že je v možnostech daného kotle tyto parametry dosáhnout, ale nic to neříká o tom, jak se parametry změní při konkrétní instalaci kotle (vliv kvality paliva, obsluhy, instalace a údržby). Proto výše uvedené státy vyžadují pravidelné prokazování splnění štitkových hodnot i v reálném provozu.

Tab. 5 Limitní hodnoty pro hmotnostní koncentraci CO dle EN 303-5:2021

Dodávka paliva	Palivo	Jmenovitý tepelný výkon [kW]	Mezní hodnoty emisí (koncentrace)		
			CO		
			mg/m ³ _N při 10% O ₂ (mg/m ³ _N při 13% O ₂)		
			Třída 3	Třída 4	Třída 5
Ruční	Biologické	≤ 50	5 000 (3 636)	1 200 (873)	700 (509)
		> 50 až 150	2 500 (1 818)		
		> 150 až 500	1 200 (873)		
	Fosilní	≤ 50	5 000 (3 636)		
		> 50 až 150	2 500 (1 818)		
		> 150 až 500	1 200 (873)		
Samočinná	Biologické	≤ 50	3 000 (2 182)	1 000 (727)	500 (364)
		> 50 až 150	2 500 (1 818)		
		> 150 až 500	1 200 (873)		
	Fosilní	≤ 50	3 000 (2 182)		
		> 50 až 150	2 500 (1 818)		
		> 150 až 500	1 200 (873)		

Tab. 6 Limitní hodnoty pro hmotnostní koncentraci OGC dle EN 303-5:2021

Dodávka paliva	Palivo	Jmenovitý tepelný výkon [kW]	Mezní hodnoty emisí (koncentrace)		
			OGC		
			mg/m ³ _N při 10% O ₂ (mg/m ³ _N při 13% O ₂)		
		Třída 3	Třída 4	Třída 5	
Ruční	Biologické	≤ 50	150 (109)	50 (36)	30 (22)
		> 50 až 150	100 (73)		
		> 150 až 500	100 (73)		
	Fosilní	≤ 50	150 (109)		
		> 50 až 150	100 (73)		
		> 150 až 500	100 (73)		
Samočinná	Biologické	≤ 50	100 (73)	30 (22)	20 (15)
		> 50 až 150	80 (58)		
		> 150 až 500	80 (58)		
	Fosilní	≤ 50	100 (73)		
		> 50 až 150	80 (58)		
		> 150 až 500	80 (58)		

Tab. 7 Limitní hodnoty pro hmotnostní koncentraci TZL dle EN 303-5:2021

Dodávka paliva	Palivo	Jmenovitý tepelný výkon [kW]	Mezní hodnoty emisí (koncentrace)		
			Prach		
			mg/m ³ _N při 10% O ₂ (mg/m ³ _N při 13% O ₂)		
		Třída 3 ¹⁾	Třída 4	Třída 5	
Ruční	Biologické	≤ 50	150 (109)	75 (55)	60 (44)
		> 50 až 150	150 (109)		
		> 150 až 500	150 (109)		
	Fosilní	≤ 50	125 (91)		
		> 50 až 150	125 (91)		
		> 150 až 500	125 (91)		
Samočinná	Biologické	≤ 50	150 (109)	60 (44)	40 (29)
		> 50 až 150	150 (109)		
		> 150 až 500	150 (109)		
	Fosilní	≤ 50	125 (91)		
		> 50 až 150	125 (91)		
		> 150 až 500	125 (91)		

¹⁾ U kotlů třídy 3 pro alternativní biopaliva není nutné splnit požadavek na hmotnostní koncentraci TZL. Skutečná hodnota musí být uvedena v technické dokumentaci a nesmí překročit 200 mg/m³_N při 10 % O₂ (145 mg/m³_N při 13 % O₂).

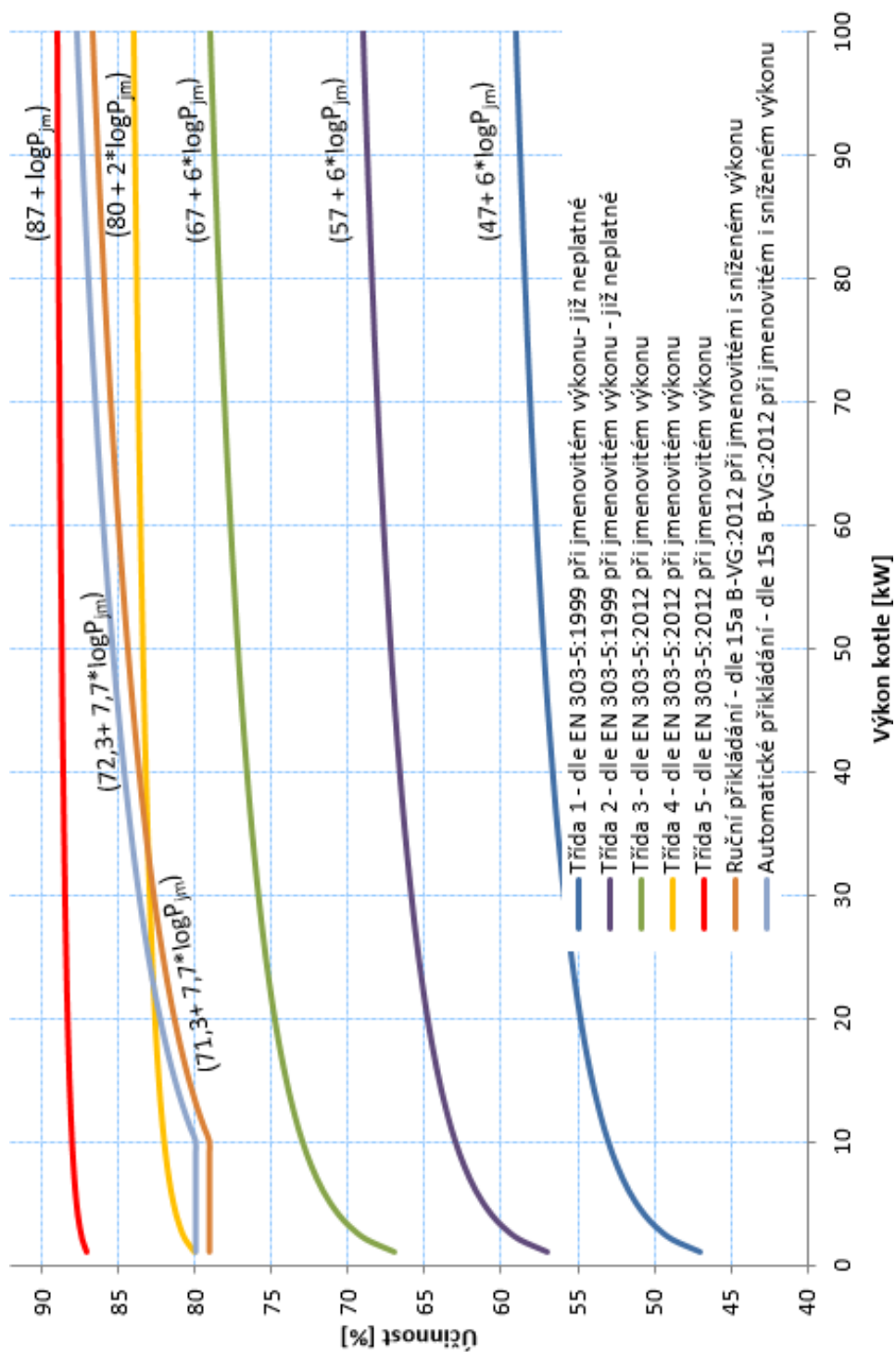
3.1.1 Požadavky na minimální účinnost

Minimální účinnost kotlů je definovaná normou v závislosti na jmenovitém tepelném výkonu a třídě kotle – viz Graf 20 (zobrazeno jen pro tepelné výkony do 100 kW). Pro představu o zpřísnění požadavků jsou v grafu znázorněny

i nyní již zrušené třídy 1. a 2. a také zpřísnující rakouské požadavky (požadavky na účinnost musí spalovací stacionární zdroj do příkonu 300 kW v Rakousku splnit jak při jmenovitém tepelném výkonu, tak i při tepelném výkonu sníženém – u automatických kotlů jde o 30 % P_{jm} , u kotlů s ručním příkládáním o 50 % P_{jm}).

Dosažení účinnosti větší než 75 % nepředstavuje pro nové typy kotlů žádný významný problém (automatický kotel nebo zplyňovací kotel zapojený s akumulací nádobou). V případě starších konstrukcí kotlů s ručním příkládáním se zapojením bez akumulací nádoby může být informace o tepelné účinnosti při jmenovitém tepelném výkonu zavádějící. Bez instalace akumulací nádoby je průměrný reálný (provozní) tepelný výkon těchto kotlů po větší část topné sezóny nižší než jmenovitý. Se sníženým tepelným výkonem klesá jejich účinnost a zhoršuje se kvalita spalování.

Dle výsledku zkoušek je kotli přiřazena třída. Výsledná třída kotle uváděná na štítku kotle je potom nejnižší dosažená třída jak z hlediska hmotnostních koncentrací znečišťujících látek, tak i z hlediska účinnosti.



Graf 20 Minimální požadované účinnosti kotlů, porovnání požadavků EN 303-5:2021, Art. 15a B-V

3.2 Parametry spalovacích stacionárních zdrojů

Veškeré prodávané spalovací stacionární zdroje do příkonu 300 kW na území České republiky musí disponovat návodem k obsluze. Ten by měl být zákazníkem důkladně nastudován ideálně ještě před zakoupením daného produktu. V návodu k obsluze je uvedena celá řada velmi důležitých údajů, které mohou vypovídat o způsobu instalace, výsledném komfortu používání spalovacího stacionárního zdroje, ale především o jeho celkové vhodnosti pro zajištění potřeb tepla pro danou nemovitost. V této kapitole budou blíže popsány některé významné parametry, kterým je nutné porozumět (budou popsány především ty parametry, kterým se nevěnují ostatní kapitoly).

3.2.1 Tepelný výkon

Tepelný výkon spalovacího stacionárního zdroje do příkonu 300 kW je standardně udáván v kW. Jedná se o nejdůležitější parametr, který musí korespondovat s tepelnou potřebou domu (při zohlednění akumulčních schopností domu a akumulčních nádob). Obecně vyjadřuje tepelný tok ze spalovacího stacionárního zdroje do otopné soustavy nebo do okolí (např. v případě kamen bez teplovodního výměníku).

U automatických kotlů je možné se setkat s velkým udávaným rozsahem tepelných výkonů, který je dán nutností certifikovat tyto zdroje při sníženém (30 %) a jmenovitém (100 %) tepelném výkonu. V případě kotlů na pevná paliva s ručním přikládáním se jedná o průměrný (jmenovitý) tepelný výkon za období jedné spalovací periody (vzhledem k různým fázím hoření je tepelný výkon v průběhu spalovací periody proměnlivý).

U kamen a dalších lokálních topidel je udáván tepelný výkon do okolí (což je v terminologii kotlů ztráta sáláním do okolí). Jestliže je lokální topidlo vybaveno teplovodním výměníkem, jsou v návodu udávány tepelné výkony dva – do okolí a do otopné vody. Vhodnost daného lokálního topidla s instalovaným výměníkem tepla je pak dána poměrem dvou uvedených tepelných výkonů a tepelnou potřebou jednotlivých částí domu.

3.2.2 Účinnost

Co je to účinnost, jak je možné ji stanovit v domácích podmínkách a co pro provozovatele znamená, již bylo popsáno ve výše uvedených kapitolách. Obecně je účinnost porovnávací parametr mezi jednotlivými spalovacími stacionárními zdroji. Hodnota účinnosti vychází z naměřených hodnot při certifikaci spalovacího stacionárního zdroje, tedy se vztahuje k ideálním podmínkám, které mohou být dosaženy pouze správnou údržbou, správným provozem a správnou instalací spalovacího stacionárního zdroje.

Při nákupu spalovacího stacionárního zdroje je možné tuto hodnotu považovat za porovnávací parametr mezi jednotlivými výrobky.

3.2.3 Tah komína

Tzv. komínový efekt způsobuje komínový tah. Rozdíl hustoty plynů vzniklý jejich rozdílnou teplotou umožňuje odvod spalin mimo oblast spalovací komory bez nutnosti zapojování ventilátoru. Toto je obrovská výhoda a zároveň i nevýhoda. Nehomogenní průběh hoření spalovacích stacionárních zdrojů s ruční dodávkou paliva během jedné periody způsobuje také nehomogenní průběh teploty spalin, čímž je ovlivněn také komínový tah. Změna komínového tahu způsobuje změnu množství spalovacího vzduchu, čímž se kvalita spalovacího procesu významně zhoršuje. Z tohoto důvodu jsou moderní kotle (zplyňovací a automatické) vybavené ventilátorem pro snížení vlivu komínového tahu na spalovací proces.

Při certifikaci spalovacího stacionárního zdroje na zkušebně je tah nastaven na konstantní hodnotu, která je udržována po celou dobu zkoušky, což je stav neslučitelný s realitou, nicméně umožňuje jejich přímé porovnání. Požadovaný komínový tah pro daný spalovací stacionární zdroj je vždy uveden v návodu k obsluze.

3.2.4 Objem vody/objem výměníku

Tato hodnota, udávaná většinou v litrech, popř. v decimetrech krychlových, uvádí objem vody v tělese spalovacího stacionárního zdroje. Ten se může pohybovat od jednotek litrů v případě krbových kamen s malým tepelným výměníkem až do nízkých stovek litrů v případě moderních kotlů vyšších tepelných výkonů. Objem výměníku spalovacího stacionárního zdroje může dramaticky navýšit celkový objem vody v teplovodní soustavě, což může mít vliv na některé komponenty (např. expanzní nádoba).

3.2.5 Objem palivové šachty/objem zásobníku paliva

U zplyňovacích kotlů je vhodné tzv. naložit palivovou šachtu palivem do plna a nechat kotel pracovat. Naplnění šachty měkkým, nebo tvrdým dřevem však znamená rozdílnou hodnotu vložené chemicky vázané energie v palivu (rozdílná hmotnost dávek paliva). Pro další výpočty a lepší orientaci mezi spalovacími stacionárními zdroji může být tato hodnota přínosná.

Objem zásobníku paliva je parametr kotlů s automatickou dodávkou paliva. Zjednodušeně řešeno, větší objem zásobníku paliva znamená méně častou nutnost zásahu obsluhy (v případě kotlů spalujících pelety). V případě

kotlů spalujících uhlí je většinou nutné častěji vybírat popelník než dosypávat palivo vzhledem k velkému hmotnostnímu zlomku popela v palivu.

3.2.6 Rozměr polen/charakteristický rozměr paliva

Tento parametr je nejdůležitější u spalovacích stacionárních zdrojů určených pro spalování kusového dříví. Jedná se o nejdelší možnou délku polena, která se vejde do spalovací komory. Může být uveden také předepsaný průměr polen. Příprava paliva musí probíhat v souladu s těmito parametry. Nedodržení předepsané velikosti paliva často vede k tzv. klenbování paliva a ke zhoršeným provozním parametrům spalovacího stacionárního zdroje.

Klenbování

Klenbování je proces, při kterém se uvnitř palivové šachty vytvoří tzv. klenba (blokace) z neshořelého paliva. Palivo se vlivem klenbování přestane gravitačně posouvat směrem dolů k trysce, čímž vznikne prázdný prostor. Klenbování může být způsobeno použitím nesprávné granulometrie paliva, nebo nesprávným uložením paliva. Vzniklou klenbu je nutné narušit mechanickým zásahem. V opačném případě dochází k významnému zhoršení spalovacího procesu vedoucím ke zvýšení hmotnostních koncentrací znečišťujících látek ve spalinách. Význam klenbování je možné přirovnat ke slovu „zácpa“ používaném v automobilové dopravě.

3.2.7 Doba hoření

Parametr, který se netýká kotlů s automatickým dávkováním paliva. U kotlů s ručním přikládáním paliva tento parametr charakterizuje čas, kdy je kotel v provozu po naložení plné dávky paliva. Doba hoření je významně spjata s komfortem užívání daného spalovacího stacionárního zdroje.

3.2.8 Elektrický příkon kotle

Zdánlivě nepodstatný parametr vyjadřující spotřebu elektrické energie kotle. Běžně se tento parametr pohybuje okolo hodnoty 50 W. S rostoucí cenou elektrické energie roste i tento nevyhnutelný vedlejší náklad.

3.2.9 Minimální teplota otopné vody na vstupu do spalovacího stacionárního zdroje

Tento parametr je velmi významný z pohledu montáže spalovacího stacionárního zdroje (nutnost instalace prvku, který bude požadovanou teplotu vratné vody ze systému zajišťovat). Nedodržením tohoto parametru může uživatel významně snížit životnost spalovacího stacionárního zdroje, kouřovodu a komínu.

3.2.10 Minimální objem akumulční nádrže

Akumulační nádrž je uzavřená nádoba naplněná zpravidla vodou, která pojímá přebytek tepla ze spalovacího stacionárního zdroje. Její instalací je umožněn dlouhodobý chod spalovacího stacionárního zdroje na jmenovitý tepelný výkon (po většinu roku se jedná o podstatně vyšší tepelný výkon, než je aktuální potřeba domu pro zajištění tepelné pohody), což je významný předpoklad pro dosažení co možná nejlepších hmotnostních koncentrací znečišťujících látek ve spalinách a co nejvyšší účinnosti. Objemy akumulčních nádob se pohybují ve stovkách až tisících litrů, přičemž objem instalované akumulční nádoby k danému spalovacímu stacionárnímu zdroji se odvíjí od jeho jmenovitého tepelného výkonu. U kotlů s ručním přikládáním paliva je instalace akumulčních nádob vzhledem k jejich charakteru provozu nezbytná. V případě kotlíkových dotací je minimální objem instalovaných akumulčních nádob roven 55 násobku jmenovitého tepelného výkonu kotle v kW.

Výhody akumulčních nádob

Existuje mnoho konstrukčních řešení akumulčních nádob z pohledu jejího vnitřního uspořádání. Existují akumulční nádoby s vnořeným zásobníkem pro přípravu teplé vody, čímž je možné ušetřit náklad za další zařízení (bojler) a efektivně připravovat teplou vodu pomocí spalovacího stacionárního zdroje.

Provedení akumulční nádoby s vnitřním výměníkem (spirálou) může být vhodně užito pro instalace, kde jsou do soustavy zapojeny i fototermické panely.

3.3 Ekodesign

Od 1. ledna 2020 musí všechny prodávané kotle na pevná paliva splňovat požadavky uvedené v příloze II Nařízení Komise (EU) č. 2015/1189, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde

o požadavky na ekodesign kotlů na tuhá paliva. (V citaci názvu dokumentu bylo záměrně ponechána fráze *tuhá paliva* i přes to, že v celém dokumentu je používáno *pevná paliva*.)

Od 1. ledna 2020 musí kotle na pevná paliva splňovat tyto požadavky:

- sezónní energetická účinnost vytápění vnitřních prostorů u kotlů se jmenovitým tepelným výkonem 20 kW nebo menším nesmí být menší než 75 %;
- sezónní energetická účinnost vytápění vnitřních prostorů u kotlů se jmenovitým tepelným výkonem větším než 20 kW nesmí být menší než 77 %;
- sezónní hmotnostní koncentrace TZL z vytápění vnitřních prostorů nesmí být vyšší než 40 mg/m³ u kotlů s automatickým přikládáním a vyšší než 60 mg/m³ u kotlů s ručním přikládáním (při 10 % O₂);
- sezónní hmotnostní koncentrace organických plynných sloučenin (OGC) z vytápění vnitřních prostorů nesmí být vyšší než 20 mg/m³ u kotlů s automatickým přikládáním a vyšší než 30 mg/m³ u kotlů s ručním přikládáním (při 10 % O₂);
- sezónní hmotnostní koncentrace oxidu uhelnatého (CO) z vytápění vnitřních prostorů nesmí být vyšší než 500 mg/m³ u kotlů s automatickým přikládáním a vyšší než 700 mg/m³ u kotlů s ručním přikládáním (při 10 % O₂);
- sezónní hmotnostní koncentrace oxidů dusíku (NO_x) z vytápění vnitřních prostorů vyjádřené ekvivalentem oxidu dusičitého (NO₂) nesmí být vyšší než 200 mg/m³ u kotlů na biomasu a vyšší než 350 mg/m³ u kotlů na fosilní paliva (při 10 % O₂).

Tyto požadavky musí být splněny pro referenční palivo i pro jakékoli jiné vhodné palivo pro kotel na pevná paliva. Hodnoty sezónních energetických účinností jsou vztaženy ke spalnému teplu zkušební paliva a korigovány tzv. provozními koeficienty. Proto jsou výsledné hodnoty o cca 10–12 % nižší než hodnoty účinností zjišťované při výše popsané zkoušce typu prováděné při certifikaci kotle, kdy jsou výsledné hodnoty vztaženy k výhřevnosti paliva (na štítku kotle jsou uvedeny hodnoty stanovené při zkoušce typu).

3.4 Zákaz provozu nevyhovujících kotlů

Zákon o ochraně ovzduší zavádí povinnosti pro provozovatele spalovacích stacionární zdrojů. Zákon zakazuje ve spalovacích stacionárních zdrojích do příkonu 300 kW spalování lignitu, hnědého energetického uhlí, kalů a proplásku (dle § 17 odst. 5 zákona).

Pro stacionární spalovací zdroje na pevná paliva o jmenovitém tepelném příkonu od 10 do 300 kW včetně (v podstatě všechny dnes provozované teplovodní kotle), které slouží jako zdroj tepla pro teplovodní soustavu ústředního vytápění, je provozovatel povinen dle § 17 odst. 1 písm. h) zákona provádět jednou za tři roky **kontrolu technického stavu a provozu tohoto zdroje** a to prostřednictvím osoby, která byla proškolená výrobcem spalovacího stacionárního zdroje a je oprávněna k jeho instalaci, provozu a údržbě (tzv. odborně způsobilá osoba). Doklad o provedení výše zmíněné kontroly má provozovatel povinnost předložit na vyžádání obecního úřadu obce s rozšířenou působností. Pokud provozovatel nepředloží na vyžádání obecnímu úřadu obce s rozšířenou působností doklad o provedení kontroly, hrozí mu pokuta až 20 000 Kč dle § 23 odst. 2 písm. b) zákona. Tato kontrola nepočítá s realizací jakéhokoliv měření (tak, jak je tomu například v Německu), což velmi omezuje její přínos. V podstatě odborně způsobilá osoba na místě vizuálně zhodnotí stav kotle, jeho celistvost a těsnost, řídicí jednotku, regulační a zabezpečovací prvky, použité palivo (nyní si může již vyžádat i doklad o pořízení paliva) a jeho kvalitu, podávací zařízení a sklad paliva. Jako nejdůležitější zdroj informací o hmotnostních koncentracích znečišťujících látek ve spalinách a o ostatních parametrech jsou považovány hodnoty uvedené na štítku kotle. Tyto hodnoty byly dosaženy jednou při tzv. zkoušce typu (certifikaci), což nic nevypovídá o tom, jakých parametrů spalovací stacionární zdroj dosahuje při reálné instalaci. Zákon udává emisní požadavky, které není možné překročit. Na základě proběhlé kontroly vystaví odborně způsobilá osoba na místě provozovateli doklad o kontrole. Doklad si ponechává provozovatel zdroje a je povinen jej předložit na vyžádání obecního úřadu s rozšířenou působností.

Od září 2024 (dle § 41 odst. 16 Zákona o ochraně ovzduší) bude možné provozovat pouze takové teplovodní kotle o tepelném příkonu od 10 do 300 kW, které splňují požadavek dle přílohy č. 11 zákona, zjednodušeně řečeno, které splňují třídu kotle 3 dle normy ČSN EN 303-5. Za nedodržení požadavku lze na základě § 23 odst. 2 písm. a) zákona uložit pokutu až do výše 50 000 Kč. Tato podmínka se nevztahuje na zdroje, které jsou navrženy pro přímé vytápění místa instalace bez napojení na teplovodní otopnou soustavu. Původní termín (září 2022) pro zákaz provozu neekologických teplovodních kotlů na pevná paliva byl pro provozovatele rodinných domů, bytových domů nebo staveb pro rodinnou rekreaci posunut o dva roky (září 2024) novelou zákona platnou od 1. 7. 2022.

Pokutu až do výše 50 000 Kč lze uložit (dle § 23 odst. 2 písm. a) zákona) také v případech, že:

- provozovatel nedodrží přípustnou tmavost kouře (**od září 2012**);

- provozovatel spaluje hnědé uhlí energetické, lignit, uhelné kaly nebo proplástky (**od září 2012**) nebo spaluje paliva neurčená výrobcem.

Novela zákona o ovzduší z 19. 10. 2016 nově docílila prolomení domovní svobody a soukromí. § 17 odst. 2 zákona uvádí, že:

„Vznikne-li důvodné podezření, že provozovatel spalovacího stacionárního zdroje umístěného v rodinném domě, v bytě nebo ve stavbě pro rodinnou rekreaci, nejde-li o prostory užívané pro podnikatelskou činnost, porušil některou z povinností podle odstavce 1, avšak toto porušení nelze prokázat bez provedení kontroly spalovacího stacionárního zdroje, jeho příslušenství nebo používaných paliv, obecní úřad obce s rozšířenou působností provozovatele na tuto skutečnost písemně upozorní a poučí jej o povinnostech provozovatele spalovacího stacionárního zdroje stanovených v odstavci 1 a o následcích opakovaného důvodného podezření na jejich porušení v podobě provedení kontroly. Pokud opakovaně vznikne důvodné podezření, že tento provozovatel nadále nebo opětovně porušuje některou z povinností podle odstavce 1, je kontrolující oprávněn vstoupit do jeho obydlí za účelem kontroly dodržování povinností podle tohoto zákona. Vlastník nebo uživatel těchto prostor je povinen umožnit kontrolujícímu přístup ke spalovacímu stacionárnímu zdroji, jeho příslušenství a používaným palivům.“

Toto ustanovení tedy za výše uvedených okolností umožňuje vynutit si vstup do obydlí – kotelny. Samostatnou otázkou zůstává, jaká bude náplň vynucené kontroly.

3.4.1 Produkce škodlivin z lokálních topenišť

V obecném měřítku existují dva faktory, které ovlivňují kvalitu ovzduší v blízkém okolí lokálního topeniště:

- rozptylové podmínky;
- množství emitovaných znečišťujících látek.

Zatímco první faktor může lidská vůle jen těžko ovlivnit, na tom druhém má také svůj podíl společně s průmyslem a dopravou téměř 600 tisíc domácností, které jsou vytápěny spalováním pevných paliv.

V domácnostech mají lidé čtyři pomyslné stupně volnosti neboli možnosti jak optimalizovat vytápění vlastního domu. Jde o typ spalovacího stacionárního zdroje, typ paliva, zkušenost topiče a o kvalitu údržby zdroje a přilehlých prvků. Každý z uvedených čtyř faktorů má zásadní vliv na množství znečišťujících látek ve spalinách.

Bilance vypouštění znečišťujících látek v ČR provádí ČHMÚ. Všechna níže uvedená data pocházejí z tohoto zdroje. Vlastní bilance vychází ze spotřeby

paliva a emisního faktoru, který vyjadřuje množství znečišťující látky emitované spálením jednotkové hmotnosti paliva (např. kg TZL na tunu paliva). Výše uvedené čtyři faktory zásadním způsobem (mnoho řádové rozdíly) ovlivní hodnotu emisního faktoru, a to představuje omezení samotné bilance. Bilance pracuje s průměrnými hodnotami emisních faktorů, které odpovídají spalování předepsaného paliva kvalitní obsluhou při jmenovitých podmínkách. Tyto podmínky v reálném provozu nastanou jen zlomek času provozu spalovacího stacionárního zdroje, a proto je pravděpodobné, že výsledky bilance hmotností znečišťujících látek emitovaných lokálními topeništi jsou spíše podhodnoceny. Ve výsledcích bilance není zahrnuto spalování nekvalitních paliv, vliv špatné obsluhy ani vliv sníženého tepelného výkonu spalovacího stacionárního zdroje včetně špatné údržby.

Každý z provozovatelů spalovacího stacionárního zdroje může částečně ovlivnit množství emitovaných znečišťujících látek. Z pohledu produkce znečišťujících látek u starších kotlů (prohořivací a odhořivací) je lépe přikládat častěji a menší dávku paliva. Po přiložení nechat palivo rozhořet, neuzavírat přívody spalovacích vzduchů. Moudrý člověk topící dřevem suší palivo alespoň dva roky, protože ví, že zvýší výhřevnost paliva, čímž spálí méně dřeva při udržení shodného tepelného komfortu. Zároveň budou hmotnostní koncentrace znečišťujících látek ve spalinách nižší a prodlouží se životnost spalovacího stacionárního zdroje.

TZL mají různé velikostní a chemické složení podle charakteru zdroje a způsobu vzniku. Mohou obsahovat těžké kovy a představují nosné médium pro VOC a PAH (považované v současné době za nejproblematictější). Nejčastěji se při inventarizaci emisí v návaznosti na imisní limity rozlišuje velikostní frakce PM_{10} a $PM_{2,5}$. Dle dlouhodobě získávaných výsledků bilancí (ČHMÚ) jsou tradičně největším znečišťovatelem ovzduší (z pohledu TZL) lokální topeniště, která se na celkovém množství emitovaného TZL podílí cca 55 % (v případě PM_{10}) a cca 71 % (v případě $PM_{2,5}$).

Ve Výzkumném energetickém centru byla provedena rozsáhlá experimentální kampaň a byly navrženy nové emisní faktory pro jednotlivá paliva. V Tab. 8 jsou uvedeny hodnoty nově navržených emisních faktorů, včetně jejich porovnání s hodnotami emisních faktorů dříve používanými u nás a v Evropě. V Tab. 9 je uvedeno, kolik TZL vyprodukuje (vylétí komínem) jeden dům, který je vytápěn spalováním pevných paliv. Výsledky byly získány při spalování různých typů paliv (HU – hnědé uhlí, ČU – černé uhlí, buk, smrk, pelety z kukuřičné slámy, dřevní pelety), které byly spalovány v různých

spalovacích stacionárních zdrojích. Výsledky ukazují na výrazný vliv typu spalovacího stacionárního zdroje. Moderní kotle (automatické a zplyňovací) emitují podstatně méně znečišťujících látek, než kotle zastaralých konstrukcí (prohořivací a odhořivací). Výsledky nezohledňují nekvalitní obsluhu a špatnou údržbu. Výsledky zároveň nezohledňují kvalitu paliva (suché dřevo vs. mokré dřevo, podíl prachové frakce v uhlí). Při spalování nekvalitního paliva a špatné obsluhy a údržby spalovacího stacionárního zdroje by došlo k podstatnému navýšení množství emitovaného TZL (vztaženo na kilogram paliva).

Tab. 8 Porovnání stanovených emisních faktorů s dnes používanými

EF na palivo	hnědé uhlí tříděné		černé uhlí tříděné		dřevo						
	EEA	používané	stanovené	EEA	používané	stanovené					
Tuhé emise	kg/t	g/kg	7,99	1,0*Ap (6,9)	15,2	11,3	1,0*Ap (18,9)	8,11	10,7	5,2	1,37
SO ₂	kg/t	g/kg	16,2	19,0* Sp (14,1)	13,6* Sp (10,1)	22,9	19,0* Sp (10,0)	13,6* Sp (7,2)	0,292	1	1,5
NO _x	kg/t	g/kg	1,98	2,0	2,0	2,80	2	4,7	1,09	0,70	1,13
CO	kg/t	g/kg	82,7	45	94,7	117	45	118	77,4	1	64,2
NM VOC	kg/t	g/kg	8,71	8,9	20,9	12,3	8,9	18	13,5	0,89	11,5
CO ₂	t/t	kg/kg	x	x	1,64	x	x	2,74	x	x	1,42
PCB	mg/t	µg/kg	3,06	0,603	0,0434	4,33	4,77	0,118	0,000876	3,6	0,0412
PCDD/F TEQ	mg/t	µg/kg	0,0144	0,006	0,000767	0,0204	0,004	0,0105	0,0102	0,005	0,000371
HCb	mg/t	µg/kg	0,0112	0,125	0,0162	0,0158	0,125	57,9	0,0876	0,06	0,0652
Benzo(b)fluoranten	mg/t	µg/kg	5,936	1,150	2,470	8,398	1,600	4,560	3,212	3,260	698
Benzo(k)fluoranten	mg/t	µg/kg	2,338	525	2,380	3,308	50	3,170	1,898	1,080	531
Benzo(a)pyren	mg/t	µg/kg	4,137	845	5,860	5,853	1,500	7,460	3,066	2,480	1,400
Indeno(1,2,3cd)pyren	mg/t	µg/kg	1,979	1,110	2,410	2,799	3,000	4,850	2,044	1,760	794
4PAU	mg/t	µg/kg	14,389	3,630	13,120	20,360	6,150	20,040	10,220	8,580	3,423

Ap ... obsah popele v původním vzorku paliva (%_{hm})

Sp ... obsah síry v původním vzorku paliva (%_{hm})

Qi ... výhřevnost paliva (MJ/kg)

x ... hodnota není definována

() hodnoty uvedené v závorkách představují konkrétní vypočtené hodnoty EF pro TZL a SO₂ dle Ap a Sp v testovaných palivech

EEA - emisní faktory doporučované dle EMEP/EEA emission inventory guidebook 2009

Part B - 1. A.4. small combustion

používané - emisní faktory používané ČHMÚ pro bilanci ČR

stanovené - emisní faktory, které byly navrženy dle experimentální kampaně, Výzkumným energetickým centrem

Tab. 9 Roční produkce TZL při vytápění jednoho rodinného domu různými palivy v různých spalovacích stacionárních zdrojích

typ konstrukce zařízení	druh paliva					
	HU1	HU2	ČU	BUK	SMRK	BIO
automatický kotel	6	5	12			0,1 až 12
prohořivací kotel	249		59	16		
odhořivací kotel	32		52	15		
zplyňovací kotel 1	2			9		
zplyňovací kotel 2				2	10	
krbová kamna				7		

3.5 Vliv nezákonného spalování odpadků na kvalitu ovzduší

Měrné hmotnostní koncentrace znečišťujících látek vznikajících při spoluspalování pevných paliv s odpadními plasty byly zjišťovány prostřednictvím experimentálních spalovacích zkoušek provedených v akreditované zkušebně Výzkumného energetického centra a zkušebně Žilinské univerzity. Plasty reprezentují hořlavé složky komunálního odpadu, kterých je v domácnostech vždy dostatek a jejich spalování v lokálních topeništích je poměrně snadné, a proto také časté. V neposlední řadě jsou i lehce specifikovatelné z hlediska materiálového složení, což umožňuje zajistit dobré podmínky pro opakovatelnost výsledků zkoušek.

3.5.1 Vliv spoluspalování odpadů

Pod pojmem odpad jsou dále označovány PET lahve a PE sáčky. Jedná se o poměrně čisté materiály bez obsahu síry nebo chloru, z čehož vyplývá mizivý dopad na vznik SO₂, PCB (Polychlorované bifenyly) a PCDD/F (polychlorované dibenzo-p-dioxiny/ polychlorované dibenzofurany).

Pro znázornění vlivu spoluspalování odpadů byla zvolena hypotetická domácnost s roční potřebou tepla na vytápění ve výši 60 GJ. Přestože jsou lidé vynalézaví, bude akceptován předpoklad, že v automatických kotlech se odpady nespalují, což neplatí o kotlech s ručním přikládáním. Jako zástupce této skupiny spalovacích stacionárních zdrojů byl zvolen prohořivací kotel, v němž je za normálních okolností spalováno dobře vysušené dřevo.

Díky jen 10 % hmotnostnímu zlomku vody má dřevo poměrně vysokou výhřevnost, která byla přítomností plasty ještě navyšována. To je také hlavní důvod nižší spotřeby směsného paliva ve srovnání se samotným dřevem, protože účinnost kotle prakticky nebyla ovlivněna (Tab. 10).

Tab. 10 Spotřeba paliva v závislosti na druhu příměsi (PET lahve, hypotetická domácnost)

Palivo	Potřeba tepla na vytápění [GJ/rok]	Výhřevnost paliva [MJ/kg]	Účinnost zdroje [%]	Spotřeba paliva [kg]
Samotné dřevo	60	15,9	65,8	5 771
Dřevo s PET	60	16,7	65,7	5 500

Plasty tvoří 7 % hmotnosti paliva v kotli.

Pro nízký hmotnostní zlomek síry ve dřevě i plasty byly měřené koncentrace SO₂ na mezi detekce, a proto nejsou hodnoceny. Hmotnostní

koncentrace všech ostatních znečišťujících látek se podařilo analyzovat (Tab. 11). Při spalování odpadů byly naměřeny nižší hmotnostní koncentrace jen u PCDD/F, v ostatních případech s výjimkou NO_x (bez změny) vedly příměsi plastů ke zvýšení produkce znečišťujících látek. Opět je třeba brát v potaz skutečnost, že měrné emise znečišťujících látek ve výpočtu jsou platné pro jmenovitý tepelný výkon, který pochopitelně není v lidských silách udržet u tohoto typu kotle konstantní v průběhu dne ani celé topné sezóny. Neméně důležitým aspektem je to, že odpady nejsou spalovány soustavně, ale nárazově a pravděpodobně také v menším množství.

Z uvedeného lze usuzovat, že skutečné hmotnosti emitovaných znečišťujících látek za topnou sezónu budou v absolutních hodnotách s jistotou vyšší, a naopak pravděpodobně bude méně patrný rozdíl mezi spalováním samotného dřeva a spalováním dřeva s plasty.

Tab. 11 Hmotnosti emitovaných znečišťujících látek za topnou sezónu v závislosti na druhu příměsi (PET lahve)

Palivo	TZL [kg]	TOC [kg]	NO _x [kg]	CO [kg]	SO ₂ [kg]	ΣPAU [g]	B(a)P [g]	PCB [μg]	PCDD /F [μg]
Samotné dřevo	5,9	54	6,1	408	-	21,0	5,4	145,7	0,7
Dřevo s PET	9,7	101	6,2	619	-	41,6	8,9	98,1	1,3
Změna v %	+63	+88	+1	+52	-	+98	+65	-33	+104

Prohořivací kotel při jmenovitém tepelném výkonu.

Experimentální spalovací zkoušky naznačují, že mezi spalováním dřeva s PET lahvemi a dřeva s PE sáčky nejsou v zásadě velké odlišnosti. U PE sáčků byly naměřeny o něco nižší měrné emise CO a PCDD/F, naopak mírně vyšší TOC a PCB. Rozdílné absolutní hodnoty produkce znečišťujících látek jsou ovlivněny zejména vyšší výhřevností paliva s PE sáčky a o cca 2 % lepší účinností kotle (Tab. 12, Tab. 13).

Tab. 12 Spotřeba paliva v závislosti na druhu příměsi (PE sáčky, hypotetická domácnost)

Palivo	Potřeba tepla na vytápění [GJ/rok]	Výhřevnost paliva [MJ/kg]	Účinnost zdroje [%]	Spotřeba paliva [kg]
Samotné dřevo	60	15,9	65,8	5 771
Dřevo s PE	60	18,0	67,9	4 945

Plasty tvoří 7 % hmotnosti paliva v kotli.

Tab. 13 Hmotnosti emitovaných znečišťujících látek za topnou sezónu v závislosti na druhu příměsi (PE sáčky)

Palivo	TZL [kg]	TOC [kg]	NO _x [kg]	CO [kg]	SO ₂ [kg]	ΣPAU [g]	B(a)P [g]	PCB [μg]	PCDD /F [μg]
Samotné dřevo	5,9	54	6,1	408	-	21,0	5,4	145,7	0,7
Dřevo s PE	8,3	91,9	5,6	406	-	28,9	5,7	232,1	0,3
Změna v %	+39	+70	-9	0	-	+38	+6	+59	-49

Prohořivací kotel při jmenovitém tepelném výkonu.

Tyto závěry potvrzují také výpočty založené na měrných emisích znečišťujících látek získaných z experimentálních měření, při nichž plasty byly spalovány nikoliv se dřevem, ale s hnědým uhlím. Poněkud překvapivé jsou znatelně nižší účinnosti kotle dosažené při zkouškách s plasty, které ještě více zhoršují emisní bilanci domácnosti (Tab. 14, Tab. 15, Tab. 16 a Tab. 17).

Tab. 14 Spotřeba paliva v závislosti na druhu příměsi (PET lahve, hypotetická domácnost)

Palivo	Potřeba tepla na vytápění [GJ/rok]	Výhřevnost paliva [MJ/kg]	Účinnost zdroje [%]	Spotřeba paliva [kg]
Samotné hnědé uhlí	60	20	62,9	4 811
Uhlí s PET	60	20,3	58,7	5 079

Plasty tvoří 7 % hmotnosti paliva v kotli.

Tab. 15 Hmotnosti emitovaných znečišťujících látek za topnou sezónu v závislosti na druhu příměsi (PET lahve)

Palivo	TZL [kg]	TOC [kg]	NOx [kg]	CO [kg]	SO ₂ [kg]	ΣPAU [g]	B(a)P [g]	PCB [μg]	PCDD /F [μg]
Samotné hnědé uhlí	-	-	19,5	3 279	289,8	110,3	35,0	124,0	5,3
Uhlí s PE	-	-	37,3	4 475	321,1	132,7	41,4	149,8	1,8
Změna v %	-	-	+92	+36	+11	+20	+18	+21	-66

Prohořivací kotel při jmenovitém tepelném výkonu.

Tab. 16 Spotřeba paliva v závislosti na druhu příměsi (PET lahve, hypotetická domácnost)

Palivo	Potřeba tepla na vytápění [GJ/rok]	Výhřevnost paliva [MJ/kg]	Účinnost zdroje [%]	Spotřeba paliva [kg]
Samotné hnědé uhlí	60	22,2	62,9	4 811
Uhlí s PE	60	23,9	54,8	5 259

Plasty tvoří 7 % hmotnosti paliva v kotli.

Tab. 17 Hmotnosti emitovaných znečišťujících látek za topnou sezónu v závislosti na druhu příměsi (PET lahve)

Palivo	TZL [kg]	TOC [kg]	NOx [kg]	CO [kg]	SO ₂ [kg]	ΣPAU [g]	B(a)P [g]	PCB [μg]	PCD D/F [μg]
Samotné hnědé uhlí	-	-	19,5	3 279	289,8	110,3	35,0	124,0	5,3
Uhlí s PE	-	-	32,8	4 422	332,4	162,2	50,7	196,4	2,2
Změna v %	-	-	+68	+35	+15	+47	+45	+58	-59

Prohořivací kotel při jmenovitém tepelném výkonu.

Výše uvedené výsledky ukazují výrazné zhoršení složení spalin při přidání dvou typů plastů ke standardnímu palivu. Nezákonné termické využití jiných typů odpadů ve spalovacích stacionárních zdrojích do příkonu 300 kW může vést k násobně horším výsledkům s dopadem na lokální kvalitu ovzduší.

3.6 Kotlíkové dotace

3.6.1 Je správné vyměnit staré kotle za nové? Je správné je dotovat?

Dle výše uvedených skutečností je zřejmé, že výměna nového kotle nevyřeší vše, ale že se jedná o jeden ze čtyř předpokladů, které vedou ke kýženému cíli, jímž je kvalitní spalování pevných paliv a s tím spojená minimalizace produkce znečišťujících látek.

Cena moderních kotlů včetně instalace, regulace a dalších nezbytných prvků pro správný provoz je výrazně vyšší než u starých technologií. Proto se zdají být dotační mechanismy na výměnu starých kotlů přínosné. První vlna kotlíkových dotací začala v roce 2015. Pro první tři výzvy bylo (k roku 2022) alokováno celkem 11,8 mld. Kč. Celkem bylo přijato 120 000 žádostí, přičemž vyměněno bylo doposud 84 000 kotlů a vyplaceno 9,3 mld. Kč. K roku 2022 může být v provozu až 300 000 neekologických kotlů na pevná paliva.

Sohledem na obrovský počet doposud nevyměněných kotlů bylo rozhodnuto o nových kotlíkových dotacích, jejichž spuštění připadá na rok 2022.

3.7 Výsledky měření vyměněných kotlů v domácnostech

3.7.1 Kontrola v domácnostech

To, že na zkušebně kotel splnil podmínky EKODESIGNu či jiné požadavky, samo o sobě nezaručuje, že těchto parametrů dosáhne také při každé instalaci v domácnosti. Je to jen dobrý předpoklad. Cílem snažení by mělo být, aby rozdíl mezi štítkovými parametry stanovenými při certifikaci na zkušebně a reálnými parametry u provozovatele nebyl výrazný (vždy nějaký bude, jde o to, co je považováno za přijatelné). Jak již bylo zmíněno, podmínky při certifikaci spalovacího stacionárního zdroje jsou vždy totožné a optimální, kotel je seřízen a nastaven dle provozních parametrů výrobcem proškolenými techniky a spalínová cesta funguje přesně tak, jak má. Toto jsou **optimální podmínky**, které jsou důležitým předpokladem pro ideální provoz kotle. Proto by bylo velmi vhodné, aby po instalaci nového kotle v domácnosti proběhlo jeho nastavení, optimalizace a kontrola reálného stavu. Zde je vhodné mít postoj nevěřícího Tomáše. Měření se nedá ničím nahradit a bez toho, aby byly odsáty reálné spaliny z kouřovodu, není možné o kvalitě provozovaného spalovacího stacionárního zdroje nic říci (tedy pokud není dostačující parametr kouří/nekouří). Jestliže není kouř z komína viditelný, neznamená to, že splňuje kvalitativní požadavky na spalování a naopak. V Německu je nový kotel po instalaci vždy změřen proto, aby bylo zřejmé, že rozdíl mezi stavem

na zkušebně a realitou není velký. Autorům se tento postup jeví jako velmi vhodný.

Kotel a spalinová cesta tvoří jeden celek. Při zanedbání údržby zmíněných prvků může dojít s postupem času k výraznému zhoršení parametrů spalovacího stacionárního zdroje. Z toho důvodu se jeví jako velmi vhodné, mít nějakou informaci o tom, zda kvalita spalování zůstala na vysoké úrovni anebo zda a jak se zhoršila.

V Německu (lídr v oblasti vytápění domácností biomasou) tato měření provádí kominíci jednou za dva roky u všech spalovacích stacionárních zdrojů od tepelného výkonu 4 kW, a to včetně měření hmotnostní koncentrace TZL. Měření není samospasitelné a má svá omezení, ale má něco společného s tím, co opravdu z pozorovaného komínu vychází.

3.7.2 Provedená měření v domácnostech

Jedním z nejvýznamnějších antropogenních zdrojů znečišťování ovzduší (mimo jiné také aerosolem) je vytápění domácností pevnými palivy. Vláda ČR se prostřednictvím Ministerstva Životního prostředí (dále jen MŽP) snaží o zlepšení kvality životního prostředí. Pozitivní aktivitou je dotovaná výměna starých a nevyhovujících kotlů za moderní kotle na pevná paliva (automatické, zplyňovací kotle) nebo přechod na jiné šetrné způsoby vytápění (tepelná čerpadla, plynové kondenzační kotle). Předmětem této kapitoly je prezentace výsledků pilotního projektu měření osmi moderních kotlů pořízených z kotlíkových dotací při reálném provozu v domácnostech. Všechny měřené kotle splňují požadavky na Ekodesign pro uvádění výrobků na trh (nařízení Komise EU č. 2015/1189).

Bylo změřeno osm moderních teplovodních kotlů na pevná paliva, přičemž se nejedná o reprezentativní, náhodný vzorek a prezentované výsledky není možno extrapolovat na celou Českou republiku, nebo jinou oblast. Jmenovitý tepelný výkon pozorovaných kotlů byl v rozsahu 20 až 30 kW. Jednalo se o tři zplyňovací kotle na kusové dříví, dva automatické kotle na hnědé uhlí a dva automatické kotle na dřevní pelety. Kotle byly, mimo dvě výjimky (1A, 2A) okomentované dále v textu, provozovány majitelem dle jeho zvyklostí. Tepelný výkon byl u automatických kotlů dán aktuální potřebou domů pro udržení tepelného komfortu, u zplyňovacích kotlů bylo přebytkové teplo ukládáno do vybitých akumulčních nádrží (počáteční teplota cca 20 °C) tak, že kotle měly být provozovány při jmenovitém tepelném výkonu.

3.7.3 Metody měření

Byly měřeny parametry spalin ve spalinové cestě cca 100 až 500 mm za kotlem (vzdálenost za kotlem byla dána dispozicí a možnostmi spalinové cesty):

- a. kontinuální měření teploty spalin termočláňkovým čidlem;
- b. kontinuální měření komínového tahu elektronickým tlakoměrem;
- c. kontinuální měření objemového zlomku kyslíku v suchých spalinách paramagnetickou metodou;
- d. kontinuální měření objemového zlomku oxidu uhelnatého v suchých spalinách NDIR metodou;
- e. jednorázový gravimetrický odběr spalin pro stanovení hmotnostní koncentrace TZL v suchých spalinách, přičemž nebyly striktně dodrženy požadavky izokinetického vzorkování.

Dále byly nepřímou metodou vyhodnoceny energetické účinnosti spalovacích stacionárních zdrojů. Byly provedeny rozborů paliv, stanoveny ztráty citelným teplem spalin, ztráty plynným a mechanickým nedopalem. Ztráty sdílením tepla do okolí nebyly stanovovány (pro výpočet byla uvažována konstantní hodnota 3,5 %, dle zkušeností s podobnými spalovacími stacionárními zdroji při provozu na snížený tepelný výkon). Tepelný výkon kotle byl stanoven na základě měření teplotního spádu (příložná čidla Pt100) a průtoku otopné vody (příložný ultrazvukový průtokoměr).

Stanovené hmotnostní koncentrace CO a TZL uvedené v této kapitole jsou vždy přepočítané na $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ při teplotě 0 °C, tlaku 101,3 kPa a při referenčním objemovém zlomku kyslíku $\text{O}_2 = 10 \%$. Hmotnostní koncentrace znečišťujících látek a stanovené hodnoty energetické účinnosti (stanovené v % příkonu kotle) byly porovnány s limitními hodnotami pro třídy kotlů dle ČSN EN 303-5 (viz Graf 21, Graf 22 a Graf 23).

3.7.4 Výsledky a diskuse

3.7.4.1 Zplyňovací kotle na dřevo s ručním příkládáním

Pro dosažení co nejlepších výsledků z pohledu účinnosti a hmotnostních koncentrací znečišťujících látek ve spalinách u tohoto typu kotlů je nezbytné, aby byly provozovány na jmenovitý tepelný výkon. Proto je použití těchto kotlů, včetně podmínek pro udělení dotace, podmíněno instalací

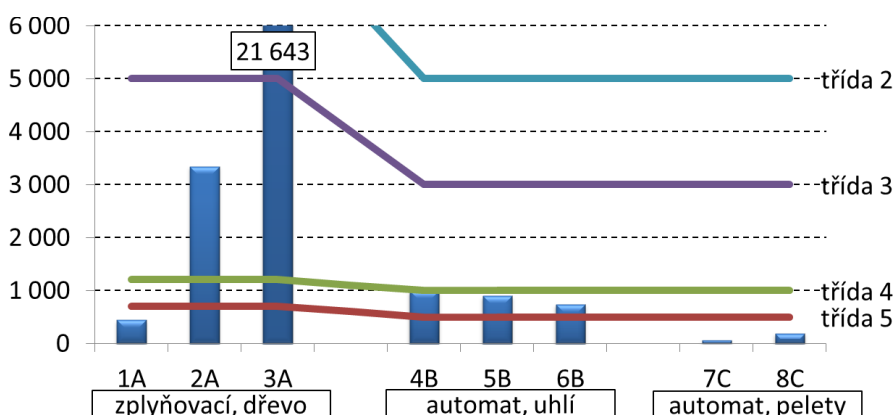
akumulačních nádob o dostatečné kapacitě. Byly měřeny tři zástupci těchto kotlů.

Kotel s označením **1A** byl provozován na jmenovitý tepelný výkon přímo kvalifikovaným technikem výrobce, který byl u měření přítomen a provozoval kotel optimálním způsobem. Přítomnost výrobce u měření si vyžádal provozovatel kotle. Během provozu bylo do kotle poměrně často zasahováno kvůli zabránění tzv. klenbování paliva nad hořákem, což by zapříčinilo snížení kvality spalování a částečné snížení tepelného výkonu. Správně nastavený zplyňovací kotel, který je provozován téměř při jmenovitém tepelném výkonu a bez klenbování, může v reálném provozu běžně dosahovat kvality spalování na úrovni třídy kotle 5 (CO pod $700 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ a TZL pod $60 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ viz Tab. 18 a Graf 21, kotel 1A). Tento fakt dokládá kvalitu konstrukcí těchto kotlů, ale chybné nastavení kotle (nevhodně nastavená řídicí jednotka, zanedbání údržby) nebo otopné soustavy (nevhodné zapojení, provoz bez akumulacích nádrží nebo při nabitých akumulacích nádržích) způsobí provoz na snížený tepelný výkon. V praxi to znamená provoz s nedostatkem spalovacího vzduchu způsobený sníženými otáčkami nebo dokonce vypnutým odsávacím ventilátorem spalin.

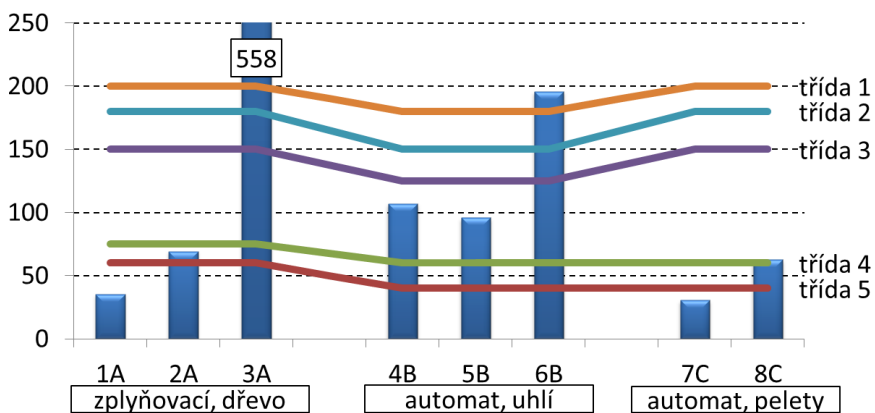
Kotel s označením **2A** byl nevhodně nastaven, což způsobovalo trvalý provoz na snížený tepelný výkon, kolem 30 % jmenovitého tepelného výkonu. Majitel byl s nově pořízeným kotlem nespokojen. Asi měsíc před měřením došlo k nahromadění dehtů v kouřovodu za kotlem a v komíně což zapříčinilo následné vyhoření komínu. Sledováním chování kotle bylo zjištěno, že se po krátké době provozu snižují otáčky spalínového ventilátoru, což způsobuje provoz na snížený tepelný výkon i při vybitých akumulacích nádržích. Problém byl identifikován v hodnotě maximální teploty spalin za kotlem, která byla nastavena na $185 \text{ }^\circ\text{C}$ (velmi nízká hodnota), po zvýšení této hodnoty na $250 \text{ }^\circ\text{C}$ se spalínový ventilátor roztočil na plné otáčky a následně se podstatně zvýšil i tepelný výkon kotle. Měření bylo provedeno až po tomto zásahu a kotel byl provozován po většinu doby provozu bez zásahů obsluhy (cca $1 \times$ za hodinu odstranění klenbování), přesto kotel dosáhl pouze přibližně poloviny jmenovitého tepelného výkonu (viz Tab. 18). Při provozu se projevoval efekt klenbování paliva nad hořákem, což způsobovalo kolísání kvality spalování a také snížení tepelného výkonu.

Kotel s označením **3A** byl majitelem provozován obvyklým způsobem, ale byl nevhodně nastaven, to způsobovalo trvalý provoz na snížený tepelný výkon. Měření tohoto kotle bylo provedeno při tomto sníženém tepelném výkonu. Složení spalin z pohledu hmotnostních koncentrací znečišťujících látek bylo horší než v případě starých prohořivacích kotlů (viz Tab. 18 a Graf 21, Graf 22 a Graf 23). Příčinou sníženého tepelného výkonu bylo nastavení

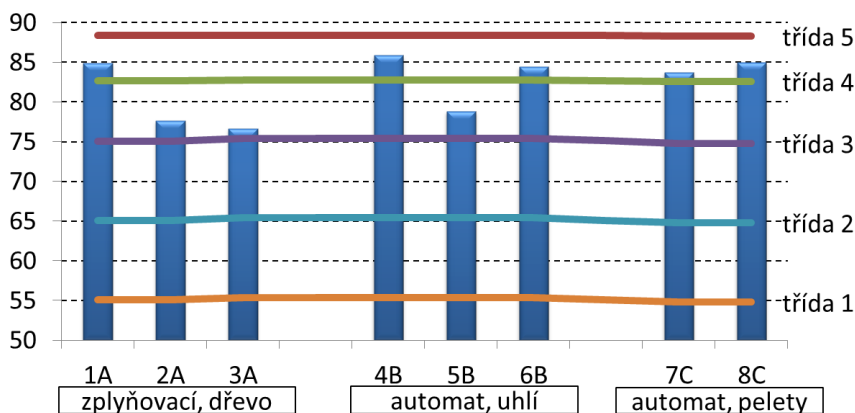
vysoké teploty vratné otopné vody na 75 °C (pravděpodobně z důvodů zabránění koroze kotle), v kombinaci s nízkou požadovanou teplotou výstupní otopné vody nastavené na 80 °C. Tento stav způsobil, že při daném průtoku otopné vody (cca 1900 dm³/h) bylo možno dosáhnout maximální teplotní diference pouze 5 °C a bylo dosaženo tepelného výkonu pouze cca 11 kW. Problém byl v chybném požadavku na teplotu výstupní otopné vody, ne v tom, že teplota vratné otopné vody by byla zbytečně vysoko (to opravdu snižuje problémy s korozí).



Graf 21 Srovnání naměřených hodnot hmotnostní koncentrace CO s limitními hodnotami dle ČSN EN 303-5



Graf 22 Srovnání naměřených hodnot hmotnostní koncentrace TZL s limitními hodnotami dle ČSN EN 303-5



Graf 23 Srovnání naměřených hodnot účinnosti s limitními hodnotami dle ČSN EN 303-5 (% příkonu)

3.7.4.2 Automatické kotle na hnědé uhlí

Z hlediska kvality spalování všechny tři měřené automatické kotle na hnědé uhlí (kotle označené **4B**, **5B** a **6B**) plnily limit z pohledu hmotnostní koncentrace CO ve spalínách pro třídu kotle 4 ($1000 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) viz Tab. 18 a Graf 21. Dva majitelé uhelných kotlů si stěžovali na kvalitu dodávaného uhlí, která podstatně ovlivňuje hmotnostní koncentraci TZL ve spalínách. Kotel s označením **6B** byl montážní firmou dodán bez turbulátorů. Pravděpodobně díky tomu a také díky nekvalitnímu palivu (s vyšším podílem jemných frakcí) hmotnostní koncentrace TZL nedosáhla ani na limit třídy 1 ($180 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, viz Tab. 18 a Graf 22). Další dva kotle (**4B** a **5B**) splňovaly limit hmotnostní koncentrace TZL ve spalínách pro kotle třídy 3 ($150 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, viz Tab. 18 a Graf 22).

Turbulátory

Turbulátory, někdy označované jako tzv. zpomalovače, jsou konstrukční prvky umístěné do výměníku spaliny/voda, které zajišťují víření spalin (čímž intenzifikují přenos tepla mezi médii) a zároveň mají příznivý vliv na snížení hmotnostní koncentrace pevných částic ve spalínách. Turbulátory mohou mít různé podoby, např. spirálové pro umístění do potrubí nebo lamelové pro umístění do kanálu o obdélníkovém průřezu.

3.7.4.3 Automatické kotle na dřevní pelety

Třetí skupinou byly automatické kotle na dřevní pelety. Tyto kotle pracovaly z hlediska kvality spalování nejlépe ze všech měřených kotlů

(hmotnostní koncentrace CO viz Tab. 18 a Graf 21, kotle s označením **7C** a **8C**). Oba zástupci plnily limit hmotnostní koncentrace CO pro třídu kotle 5 ($500 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$). U obou měřených kotlů byly shledány drobné potíže se zaneseným výměníkem. Majitel kotle označeného **7C** dokonce netušil, že i tato konstrukce kotlů potřebuje jednou za čas vyčistit. Po následném vyčištění výměníku se teplota spalin za výměníkem, dle vyjádření majitele, snížila cca o $50 \text{ }^\circ\text{C}$, což znamenalo změnu účinnosti ze stanovených $83,8 \%$ na cca $87,4 \%$. Tato hodnota účinnosti se již velmi přibližuje k limitu pro třídu 5, která požaduje účinnost minimálně $88,3 \%$ (viz Graf 23). Během měření dosáhly tyto kotle třídy 3 a 4 (při současném hodnocení limitních hodnot hmotnostní koncentrace CO, hmotnostní koncentrace TZL a účinnosti viz Tab. 18 a Graf 21, Graf 22 a Graf 23).

Tab. 18 Výsledky měření moderních kotlů na pevná paliva

označení kotle	konstrukce kotle, palivo	CO		prach		účinnost		dosahený výkon	jmenovitý výkon	komínový tah
		mg/m ^{3*}	třída ** kotle	mg/m ^{3*}	třída ** kotle	%	třída ** kotle			
1A	zplyňovací, kusové dřevo	449	5	35	5	84,9	4	16,8	22	34
2A		3 347	3	69	4	77,7	3	15,7	30	34
3A		21 643	1	558	–	–	76,7	3	10,9	25
4B	automat, hnědé uhlí	997	4	107	3	85,9	4	10,2	25	23
5B		903	4	96	3	78,8	3	11,2	25	28
6B		746	4	196	–	–	84,5	4	11,4	25
7C	automat, dřevní pelety	62	5	31	5	83,8	4	12,4	20	21
8C		191	5	63	3	85	4	17,5	30	4

* suchý plyn; 0 °C; 101,3 kPa; O₂ = 10 % ** dle ČSN EN 303-5 dosažená pro daný parametr

Prezentované výsledky není možno extrapolovat jako dopad kotlíkových dotací a rozhodně je není možno interpretovat jako selhání kotlíkových dotací. Naopak, pobídka k pořízení nového kotle s pomocí dotace výrazným způsobem urychlila rozšíření moderních kotlů na pevná paliva v České republice. Také je nutné na tomto místě zdůraznit, že prezentované výsledky není možno považovat jako reprezentativní parametry určité konstrukce kotlů. Pro takové zhodnocení je nutné provést větší počet měření na reálně provozovaných spalovacích stacionárních zdrojích s širším výběrem jejich typů, způsobů instalace a používaných paliv.

Reálné provozní hodnoty jsou výsledkem kombinace těchto čtyř faktorů: a) kvalita konstrukce kotle, b) kvalita paliva, c) kvalita obsluhy, d) kvalita údržby. Vliv konstrukce konkrétního kotle je tedy pouze jedním ze čtyř faktorů ovlivňujících kvalitu výsledného procesu. V případě, že se lze optimalizace jednoho nebo více z dalších tří faktorů, tak dochází ke zhoršení složení spalin nebo ke zhoršení provozních parametrů. U moderních kotlů je selhání téměř vždy vinou lidského faktoru, ať již v podobě servisního technika nebo provozovatele.

Provedená měření je nutno chápat jako pilotní aktivitu pro potvrzení či vyvrácení hypotézy, že reálné moderní kotle mohou být výrazně zatíženy chybami způsobenými nedostatečnou důsledností 1) při instalaci a uvádění kotle do provozu, 2) nekvalitními dodávkami paliva, 3) nedostatečným proškolením uživatelů a 4) také určitými nesprávně vyloženými fakty (vytržení dobrých rad a principů z kontextu). Například případ, kdy byla snížena požadovaná maximální teplota za kotlem, s pravděpodobným cílem zvýšení účinnosti kotle, tímto zásahem však došlo také k nechtěnému omezení tepelného výkonu zplyňovacího kotle. Nebo ve druhém případě, kdy někdo nevhodně nastavil vysokou teplotu vratné vody do kotle, pravděpodobně pro zabránění koroze kotle, kde tímto zásahem v kombinaci s nevhodně malým tepelným spádem došlo taktéž k omezení tepelného výkonu zplyňovacího kotle a následnému dramatickému zhoršení parametrů kotle z pohledu složení spalin (navýšení hmotnostních koncentrací znečišťujících látek ve spalinách). Problémem nebyla hodnota vratné otopné vody, ale chybně nastavený požadavek na nízkou teplotu výstupní otopné vody (byla zbytečně nízká, takže kotel nemohl jet na jmenovitý tepelný výkon). Samostatnou otázkou je zavedení požadavku na realizaci měření při uvedení spalovacího stacionárního zdroje do provozu u zákazníka, které má prokázat splnění požadovaných parametrů – v Rakousku je to podmínka pro vyplacení dotace.

Ukazuje se, že citlivou oblastí u automatických uhelných kotlů je granulometrie paliva (zvýšený podíl jemné frakce navyšuje hmotnostní koncentrace TZL ve spalinách). Při správném nastavení automatického kotle je značně omezen vliv obsluhy, neboť je minimalizován pouze na přiřkládání paliva, vynášení popele a čištění výměníku a spalinových cest. Pro majitele nových zplyňovacích kotlů není vůbec snadné opustit jejich zažité návyky z provozu již zlikvidovaných starých kotlů. Je nutné si uvědomit, že každý typ spalovacího stacionárního zdroje vyžaduje specifický přístup. Správná edukace těchto uživatelů se jeví jako důležitý faktor pro optimalizaci provozu kotlů.

Splnění přísných provozních parametrů kotle při certifikaci není zárukou, že kotel bude takto pracovat i při skutečném provozu v domácnostech. Pro optimální provoz kotlů je potřeba kromě kvalitního kotle splnit ještě další tři podmínky. Tedy použití vhodného paliva, správná obsluha kotle a pečlivá údržba. Potom je zaručeno, že kotel bude pracovat optimálně s minimálním množstvím produkovaných znečišťujících látek a s vysokou účinností. Samotná výměna kotlů tedy nemusí být zárukou pro výrazné snížení hmotnostních koncentrací znečišťujících látek, ale je podmínkou první a nezbytnou. Proto autoři považují tzv. kotlíkové dotace za správný počín, který by ovšem měl být doprovázen dalšími aktivitami.

4 Legislativa týkající se ochrany ovzduší

Energetika je především v poslední době velmi turbulentní odvětví silně ovlivňované politickými rozhodnutími, které se projevují zvýšeným tlakem na výrobce, dovozce a provozovatele spalovacích stacionárních zdrojů do příkonu 300 kW. Rozhodnutí o spalovacích stacionárních zdrojích je prezentováno formou legislativních dokumentů. Nejdůležitější aktuálně platné dokumenty v popisované oblasti budou v následující kapitole podrobněji popsány.

4.1 Požadavky na technické parametry kotlů spalujících pevná paliva (zákon o ochraně ovzduší)

4.1.1 Povinnosti výrobce a dovozce spalovacího stacionárního zdroje

Základní požadavky stanovuje nařízení vlády č. 163/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky, ve znění pozdějších předpisů, (teplovodní kotle) a k němu určená norma ČSN EN 303-5:2013.

Zákon o ochraně ovzduší, stanovuje minimální emisní požadavky ve vztahu k některým znečišťujícím látkám pro kotle, které musí výrobce (nebo dovozce) splnit při tzv. zkoušce typu. **Od ledna 2014** je možné v ČR prodávat pouze teplovodní kotle, které splní požadavky uvedené v Tab. 19, zjednodušeně řečeno spalovací stacionární zdroje, která splní třídu 3 dle ČSN EN 303-5:2013.

Od ledna 2018 došlo k dalšímu zpřísnění a bylo možné prodávat pouze teplovodní kotle, které splní požadavky uvedené v Tab. 20, zjednodušeně řečeno spalovací stacionární zdroje, která splní třídu 4 dle ČSN EN 303-5:2013.

ČSN EN 303-5:2021 kategorizuje zdroj dle jeho tepelného výkonu, zatímco Zákon o ochraně ovzduší kategorizuje zdroj dle jeho příkonu.

Tab. 19 Minimální emisní požadavky na spalovací zdroje na pevná paliva o jmenovitém příkonu do 300 kW dle příl. 10, zák. č. 201/2012 Sb. při uvedení zdroje na trh od 1. 1. 2014

Dodávka paliva	Palivo	Jmenovitý tepelný příkon (kW)	Mezní hodnoty emisí ¹⁾		
			CO	OGC ²⁾³⁾	Prach (TZL)
			mg/m ³ při 10% O ₂ (mg/m ³ N při 13% O ₂) ¹⁾		
Ruční	Biologické	≤ 65	5 000 (3 636)	150 (109)	150 (109)
		> 65 až 187	2 500 (1 818)	100 (73)	150 (109)
		> 187 až 300	1 200 (873)	100 (73)	150 (109)
	Fosilní	≤ 65	5 000 (3 636)	150 (109)	125 (91)
		> 65 až 187	2 500 (1 818)	100 (73)	125 (91)
		> 187 až 300	1 200 (873)	100 (73)	125 (91)
Samočinná	Biologické	≤ 65	3 000 (2 182)	100 (73)	150 (109)
		> 65 až 187	2 500 (1 818)	80 (58)	150 (109)
		> 187 až 300	1 200 (873)	80 (58)	150 (109)
	Fosilní	≤ 65	3 000 (2 182)	100 (73)	125 (91)
		> 65 až 187	2 500 (1 818)	80 (58)	125 (91)
		> 187 až 300	1 200 (873)	80 (58)	125 (91)

¹⁾ Vztahuje se k suchým spalinám, teplotě 273,15 K, tlaku 101,325 kPa a k referenčnímu obsahu kyslíku 10 % (k referenčnímu obsahu kyslíku 13 %)
²⁾ OGC = TOC = celkový organický uhlík, kterým se rozumí úhrnná koncentrace všech organických látek s výjimkou methanu vyjádřená jako celkový uhlík.

³⁾ Nevztahuje se na sálavé spalovací stacionární zdroje, určené pro připojení na teplovodní soustavu ústředního vytápění a k instalaci v obytné místnosti.

Tab. 20 Minimální emisní požadavky na spalovací zdroje na pevná paliva o jmenovitým příkonu do 300 kW dle příl. 10, zák. č. 201/2012 Sb. při uvedení zdroje na trh od 1. 1. 2018

Dodávka paliva	Palivo	Jmenovitý tepelný příkon (kW)	Mezní hodnoty emisí ¹⁾		
			CO	OGC ²⁾ 3)	Prach (TZL)
			mg/m ³ N při 10% O ₂ (mg/m ³ N při 13% O ₂) ¹⁾		
Ruční	Biologické / Fosilní	≤ 300	1 200 (873)	50 (36)	75 (55)
Samočinná	Biologické / Fosilní	≤ 300	1 000 (727)	30 (22)	60 (44)

¹⁾ Vztahuje se k suchým spalinám, teplotě 273,15 K, tlaku 101,325 kPa a k referenčnímu obsahu kyslíku 10 % (k referenčnímu obsahu kyslíku 13 %)

²⁾ OGC = TOC = celkový organický uhlík, kterým se rozumí úhrnná koncentrace všech organických látek s výjimkou methanu vyjádřená jako celkový uhlík.

³⁾ Nevztahuje se na sálavé spalovací stacionární zdroje, určené pro připojení na teplovodní soustavu ústředního vytápění a k instalaci v obytné místnosti.

4.1.2 Porovnání legislativy, vztahující se k teplovodním kotlům, platné v České republice a v EU

Srovnání požadavků při referenčním kyslíku $O_2 = 10\%$ je uvedeno v Tab. 21. (pozn. K tabulce Tab. 21: 1) hodnoty jsou uvedeny jako sezónní energetická účinnost (počítaná na spalné teplo), 2) bez závorky jsou uvedeny hodnoty pro kotle s výkonem ≤ 20 kW, v závorce jsou hodnoty pro kotle s výkonem > 20 kW).

Tab. 21 Srovnání požadavků na hmotnostní koncentrace znečišťujících látek ve spalínách a účinnost kotlů při $O_{2ref} = 10\%$;

Při referenčním $O_2 = 10\%$			Biogenní		Fosilní	
			Ruční Kusové dřevo	Automatické Dřevní pelety	Ruční	Automatické
CO	[mg/m ³ _N]	EN 303-5 - třída 3	5 000	3 000	5 000	3 000
		EN 303-5 - třída 4	1 200	1 000	1 200	1 000
		EN 303-5 - třída 5	700	500	700	500
		ČR - emisní limity	5 000	3 000	5 000	3 000
		ČR - emisní limity od 1.1.2018	1 200	1 000	1 200	1 000
		Ekodesign - emisní limity od 1.1.2020	700	500	700	500
OGC	[mg/m ³ _N]	EN 303-5 - třída 3	150	100	150	100
		EN 303-5 - třída 4	50	30	50	30
		EN 303-5 - třída 5	30	20	30	20
		ČR - emisní limity	150	100	150	100
		ČR - emisní limity od 1.1.2018	50	30	50	30
		Ekodesign - emisní limity od 1.1.2020	30	20	30	20
NO _x	[mg/m ³ _N]	EN 303-5 - třída 3	-	-	-	-
		EN 303-5 - třída 4	-	-	-	-
		EN 303-5 - třída 5	-	-	-	-
		ČR - emisní limity	-	-	-	-
		ČR - emisní limity od 1.1.2018	-	-	-	-
		Ekodesign - emisní limity od 1.1.2020	200	200	350	350
Prach (TZL)	[mg/m ³ _N]	EN 303-5 - třída 3	150	150	125	125
		EN 303-5 - třída 4	75	60	75	60
		EN 303-5 - třída 5	60	40	60	40
		ČR - emisní limity	150	150	125	125
		ČR - emisní limity od 1.1.2018	75	60	75	60
		Ekodesign - emisní limity od 1.1.2020	60	40	60	40
Účinnost	[%]	EN 303-5 - třída 3	75.4%			
		EN 303-5 - třída 4	82.8%			
		EN 303-5 - třída 5	88.4%			
		ČR - účinnost	75.4%			
		ČR - účinnost od 1.1.2018	82.8%			
		Ekodesign - emisní limity od 1.1.2020 ¹⁾	75 (77) ²⁾	75 (77) ²⁾	75 (77) ²⁾	75 (77) ²⁾

4.2 Požadavky na technické parametry lokálních topidel

Kamna, krby a sporáky (spalovací stacionární zdroje souhrnně označovaná jako lokální topidla na pevná paliva dle nařízení o ekodesignu nebo také jako sálavé spalovací stacionární zdroje určené k instalaci v obytné místnosti dle zákona o ochraně ovzduší) nepochybně patří k tepelným zdrojům, která dokážou přinést do domácností tepelnou pohodu a současně potěšit pohledem na plápolající oheň. Proto je zájem o tyto spalovací stacionární zdroje poměrně značný. Podle statistického šetření MPO bylo například v roce 2011 v ČR prodáno přibližně 83 tisíc kusů lokálních topidel (téměř 20 tisíc kusů vložek, zhruba 56 tisíc kamen a cca 7 tisíc sporáků). Což při průměrném tepelném výkonu lokálního topidla cca 10 kW představuje přibližně 830 MW instalovaného tepelného výkonu ze spalování dřeva v domácnosti, byť pravděpodobně s nepřiliš vysokým ročním využitím. Tato hodnota je např. vyšší než celkový tepelný výkon teplárny Ostrava - Třebovice (649 MW).

Tato kapitola bude primárně zaměřena na lokální topidla sloužící především pro vytápění místnosti ve které jsou umístěna a jejich bezprostředního okolí (popř. pro vaření). Tyto spalovací stacionární zdroje je možné dle terminologie norem rozdělit na:

- vestavné spotřebiče k vytápění a krbové vložky na pevná paliva (ČSN EN 13229) – krbové vložky; kachlová kamna a vestavné dekorativní spotřebiče;
- spotřebiče na pevná paliva k vytápění obytných prostorů (ČSN EN 13240) – krbová kamna;
- akumulční kamna na pevná paliva (ČSN EN 15250) – kamna s akumulční funkcí;
- varné spotřebiče pro domácnost na pevná paliva (ČSN EN 12815) – spotřebiče sloužící k tepelné úpravě pokrmů – sporáky;
- spotřebiče spalující dřevěné pelety k vytápění obytných prostorů (ČSN EN 14785) – krbová kamna na pelety;
- saunová kamna na pevná paliva (dřevěná polena) se spalováním periodických dávek (ČSN EN 15821).

V současné době probíhá příprava a proces harmonizace série norem EN 16510, které nahrazují výše uvedené normy EN 13229, EN 12815, EN 13240 a další. Proces harmonizace normy EN 16510 není stále dokončen a z tohoto důvodu se posuzování lokálních topidel provádí stále dle starých norem, přestože k červenci 2022, byly tyto normy zrušeny.

Zpřísnění obecných limitů dále přinášejí v jednotlivých státech různé vyhlášky a nařízení, případně dobrovolné ekologické známky.

Poznámka: v další části této kapitoly je v některých případech uvedena jednotka m^3_{N} – ta představuje objem v metrech krychlových při 101 325 Pa a 0 °C – při tzv. normálních stavových podmínkách plynu.

4.2.1 Evropa obecně

4.2.1.1 Povinnosti výrobce a dovozce lokálních topidel

Při uvedení výše zmíněných spotřebičů na trh se obecně v Evropě provádí zkoušení dle platných harmonizovaných norem. Co se týká postupů zkoušení i limitů hmotnostních koncentrací znečišťujících látek ve spalinách, jsou si normy velice podobné. V normě EN 12815 přibývají zkoušky vyplývající z hlavní funkce spotřebičů, kterou je příprava pokrmů – zkouška doby ohřevu varné plotny a zkouška pečení a dále některé bezpečnostní zkoušky.

Limity týkající se hmotnostních koncentrací znečišťujících látek ve spalinách musí dle norem plnit spotřebiče jen při jmenovitém tepelném výkonu (kromě spotřebičů spalujících dřevní pelety, které mají odlišné limity při sníženém tepelném výkonu). Tabulka těchto limitů je označena jako Tab. 22. Dále jsou v tabulce uvedeny i hodnoty minimální účinnosti pro dané spotřebiče.

Obecně lze říci, že tyto limity jsou ve srovnání s požadavky na kotle mírné a minimální účinnosti jsou poměrně nízké. Problém s účinností nastává v případě krbových vložek (dále jen KV). Ty jsou určeny do obestavby, případně jsou napojeny na akumulární prvek, kterým prochází spaliny. Pro správnou funkčnost celku (KV + akumulární prvek) je tedy nutno, aby spaliny za KV měly vysokou teplotu – samotná KV pak má nízkou účinnost. Výrobci však nabízejí (zřejmě z obavy, že by zákazníci jejich výrobky nekupovali) KV s účinností přes 70 %. K tomuto trendu jsou výrobci často tlačeni přísnějšími požadavky v zemích EU, v nichž by s výrobky, které mají nižší účinnosti než požadují místní předpisy, neuspěli.

Je třeba si uvědomit, že potřeba tepla objektu není po celou topnou sezónu stejná. U krbových vložek s vodním výměníkem je možným řešením akumulární nádoba, která umožňuje krbové vložce pracovat při ideálním jmenovitém tepelném výkonu. Při modulaci tepelného výkonu (na tzv. snížený tepelný výkon) dochází k vyšší produkci znečišťujících látek ve spalinách a nižší účinnosti. Je proto dobré krbová kamna zbytečně nepředimenzovat a tím docílit co největšího pokrytí topné sezóny v provozu na jmenovitý tepelný výkon.

Tab. 22 Obecně platné limitní hodnoty dle uvedených norem, EU

norma	předmět normy ¹⁾	limit pro CO ²⁾	limit pro CO ²⁾	min. účinnost
		[%]	[mg/m ³ _N]	[%]
EN 13240	krbová kamna	1	12 500	50
EN 13229	krbové vložky	1	12 500	30
	kachlová kamna a vestavné dekorativní spotřebiče < 15 kW	0,2	2 500	75
EN 14785	spotřebiče spalující dřevěné pelety	0,04 / 0,06 ³⁾	500 / 750 ³⁾	75 / 70 ³⁾
EN 15250	akumulační kamna	0,3	3 750	70
EN 12815	sporáky	1	12 500	60
EN 15821	saunová kamna na pevná paliva (dřevěná polena)	1	12 500	50

¹⁾ uvedeny nejběžnější spotřebiče spadající pod danou normu

²⁾ při referenčním objemovém zlomku O₂ = 13 %

³⁾ hodnoty při sníženém tepelném výkonu

Důležitým dokumentem, který se vztahuje ke všem lokálním topidlům je nařízení Komise (EU) 2015/1185 ze dne 24. dubna 2015, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign lokálních topidel na tuhá paliva. (V citaci názvu dokumentu byla záměrně ponechána fráze *tuhá paliva* i přes to, že v celém dokumentu je používáno *pevná paliva*.) Toto nařízení vešlo v platnost k 1. 1. 2022, přičemž v České republice bylo v platnosti již od 1. 1. 2020 implementací nejdůležitějších částí do zákona o ochraně ovzduší. Nejdůležitější body výše uvedeného nařízení z pohledu hmotnostních koncentrací znečišťujících látek:

1. Mezní hodnoty hmotnostní koncentrace TZL ve spalínách:

a) u topidel s otevřenou spalovací komorou nesmí překročit 50 mg·m⁻³ při měření metodou A, nebo 6 g/kg (sušiny) při měření metodou B;

b) u topidel s uzavřenou spalovací komorou využívajících pevná paliva jiná než lisované dřevo ve formě pelet a ze sporáků nesmí překročit $40 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ při měření metodou A, nebo 5 g/kg (sušiny) při měření metodou B, nebo $2,4 \text{ g/kg}$ (sušiny) v případě biomasy či $5,0 \text{ g/kg}$ v případě tuhých fosilních paliv při měření metodou C;

c) u topidel s uzavřenou spalovací komorou využívajících lisované dřevo ve formě pelet nesmí překročit $20 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ při měření metodou A, nebo $2,5 \text{ g/kg}$ (sušiny) při měření metodou B3, nebo $1,2 \text{ g/kg}$ (sušiny) při měření metodou C.

Pozn.: popis metod pro stanovení hmotnostní koncentrace TZL ve spalinách je uveden v nařízení Komise (EU) 2015/1185.

2. Mezní hodnoty hmotnostní koncentrace plynných organických sloučenin (OGC) ve spalinách:

a) hmotnostní koncentrace OGC ve spalinách z lokálních topidel na pevná paliva s otevřenou spalovací komorou, z lokálních topidel na tuhá paliva s uzavřenou spalovací komorou využívajících tuhá paliva jiná než lisované dřevo ve formě pelet a ze sporáků nesmí překročit 120 mgC/m^3 ;

b) hmotnostní koncentrace OGC ve spalinách z lokálních topidel na pevná paliva s uzavřenou spalovací komorou využívajících lisované dřevo ve formě pelet nesmí překročit 60 mgC/m^3 .

3. Mezní hodnoty hmotnostní koncentrace oxidu uhelnatého (CO) ve spalinách:

a) u topidel s otevřenou spalovací komorou nesmí překročit $2\,000 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$;

b) u topidel s uzavřenou spalovací komorou využívajících pevná paliva jiná než lisované dřevo ve formě pelet a ze sporáků nesmí překročit $1\,500 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$;

c) u topidel s uzavřenou spalovací komorou využívajících lisované dřevo ve formě pelet nesmí překročit $300 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

4. Mezní hodnoty hmotnostní koncentrace oxidů dusíku (NO_x) ve spalinách:

a) u topidel na pevná paliva s otevřenou spalovací komorou, u topidel na pevná paliva s uzavřenou spalovací komorou a ze sporáků využívajících biomasu nesmí překročit $200 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, vyjádřeno jako NO_2 ;

b) u topidel s otevřenou spalovací komorou, z topidel na pevná paliva s uzavřenou spalovací komorou a ze sporáků využívajících fosilní pevná paliva nesmí překročit $300 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, vyjádřeno jako NO_2 .

Nařízení o ekodesignu navíc od 1. ledna 2022 zavádí požadavky na sezónní energetickou účinnost vytápění:

- sezónní energetická účinnost vytápění lokálních topidel na pevná paliva s otevřenou spalovací komorou nesmí být nižší než 30 %;
- sezónní energetická účinnost vytápění lokálních topidel na pevná paliva s uzavřenou spalovací komorou využívajících pevná paliva jiná než lisované dřevo ve formě pelet nesmí být nižší než 65 %;
- sezónní energetická účinnost vytápění lokálních topidel na pevná paliva s uzavřenou spalovací komorou využívajících lisované dřevo ve formě pelet nesmí být nižší než 79 %;
- sezónní energetická účinnost vytápění sporáků nesmí být nižší než 65 %.

4.2.2 Česká republika

Česká republika přebírá limity z výše uvedených norem. U sálavých zdrojů tepla (lokální topidla) Zákon o ochraně ovzduší, stanovuje další povinnosti jak pro výrobce (dovozce) spalovacích stacionárních zdrojů, tak pro jejich provozovatele.

4.2.2.1 Povinnosti výrobce a dovozce sálavých spalovacích stacionárních zdrojů

Základní požadavky na hmotnostní koncentrace znečišťujících látek ve spalinách a účinnost stanovují normy ČSN EN 13229, ČSN EN 13240, ČSN EN 15250, ČSN EN 12815, ČSN EN 14785 a ČSN EN 15821 a nařízení o ekodesignu – viz výše.

4.2.2.2 Povinnosti provozovatele sálavých spalovacích stacionárních zdrojů

Zákon o ochraně ovzduší zavádí povinnosti pro provozovatele sálavých spalovacích stacionárních zdrojů. Zákon zakazuje ve všech spalovacích stacionárních zdrojích do příkonu 300 kW spalování lignitu, hnědého energetického uhlí a kalů (dle § 17 odst. 5 zákona). Dále se na všechny

spalovací stacionární zdroje vztahuje ustanovení o přípustné tmavosti kouře (dle § 17 odst. 1 písm. b) zákona, které je ale obtížně aplikovatelné z důvodu střídání dne a noci a také s ohledem na výjimku v době zátopy.

Pro stacionární spalovací zdroje na pevná paliva o jmenovitém tepelném příkonu od 10 do 300 kW včetně, který slouží jako zdroj tepla pro teplovodní soustavu ústředního vytápění, je provozovatel povinen dle § 17 odst. 1 písm. h) zákona provádět jednou za tři roky prostřednictvím osoby, která byla proškolená výrobcem spalovacího stacionárního zdroje a má od něj udělené oprávnění k jeho instalaci, provozu a údržbě (odborně způsobilá osoba), kontrolu technického stavu a provozu spalovacího stacionárního zdroje a předkládat na vyžádání obecnímu úřadu obce s rozšířenou působností doklad o provedení této kontroly vystavený odborně způsobilou osobou potvrzující, že stacionární zdroj je instalován, provozován a udržován v souladu s pokyny výrobce a zákonem č. 201/2012 Sb. V případě, že výrobce spalovacího zdroje není znám, zanikl nebo neurčil oprávněnou osobu, může být kontrola provedena odborně způsobilou osobou oprávněnou jiným výrobcem k provádění kontroly technického stavu a provozu stejného typu spalovacího stacionárního zdroje. První kontrolu musel provozovatel zajistit nejpozději do 31. 12. 2016 (dle § 41 odst. 15 zákona). Pokud na vyžádání obecního úřadu obce s rozšířenou působností provozovatel nepředloží doklad o provedení kontroly (**od 1. 1. 2017**), hrozí mu pokuta až 20 000 Kč dle § 23 odst. 2 písm. b) zákona.

Při kontrole se neprovádí žádná měření, což dle názoru autorů velmi omezuje její přínos. Odborně způsobilá osoba na místě vizuálně zhodnotí stav a jako nejdůležitější zdroj informací o veškerých parametrech spalovacího stacionárního zdroje jsou převzaty hodnoty ze jeho štítku. Tyto hodnoty byly dosaženy jednou při certifikaci a je otázka, jakých parametrů spalovací stacionární zdroj dosahuje při reálném provozu. Toto ale zákon neřeší. Zákon řeší, že provozovatel musí provozovat takový spalovací stacionární zdroj, který je schopné těchto parametrů dosáhnout.

Pokutu až do výše 50 000 Kč lze uložit v případech, že provozovatel nedodrží přípustnou tmavost kouře (**od září 2012**), nebo spaluje hnědé uhlí energetické, lignit, uhelné kaly nebo proplásky (**od září 2012**).

4.2.3 Zhodnocení

V případě nekvalitní obsluhy může spalovací stacionární zdroj, který bez problému splnil požadované limity týkající se hmotnostních koncentrací znečišťujících látek a účinnosti na zkušebně, spalovat i kvalitní palivo velmi nedokonale. Taktéž účinnost spalovacího stacionárního zdroje dosažená na zkušebně se může značně lišit od reálné účinnosti v běžném

provozu. Například v Austrálii nebo v USA jsou spalovací stacionární zdroje certifikovány pouze tehdy, pokud splní požadované limitní hodnoty při různých přívozech vzduchu (maximální, minimální a střední tepelný výkon podle australské normy; resp. maximální a další tři různé příkony dle EPA). U spalovacích stacionárních zdrojů s ručním přikládáním paliva jsou výsledky mezi měřeními na zkušebně a měřeními za reálného provozu velmi rozdílná, zatímco u spalovacích stacionárních zdrojů s automatickým přikládáním jsou výsledky srovnatelné. Největší rozdíly jsou zpravidla způsobeny **vlivem obsluhy** spalovacího stacionárního zdroje (tzv. lidský faktor). Pokud jsou po přiložení paliva do kamen uzavřeny přívozy spalovacích vzduchů (ovládací klapky), hořlavina nemá dostatek okysličovadla a výsledkem je zvýšení množství produktů nedokonalého spalování (CO, polycyklické aromatické uhlovodíky, TZL). Proto je nutno spojit výrobu kvalitních spalovacích stacionárních zdrojů s edukací jejich obsluhy zahrnující informace o základních souvislostech, pravidlech a návycích.

4.3 Dostupné nástroje pro řešení problémů s obtěžováním nadměrným kouřem ze spalování pevných paliv

Problematika obtěžování kouřem (výrazně znečištěnými spalinami) produkovaným při provozu lokálního topeniště je především v poslední době velmi akcentovaná. Se zvětšující se skupinou lidí, která investovala nemalé finanční prostředky do moderního a ekologického zdroje tepla pro svou domácnost se zvyšuje i počet lidí, kterým může vadit zdroj nadměrného znečištění v okolí. Kouř jako takový bohužel nerespektuje hranici pozemku, a proto se může stát, že jeden nezodpovědný topič může znečistit ovzduší v širokém okolí (především v zimním období, kdy panují špatné rozptylové podmínky).

Přípustná úroveň znečišťování je upravena zákonem o ochraně ovzduší a je dána limity hmotnostních koncentrací znečišťujících látek ve spalinách, které jsou uvedeny v zákoně č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší.

Obtěžování nadměrným kouřem z lokálního topeniště lze řešit dvěma způsoby. Jedná se o veřejnoprávní a soukromoprávní cesty.

4.3.1 Veřejnoprávní cesta

V případě, že provozovatel spalovacího stacionárního zdroje (např. krbová kamna) neplní zákonem uloženou povinnost týkající se složení spalin, tmavosti kouře, nebo typu spalovaného paliva, dopouští se přestupku. V případě prokázání přestupku je správní orgán oprávněn uložit provozovateli

opatření ke zjednáání nápravy, peněžitou pokutu (v některých případech až 50 000 Kč), výjimečně i rozhodnout o zastavení provozu.

Provozovatelé spalovacích stacionárních zdrojů znečištění do příkonu 300 kW kteří nejsou podnikateli (typicky vlastníci rodinných domů s lokálními topeništi) mají povinnost umožnit kontrolujícím osobám vstup do obydlí v případě, že opakovaně vznikne důvodné podezření, že daný provozovatel porušuje povinnosti podle zákona o ochraně ovzduší. Nápravná opatření fyzickým osobám může uložit obecní úřad obce s rozšířenou působností.

4.3.1.1 Popis jednotlivých kroků obrany proti zdroji znečištění

- 1) Identifikace zdroje znečištění – popř. identifikace provozovatele.
- 2) Identifikace a oslovení a předání podnětů příslušnému správnímu orgánu – typicky místně příslušný obecní úřad obce s rozšířenou působností. Správní řízení se zahajuje z moci úřední, není tedy povinností správního orgánu jej v reakci na podnět vždy zahájit. Pokud je o to přímo požádáno, má správní orgán povinnost žadatele informovat ve lhůtě do 30 dnů ode dne, kdy podnět obdržel, o zahájení, či nezahájení řízení.
- 3) Pokud správní orgán usoudí, že vzniklo důvodné podezření, že provozovatel stacionárního zdroje znečištění porušuje povinnosti dle zákona o ochraně ovzduší, nejdříve jej písemně upozorní. Až pokud vznikne opakované důvodné podezření, jsou kontrolující osoby oprávněny vstoupit do obydlí provozovatele tohoto zdroje.
- 4) Pokud správní orgán zůstane nečinný, je možné se obrátit na nadřízený správní orgán s žádostí o uplatnění opatření proti nečinnosti.

4.3.2 Soukromoprávní cesta

Soukromoprávní možností ochrany je tzv. sousedská žaloba proti původci zdroje znečištění či zápachu. Zákon č. 89/2012 Sb. Zákon občanský zákoník zakazuje vlastníkovi nad míru přiměřenou poměrům závažně rušit práva jiných osob, jakož i vykonávat takové činy, jejichž hlavním účelem je jiné osoby obtěžovat nebo poškodit. Vlastník se musí vyvarovat každého jednání, které způsobí, že odpad, voda, kouř, TZL, plyn, pach, světlo, stín, hluk, otřesy a jiné podobné účinky vnikají na pozemek jiného vlastníka v míře nepřiměřené místním poměrům a podstatně omezují možnosti obvyklého užívání pozemku. Zakazuje se přímo přivádět imise na pozemek jiného vlastníka

bez ohledu na míru vlivů a na stupeň obtěžování vlastníka, vyjma právních důvodů jako např. věcné břemeno.

Nevýhodou sousedské žaloby je povinnost žalobce nést důkazní břemeno. Je tedy nutné opatřit si uchopitelné důkazy jako například odbornou studii, příp. svědectví. Za tímto účelem je možné obrátit se přímo na autorizovanou osobu, která provádí měření dle zákona o ochraně ovzduší nebo na Společenstvo kominíků ČR, jež je pověřenou právníckou osobou, která vykonává některé činnosti při zjišťování znečištění ovzduší. Také je možné spolupracovat s některým ze soudních znalců v tomto oboru. Bohužel je ovšem nutné počítat s tím, že soudní spor může trvat v řádech měsíců i let.

4.4 Metoda semafor (spalování odpadů)

Problematika spalování odpadů není žádnou novinkou a byla již dříve mnohokrát řešena. Při spalování odpadů v domácích topeništích je blízké okolí zdroje zamořeno škodlivými látkami, což má za následek obtěžování sousedních obyvatel zápachem, poškozování jejich majetku (od ušpinění vypraného prádla sušícího se venku, parapetů a oken až po škody na fasádách domů), v horším případě újmy na jejich zdraví (např. respirační choroby). Z důvodu zamezení vypouštění těchto nežádoucích látek do ovzduší došlo ke změně legislativy týkající se ochrany ovzduší, která za určitých podmínek umožňuje provést kontrolu podezřelé domácnosti. Kontrolní orgány za tímto účelem potřebují mít nástroj či metodu, která stanoví, co při kontrole odebrat a jak tento odběr provést (není nutné, aby byl odběr prováděn specializovanou laboratoří) a vyhodnotit tak, aby bylo spalování odpadu potvrzeno či vyvráceno.

4.4.1 Legislativní rámec problematiky spalování odpadů v ČR

Zákon o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů (Zákon č. 172/2018 Sb. ze dne 19. července 2018, kterým se mění zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů), uvádí, že: *„Odpad podle jiného právního předpisu 13), s výjimkou odpadu uvedeného v prováděcím právním předpisu, může být tepelně zpracován jen ve stacionárním zdroji, ve kterém je tepelné zpracování odpadu povoleno podle § 11 odst. 2 písm. d). Tepelné zpracování odpadu je možné pouze pod dohledem osoby autorizované podle § 32 odst. 1 písm. c).“* V § 17 odst. 1 je také uvedeno, že: *„Provozovatel stacionárního zdroje je povinen spalovat ve stacionárním zdroji pouze paliva, která splňují požadavky na kvalitu paliv stanovené prováděcím právním předpisem a jsou určena výrobcem stacionárního zdroje nebo paliva uvedená v povolení provozu.“* To tedy znamená, že ve spalovacím

stacionárním zdroji do příkonu 300 kW (kotle, kamna) je nelegální spalovat odpadky.

Zákon dále uvádí, že: „Vznikne-li důvodné podezření, že provozovatel spalovacího stacionárního zdroje umístěného v rodinném domě, v bytě nebo ve stavbě pro rodinnou rekreaci, nejde-li o prostory užívané pro podnikatelskou činnost, porušil některou z povinností dle § 17 odstavce 1 (Povinnosti provozovatele stacionárního zdroje), avšak toto porušení nelze prokázat bez provedení kontroly spalovacího stacionárního zdroje (například spalování odpadu), jeho příslušenství nebo používaných paliv, obecní úřad obce s rozšířenou působností provozovatele na tuto skutečnost písemně upozorní a poučí jej o povinnostech provozovatele spalovacího stacionárního zdroje stanovených v odstavci 1 a o následcích opakovaného důvodného podezření na jejich porušení v podobě provedení kontroly. Pokud opakovaně vznikne důvodné podezření, že tento provozovatel nadále nebo opětovně porušuje některou z povinností podle odstavce 1, je kontrolující oprávněn vstoupit do jeho obydlí za účelem kontroly dodržování povinností podle tohoto zákona. Vlastník nebo uživatel těchto prostor je povinen umožnit kontrolujícímu přístup ke spalovacímu stacionárnímu zdroji, jeho příslušenství a používaným palivům.“

4.4.2 Vznik metody SEMAFOR

MŽP vypsalo veřejnou zakázku (dále jen úkol) s názvem: „Podklady pro zpracování metodiky indikace spalování odpadu prostřednictvím analýzy popela“. Řešitelem této veřejné zakázky bylo Výzkumné energetické centrum, VŠB–TU Ostrava (dále VEC) a v rámci tohoto úkolu byla navržena metoda SEMAFOR, která byla následně implementována do aktualizovaného Sdělení MŽP k provozování a ke kontrole spalovacích stacionárních zdrojů o jmenovitém tepelném příkonu 300 kW a nižším. V rámci řešení tohoto úkolu byly provedeny analýzy cca 110 vzorků popelů.

4.4.3 Spalovací zkoušky

Při řešení úkolu „Podklady pro zpracování metodiky indikace spalování odpadu prostřednictvím analýzy popela“ byly nejprve naplánovány spalovací zkoušky ve zkušebně VEC, kde je možné provozovat různé spalovací stacionární zdroje při podmínkách blízkých reálnému provozu v obydlí uživatelů (provozovatelů). Pro dodržení těchto podmínek je ve zkušebně instalován tzv. ředící tunel, umožňující řízené odsávání spalin z komína zkušebního spalovacího stacionárního zdroje.

Samotná spalovací zkouška se skládala ze zátopy, vytvoření základní vrstvy a spalování sledovaného paliva. Přikládání bylo řízeno tak, aby byl udržován stabilní tepelný výkon spalovacího stacionárního zdroje (v rozmezí 50 až 80 % jmenovitého tepelného výkonu). Délka spalovací zkoušky byla závislá na typu spalovacího stacionárního zdroje, kvalitě paliva a průběhu spalovacího procesu. V poslední etapě spalovací zkoušky již nebylo další palivo přikládáno, takže postupně došlo k jeho vyhoření. Po vychladnutí (následující den) byl ze spalovacího stacionárního zdroje odebrán popel, načež byl zdroj důkladně vyčištěn a připraven na další spalovací zkoušku.

Použitá paliva byla vybrána z pevných paliv dostupných na trhu v ČR a z běžných odpadních látek, které se mohou vyskytovat v domácnostech. Spalovací zkoušky s vybranými palivy proběhly v různých spalovacích stacionárních zdrojích (prohořivací, odhořivací, zplyňovací). Zastoupení jednotlivých spalovacích stacionárních zdrojů bylo zvoleno podle jejich procentuálního zastoupení v domácnostech v ČR a také podle možnosti spalování odpadních látek v těchto spalovacích stacionárních zdrojích.

4.4.4 Metoda SEMAFOR

Je to metoda, která byla vytvořena za účelem posouzení popelů z pohledu spalování odpadů ve spalovacích stacionárních zdrojích do příkonu 300 kW. Cílem této metody je po vyhodnocení výsledků označit popel jako červený (prokázání spalování kontaminovaného paliva), oranžový (spalování kontaminovaného paliva nelze prokázat ani vyloučit), nebo zelený (neprokázání spalování kontaminovaného paliva). Metoda je graficky znázorněna na následujícím obrázku.



prokázání spalování kontaminovaného paliva

spalování kontaminovaného paliva nelze prokázat ani vyloučit

neprokázání spalování kontaminovaného paliva

Vyhodnocení je prováděno podle druhu deklarovaného paliva pro 6 následujících skupin:

- biomasa (např. dřevo, dřevní brikety, dřevní pelety);
- hnědé uhlí a hnědouhelné brikety;
- černé uhlí;

- hnědé uhlí + biomasa;
- černé uhlí + biomasa;
- nspecifikované palivo (např. blíže neurčené směsi biomasy a uhlí).

Každá z těchto skupin má stanovené své limitní hodnoty hmotnostní koncentrace vybraných ukazatelů (Sb, Cu, Pb, Sn, Zn, Ti a chloridů) ve vzorku popela po spalování paliva.

Limitní hodnoty jednotlivých sledovaných ukazatelů (P_{lim}) byly vypočteny z maximální hmotnostní koncentrace příslušné látky v souboru výsledků (P_{max}). Zjištěná maximální hodnota hmotnostní koncentrace příslušného ukazatele byla následně navýšena o 30 % (předpokládaná maximální nejistota analýzy ve zkušební laboratoři) a pro lepší přehlednost zaokrouhlena na nejbližší vyšší číslo dělitelné 5. Tato hodnota je označena jako limitní. Tento postup byl opakován pro každý ukazatel.

$$P_{lim} \doteq P_{max} \cdot 1,3 \text{ [mg/kg}_{sušiny}]$$

Limitní hodnota ukazatele Ti byla brána jako relevantní pouze pro popely ze spalování biomasy, protože na rozdíl od čistých pevných biopaliv byla hmotnostní koncentrace titanu zvýšená v popelech ze spalování odpadních dřevěných materiálů (okenní rámy) a směsi biomasy s odpady. V jakékoliv kombinaci s uhlím není tato hodnota brána v úvahu z důvodu vyšší hmotnostní koncentrace Ti v uhelných palivech.

V následující tabulce (viz Tab. 23) jsou uvedeny příslušné limitní hodnoty pro jednotlivé skupiny.

Tab. 23 příslušné limitní hodnoty pro jednotlivé skupiny pozorovaných látek

Limitní hodnota ukazatelů [mg/kg suš.]	Pb	Cu	Zn	Cl	Sb	Sn	Ti
biomasa	55	390	3 070	1 690	10	10	1 835
hnědé uhlí	35	300	375	2 015	5	5	x
černé uhlí	75	130	145	1 690	10	10	x
hnědé uhlí + biomasa	55	390	3 070	2 015	10	10	x
černé uhlí + biomasa	75	390	3 070	1 690	10	10	x
nespecifikované palivo	75	390	3 070	2 015	10	10	x

Součástí metody SEMAFOR jsou také požadavky na metody analýz vybraných ukazatelů.

Z výsledků analýz vzorků, uvedených v protokolu z laboratoře, jsou vypočteny tzv. indexy překročení jednotlivých ukazatelů dle následující rovnice:

$$\text{index překročení [\%]} = \frac{\text{naměřená koncentrace daného ukazatele [mg / kg suš.]} }{\text{limitní hodnota daného ukazatele [mg / kg suš.]} } \cdot 100$$

Vypočtená hodnota je následně zaokrouhlena na celé číslo dolů.

4.4.5 Kritéria hodnocení jednotlivých ukazatelů

- povolená hodnota – index překročení daného ukazatele je menší nebo roven 100 %;
- výrazně překročená hodnota – index překročení daného ukazatele je větší než 200 %;
- podezřelá hodnota – index překročení daného ukazatele je větší než 100 % a menší nebo roven 200 %;
- na základě vyhodnocení jednotlivých ukazatelů je provedeno vyhodnocení celého vzorku popela.

4.4.6 Kritéria hodnocení vzorku popela

ČERVENÁ = prokázání spalování kontaminovaného paliva

- dvě a více **výrazně překročené hodnoty** (minimálně dva indexy překročení jsou větší než 200 %).

ORANŽOVÁ = spalování kontaminovaného paliva nelze prokázat ani vyloučit

- dvě a více **podezřelé hodnoty** (minimálně dva indexy překročení jsou větší než 100 % a menší nebo rovny 200 %) nebo jedna **výrazně překročená hodnota** (jeden index překročení je větší než 200 %).

ZELENÁ = neprokázání spalování kontaminovaného paliva

- všechny „**povolené hodnoty**“ (všechny „indexy překročení“ jsou menší nebo rovny 100 %), maximálně jedna **podezřelá** (jeden index překročení je větší než 100 % a menší nebo roven 200 %).

4.4.7 Zhodnocení

Metoda SEMAFOR a je již od 1. 1. 2018 uvedena ve sdělení MŽP. Metoda je založena na analýze odebraného popela a porovnání získaných výsledků s limitními hodnotami vybraných ukazatelů (Sb, Cu, Pb, Sn, Zn, Ti a chloridů) pro čistá, resp. legální paliva. Při vyhodnocení popela tzv. červenou barvou (prokázání spalování kontaminovaného paliva) hrozí majiteli spalovacího stacionárního zdroje podle zákona o ochraně ovzduší pokuta za přestupek až do výše 50 000 Kč. Skutečnost, že existuje metoda na odhalení spalování odpadů, by však neměla být hlavním impulsem pro provozovatele proč s tímto nešvarem přestat. Prvotní důvod, proč nespalovat odpady,

by měl být především ten, že při spalování odpadů vzniká mnoho škodlivých látek, které nejen že obtěžují obyvatelstvo a poškozují životní prostředí, ale především představují významné zdravotní riziko pro zdraví nás všech. Pokud ovšem toto není pro někoho dostatečný důvod, musí nastoupit represivní řešení, kterému má uvedená metoda SEMAFOR napomoci.

4.5 Principy čištění spalin

Legislativní omezení výrobců nových stacionárních spalovacích zdrojů do příkonu 300 kW ve smyslu snižování hmotnostních koncentrací znečišťujících látek ve spalinách je dnes velmi aktuálním tématem. Tento trend může vést k situaci, kdy při dalším snížení limitních hodnot hmotnostních koncentrací znečišťujících látek ve spalinách nebudou primární opatření pro jejich snížení dostačující, čímž se zde, především u spalovacích stacionárních zdrojů s ruční příkládkou paliva, otevírá cesta pro sekundární opatření. **Sekundární opatření** jsou taková opatření, která nakládají se spalinami mimo spalovací komoru a mění vlastnosti spalin. V tzv. velké energetice, kterou jsou myšleny elektrárny, teplárny a výtopyny o tepelných výkonech v řádech MW, je již řadu let běžné zařazení několika sekundárních opatření do spalinového traktu. V oblasti spalovacích stacionárních zdrojů do příkonu 300 kW určených pro spalování pevných paliv jsou instalace takovýchto zařízení spíše výjimkou.

4.5.1 Katalyzátory

Jedním z možných sekundárních opatření pro snížení hmotnostních koncentrací znečišťujících látek ve spalinách jsou katalyzátory. Ty mohou být užity i u starších spalovacích stacionárních zdrojů, přičemž se jejich instalací mohou významně snížit hmotnostní koncentrace některých vypouštěných znečišťujících látek ve spalinách.

Jako katalyzátor je označována látka, která vstupuje do chemické reakce, čímž ji urychluje do rovnovážného stavu, přičemž z této reakce vystupuje nezměněná. Potřebná aktivační energie tohoto procesu je ve valné většině případů nižší než u stejné reakce bez přítomnosti katalyzátoru. Díky tomuto je možné tyto reakce provádět např. při nižších teplotách, popřípadě při nižších tlacích, ve kterých by již tato reakce neprobíhala.

Průběh ideální reakce s katalyzátorem může vypadat např. takto:



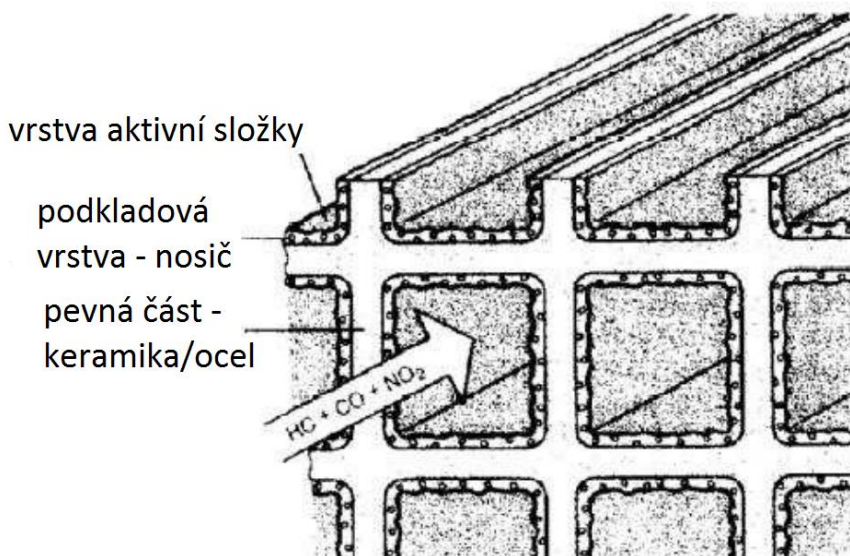
Nebo



4.5.1.1 Stavba katalyzátorů

Katalyzátor obsahuje jednu nebo více aktivních složek, která přímo ovlivňuje katalyzovanou chemickou reakci. Aktivní složky jsou nanесeny na tzv. nosiči, který tvoří tenkou vrstvu na těle katalyzátoru. Za nosič se označuje většinou porézní látka s velkým měrným povrchem. Běžné příklady nosičů jsou např.: aktivní uhlí, různé formy oxidu hlinitého nebo synteticky připravované krystalické aluminosilikáty. Kromě funkce podkladového materiálu nosič také může vychytávat katalyzátorové jedy, udržovat potřebné pH, nebo se může podílet na samotném katalytickém procesu. Někteří výrobci katalyzátorů však vynechávají nosič a aktivní látku nanášejí různými technologiemi rovnou na povrch těla katalyzátoru.

Tělo katalyzátoru bývá vyrobeno buď z materiálu na bázi keramiky (např. cordierit nebo karbid křemíku), nebo na kovové bázi (např. z oceli), niklu, chromu, nebo hliníku). Keramická podpůrná část má výhodu ve větší teplotní odolnosti a nižší pořizovací ceně, avšak je křehčí a průduchy, přes které proudí reagenty katalýzy, nemohou být tak malé, jako právě u ocelové podpůrné části, která je mírně dražší, a navíc odolná vůči mechanickému poškození. Řez katalyzátorem s keramickou podpůrnou částí je vyobrazen na Obr. 13.



Obr. 13 Řez katalyzátorem se čtvercovými otvory

4.5.1.2 Míra konverze katalyzátorů

Ve výzkumném energetickém centru bylo provedeno mnoho spalovacích zkoušek s instalovanými katalyzátory s různými aktivními prvky. Se zohledněním možných rozsahů nejdůležitějších parametrů (teplota spalin,

hmotnostní koncentrace znečišťující látky na vstupu do katalyzátoru, objemový průtok spalin/čas setrvání plynu v katalyzátoru a objemový zlomek kyslíku ve spalinách) je možné tvrdit, že katalyzátor může významně snížit hmotnostní koncentraci CO (až o 99 %), uhlovodíků (až o 70 %) a TZL (až o 25 %).

4.5.2 Elektrostatické odlučovače

K účelu odloučení TZL ze spalin produkovaných spalovacími stacionárními zdroji se používají principy: mechanické separace, mokré čištění spalin, filtrace a elektrostatické odlučování. Elektrostatické odlučovače (dále jen EO) se pro instalaci ke spalovacím stacionárním zdrojům do příkonu 300 kW jeví jako jedna z nejvhodnějších možností, protože mají vysokou účinnost odstraňování TZL (nad 95 %), jsou spolehlivé, jejich provoz a údržba jsou jednoduché, jsou úsporné a levné. Komplikace spojené s použitím vysokého napětí (dále jen VN) mají jednoduchá technická řešení, což umožňuje široké využití i v domácnostech.

Tato zařízení používají elektrická pole pro odstraňování TZL z proudících plynů. Proces elektrostatického čištění plynů zahrnuje nabíjení suspendovaných částic TZL v elektrickém poli a následně jejich odstraňování z proudu plynu vlivem elektrických sil. Běžný EO se skládá ze sršících a usazovacích elektrod, mezi kterými je vytvářeno elektrické pole pomocí připojení vysokého napětí. Toto elektrické pole je značně nerovnoměrné, kvůli čemuž vzniká v blízkosti sršících elektrod zóna ionizace plynů s tvorbou záporných a kladných iontů. Tím se plynné médium ionizuje. Jakmile se spaliny dostanou do tohoto elektrického pole, částice TZL se nabíjejí. Když se částice TZL nabije, pole může ovlivnit její chování – částice TZL se přeměrují na elektrody a usadí se na jejich povrchu. Tím jsou částice TZL odstraněny z plynného média (spalin) a vyčištěný plyn opouští EO.

5 SMOKEMANovo desatero správného topiče

Ve Výzkumném energetickém centru (VEC) je problematika spalovacích stacionárních zdrojů do příkonu 300 kW určených pro vytápění domácností zkoumána již více než 20 let. Zkušenosti celého týmu zkušebny byly formulovány do SMOKEMANova desatera správného topiče.

5.1 Top tak, jak chceš, aby topil Tvůj soused

Pokud by kouř z komínu respektoval hranice pozemků, pak by mohlo být každému jedno co, kdo, jak a v čem spaluje. Jenže kouř nerespektuje hranice nejen pozemků, ale ani států. Důsledkem může být stav, kdy pár bezohledných topičů dokáže výrazně zhoršit kvalitu vzduchu v širokém okolí jejich domu. Lhostejnost se dá částečně ovlivnit osvětou, ale pro nepoučitelné je nutné najít funkční represivní nástroje.

V Knize knih je v Matoušově evangeliu 7/12 uvedeno toto: „Jak byste chtěli, aby lidé jednali s vámi, tak vy jednejte s nimi; v tom je celý Zákon, i Proroci“.

5.2 Suš dřevo minimálně jeden až dva roky – více se ohřeješ a bude z toho méně kouře

Čerstvé dřevo je různě mokré podle toho, ve kterém ročním období byl strom pokácen (v zimě je sušší). Pokud se jedná o živý strom (ne suška), je hmotnostní zlomek vody v dřevní hmotě cca 35 až 60 %. Pro hmotnostní zlomek vody 50 % to znamená, že při přiložení do kamen jednoho kilogramu dřeva, je přiloženo zároveň 500 g dřevní hmoty a 500 g vody. Protože voda nehoří, nejdříve se ohřeje a potom se začne v ohništi vypařovat. Vypařování vody spotřebovává část tepla a následkem je nižší teplota v ohništi, což způsobuje horší kvalitu spalování. Pokud je dřevo sušeno v době větraném dřevníku nebo venku pod přístřeškem, cca za jeden až dva roky klesne hmotnostní zlomek vody pod 20 %. Takto vysušené dřevo již můžeme považovat za suché a vhodné pro spalování v kamnech či kotlích (většina výrobců v návodu uvádí maximální hmotnostní zlomek vody v používaném palivu).

5.3 Nespaluj odpadky

Plasty je nutné separovat, protože je možné je efektivně recyklovat a opět využít. Domovní odpad ve spalovacích stacionárních zdrojích do příkonu 300 kW sice shoří, ale jen za cenu nadměrné produkce celé škály

znečišťujících látek ve spalinách. V průběhu edukativní show s názvem: SMOKEMAN zasahuje, byl již mnohokrát proveden názorný experiment, kdy bylo k hořícímu dřevu přidáno malé množství odpadu (např. PET láhev či linoleum). Tmavost kouře a jeho zápach jednoznačně vypovídají o zhoršené kvalitě spalování. Naměřené hmotnostní koncentrace TZL ve spalinách byly při tomto experimentu přibližně deset až sto krát vyšší než při spalování suchého dřeva. Stejně tak dramaticky narostlo i množství polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU) včetně prokazatelně karcinogenního B(a)P. Odpadky obsahují nezanedbatelné množství chemicky vázané energie, ale kvalitně se dají spálit pouze ve spalovacích stacionárních zdrojích k tomu určených (spalovny odpadu), kde je spalovací proces řízen a spaliny jsou následně dostatečně vyčištěny.

5.4 Nastav regulační klapky tak, aby vzduch mohl k palivu, oheň nedus

V palivu hoří hořlavina, která je z převážné části tvořena uhlíkem a vodíkem. Hoření je doprovázeno uvolňováním energie, takže plamen a spaliny mají vysokou teplotu. Konstrukce kamen a kotlů umožňuje teplo z plamene a spalin použít pro přímé vytápění obytných místností, pro ohřev otopné vody, nebo pro přípravu teplé vody.

Pro kvalitní spálení jednoho kilogramu dřeva a uhlí je potřeba do kamen či kotle přivést přibližně 10 m³ vzduchu. Pokud se kyslík k hořlavině nedostane v potřebném množství, shoří hořlavina pouze částečně nebo vůbec. Tím se snižuje míra využití energie paliva a také se zvyšuje produkce znečišťujících látek. Oheň potřebuje vzduch, nejhorší je kotel naložit a zavřít všechny přívody spalovacího vzduchu. Následkem je významné prodloužení času, po který palivo hoří, avšak účinnost spalovacího procesu je velmi malá a produkce znečišťujících látek velká. Skutečnost, že kouř z komína není viditelný, nezaručuje, že spalování je kvalitní.

5.5 Příklad raději častěji menší dávku paliva než jednu velkou dávku za dlouhý čas (neplatí pro automaty a zplyňovací kotle)

Jeden ze základních rozdílů mezi moderními automatickými kotli a starými prohořivacími kotli je ve více než řádově rozdílném množství paliva, které právě hoří ve spalovací komoře. Je to dáno rozdílným způsobem dopravy paliva. U prohořivacího kotle je celá dávka paliva pro jednu spalovací periodu (několik hodin) přiložena najednou do spalovací komory (desítky kg paliva). U automatického kotle je palivo do spalovací komory dopravováno postupně

(perioda dopravy je v desítkách sekund) a množství paliva ve spalovací komoře je o dva řády menší (stovky gramů) než u prohořivacího kotle. Palivo dopravené do ohniště prochází těmito fázemi: ohřev, usušení (odpaří se voda), uvolnění prchavé hořlaviny (plamen) a hoření odplyněného zbytku (uhlík – koks, dřevěné uhlí). Tyto fáze se různě překrývají, ale se zvětšující se dávkou paliva dochází ke zvýraznění přechodu jednotlivých fází, takže kvalita spalování je u prohořivacích kotlů výrazně horší než u kotlů automatických. Zvýšením četnosti přikládání paliva do prohořivacího kotle po menších dávkách za současného zajištění dostatečného přívodu spalovacího vzduchu (nedusit), bude kvalita spalování lepší. Nutno dodat, že i přes sebevětší snahu o zrovnoměnění spalovacího procesu v prohořivacích kotlích, budou vždy tento typ spalovacího stacionárního zdroje znečišťovat ovzduší řádově více než moderní typy spalovacích stacionárních zdrojů jako jsou např. zplyňovací kotle, nebo kotle s automatickým dávkováním paliva. Starý kotel ročně vypustí do ovzduší přibližně 50 až 300 kg TZL. Nové kotle jsou podstatně kvalitnější, a pokud jsou správně provozovány (samozřejmě, že se dají také provozovat špatně), potom za rok do vzduchu vypustí méně než 15 kg TZL. Obdobný rozdíl je i u dalších znečišťujících látek.

5.6 Pravidelně čisti kotel a komín

Údržba kotle a komínu je nezbytná. Saze a popílek usazený na výměníku včetně zkondenzovaných dehtů se chovají jako izolace a brání proudění tepla ze spalin do otopné vody. Následkem nevyčištěných teplosměnných ploch je vyšší teplota spalin na výstupu ze spalovacího stacionárního zdroje, čímž je míra využití tepla z paliva nižší a komínová ztráta je vyšší. Stejným způsobem se mohou tvořit nánosy v komíně. Ten je nutné čistit zejména kvůli bezpečnosti, protože u znečištěného komína může dojít k zahoření sazí. Pokud je spalovací proces velmi nekvalitní, hrozí postupné zanášení (až blokace) spalinových cest (hlavně komínu), což způsobuje provozní (komín netáhne) a bezpečnostní problémy (spaliny se částečně uvolňují do místnosti, kde je spalovací stacionární zdroj umístěn).

5.7 Používej moderní kotel či kamna (dle svých možností)

Typ spalovacího stacionárního zdroje zásadním způsobem ovlivňuje kvalitu spalovacího procesu. Moderním spalovacím stacionárním zdrojem je myšlen takový zdroj, který využívá moderní technologie, ale nemá to nic společného s datem koupě zařízení. Obecně patří mezi kvalitní technologie automatické a zplyňovací kotle, ale i u nich je možné se setkat s lepší a horší kvalitou. Cena

není vždy zárukou lepší kvality, je však možno říct, že se jedná o rozumně vypovídající parametr. Obměna spalovacího stacionárního zdroje je finančně nákladný proces, a ne všichni si ho mohou dovolit (nejde jen o nový kotel, ale také o jeho instalaci a přídatné systémy). V dnešní době existují různé dotační programy, které se snaží snižovat rozdíl mezi náklady na pořízení nové a staré technologie (např. kotlíkové dotace, Nová zelená úsporám atd.). Před plánovanou výměnou spalovacího stacionárního zdroje je více než vhodné se poradit s odborníky (nejen s jejich prodejci a výrobci).

Spalování pevných paliv je vždy doprovázeno produkcí znečišťujících látek. Obecným cílem by mělo být snížení jejich hmotnostních koncentrací ve spalinách na přijatelnou úroveň. Jedním z nástrojů ke snížení množství vypouštěných znečišťujících látek mohou být legislativní požadavky, které jsou uplatňovány při certifikaci spalovacích stacionárních zdrojů (uvádění na trh), a dále při jejich provozu. Cílem těchto požadavků je zvýšení kvality spalovacích stacionárních zdrojů. Tento nástroj není všelék a má svá omezení. Legislativní požadavky uplatňované při uvádění výrobků na trh říkají toto: jestliže je vše optimální, může daný spalovací stacionární zdroj dosáhnout takovýchto (viz štítek) optimálních parametrů (hmotnostní koncentrace znečišťujících látek a účinnost). Pokud jsou reálné provozní podmínky výrazně odlišné od těch, které byly na zkušebně, budou také reálné parametry (hmotnostní koncentrace znečišťujících látek a účinnost) výrazně odlišné. Z tohoto důvodu některé státy (např. Německo a Rakousko) trvají na periodickém ověřování reálných parametrů téměř všech spalovacích stacionárních zdrojů v provozu.

Reálná provozní účinnost starých spalovacích stacionárních zdrojů je cca 40 až 65 %. Spotřeba paliva je u moderních spalovacích stacionárních zdrojů menší, protože jejich reálná provozní tepelná účinnost je cca 80 až 90 %.

5.8 Udržuj optimální teplotu spalin

Kotel či kamna jsou obyčejné stroje, které slouží k přeměně chemicky vázané energie paliva na tepelnou energii pro vytápění domácností. Jelikož se nejedná o perpetuum mobile, je ve spalovacím stacionárním zdroji využita jen část energie paliva, přičemž zbytek energie je nevyužit. Sto procent mínus jednotlivé ztráty představují tepelnou účinnost spalovacího stacionárního zdroje. Účinnost spalovacích stacionárních zdrojů do příkonu 300 kW určených pro spalování pevných paliv se pohybuje od necelých deseti (otevřené krby) až do devadesáti procent (automatické a zplyňovací kotle). U správně provozovaného spalovacího zařízení, je významná pouze komínová

ztráta (nevyužitá část tepla odcházející komínem). Pokud je spalovací zařízení provozováno špatně, razantně se navýší ztráty únikem hořlaviny v pevných zbytcích a ve spalinách (černý popel, saze, vysoké koncentrace CO). Hodnota komínové ztráty závisí na teplotě spalin a jejich množství.

Optimální teplota spalin na výstupu ze stacionárního spalovacího zdroje se liší podle jeho typu. Pro kotle s ručním přikládáním paliva se pohybuje mezi 150 a 250 °C. Pro kotle a kamna s automatickým přikládáním paliva se pohybuje mezi 125 a 150 °C. Pro sálavé stacionární spalovací zdroje se pohybuje mezi 150 a 300 °C.

Se zvyšující se teplotou spalin dochází k nárůstu ztráty citelným teplem spalin (tzv. komínové ztráty), přičemž odchází komínem více tepla než je nutné. Se snižující se teplotou spalin se snižuje ztráta citelným teplem spalin, a tedy roste míra využití energie z paliva. Pokud by ovšem teplota spalin byla příliš nízká (záleží na typu zařízení, kouřovodu a komínu), hrozí kondenzace vodní páry a dehtů, což snižuje životnost komínu a spalovacího zařízení. Jde tedy o kompromis mezi nízkou teplotou (aby nedocházelo ke kondenzaci) a vysokou teplotou (aby neodcházelo komínem více tepla než je nutné).

Pro pozorování teploty spalin je vhodné používat spalinový teploměr.

5.9 Nevyhazuj teplo oknem, nepřetápěj a top jen tam, kde potřebuješ

Spotřebu tepla ovlivňují parametry stavby, způsob jejího využívání a také požadovaná teplota v jednotlivých místnostech a chodbách obytných domů. Je důležité zvážit, kde a jak topit. Správným nastavením otopné soustavy je možné významně optimalizovat spotřebu tepla (termostatické hlavice, řízená regulace). Snižení teploty v místnostech o 1 °C ušetří přibližně 6 % ročních nákladů na vytápění.

5.10 Nebud' lhostejný k sobě ani ke svému okolí, zajímej se o to, co jde z Tvého komína

Nejedná se o vyčerpávající pravidla, ale pokud se jimi budeme řídit, mohlo by se celkové množství znečišťujících látek vypuštěných z komínů napojených na lokální topeniště snížit, což částečně (někde více, někde méně) napomůže lepší kvalitě vzduchu, který dýcháme. Je snadné říkat „to oni“ a svalovat vinu jen na druhé. SMOKEMANovo desatero je skromný návod k tomu, jak (pokud topíme pevnými palivy) začít u sebe a pomoci dobré věci. Až nebudeme mít trám ve svém oku, můžeme se začít zabývat třískou a trámem v oku svých sousedů.

Lhostejnost je jed společnosti a spolehlivý základ jejího úpadku. Osobní svoboda končí tam, kde začíná svoboda někoho druhého. Cokoliv k tomuto dodávat by bylo zbytečné.

Hlavní zdroje

- [1] MACHÁLEK, P., MACHART, J.: Emisní bilance vytápění bytů malými zdroji od roku 2001.; ČHMÚ 2003; [cit. 2011-04-26] Dostupné na www: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/embil/metodika_rezzo3.pdf
- [2] "Takové to domácí topení": problematika lokálních topenišť v Moravskoslezském kraji. Ostrava: Moravskoslezský kraj, Krajský úřad Moravskoslezského kraje, 2012. ISBN 978-80-87503-27-0.
- [3] BImSchV. Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen). 2011.
- [4] 2012–2013: Katalog hnědého uhlí. In: Severočeské doly a. s. [online]. 2012 [cit. 2013-04-02]. Dostupné z: http://www.sdas.cz/files/sdas/kataloguhli20122013/Katalog_SD_2012_13.pdf.
- [5] Aktualizace pravidel pro registraci kotlů a tepelných čerpadel (4. 12. 2015): <http://www.opzp.cz/o-programu/aktuality-a-tiskove-zpravy/aktualizovali-jsme-pravidla-pro-registraci-kotlu-a-tepelnych-cerpadel>
- [6] AS/NZS 4013:1999 – Domestic solid fuel burning appliances – Method for determination of flue gas emission.
- [7] BUFKA, Aleš, VEVERKOVÁ, Jana, ANDRONIC, Diana. Obnovitelné zdroje energie v roce 2017. Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Říjen 2018 [cit. 2019-09-16]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnoviteln-e-zdroje-energie/2018/12/Obnovitelne-zdroje-energie-v-roce-2017-new.pdf>.
- [8] BUFKA, A., ROSECKÝ, D., Spotřeba biomasy v domácnostech. MPO, Praha, 2006
- [9] Co nejvíce ovlivní Tvůj kout? TZB-info: tzbinfo stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online]. c2001-2018, 14. 1. 2013 [cit. 2018-10-15]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/9475-co-nejvice-ovlivni-tvuj-kour>.
- [10] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. Měsíční data. Praha: Český hydrometeorologický ústav [cit. 2019-06-17]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data>.
- [11] ČSN EN 14785:2013 Spotřebiče spalující dřevní pelety k vytápění obytných prostorů – Požadavky a zkušební metody. Březen 2007. Praha: UNMZ, 2007.

- [12] ČSN EN 303-5:2021 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.
- [13] ČSN EN 12815:2002. Varné spotřebiče pro domácnost na pevná paliva – Požadavky a zkušební metody.
- [14] ČSN EN 13229:2002. Vestavné spotřebiče k vytápění a krbové vložky na pevná paliva – Požadavky a zkušební metody.
- [15] ČSN EN 13240:2002. Spotřebiče na pevná paliva k vytápění obytných prostorů – Požadavky a zkušební metody.
- [16] ČSN EN 14785:2007. Spotřebiče spalující dřevěné pelety k vytápění obytných prostorů – Požadavky a zkušební metody.
- [17] ČSN EN 15250:2007. Akumulační kamna na pevná paliva – Požadavky a zkušební metody.
- [18] ČSN EN 15821:2011. Saunová kamna na pevná paliva (dřevěná polena) se spalováním periodických dávek – Požadavky a metody zkoušení.
- [19] ČSN EN 844-1 Kulatina a řezivo – Terminologie – Část 1: Obecné termíny společné pro kulatinu a řezivo, Datum účinnosti 1. 4. 1997.
- [20] ČSN EN ISO 17225-1 Tuhá biopaliva – Specifikace a třídy paliv – Část 1: Obecné požadavky, Datum účinnosti Leden 2015.
- [21] Edukativní show „SMOKEMAN zasahuje“, <http://vec.vsb.cz/cz/zkusebna/edukativni-show-smokeman-zasahuje.html>
- [22] EPA Method 28 – Certification and auditing of wood heaters.
- [23] European Environmental Agency, Bilance emisí pro země EU, <http://www.eea.europa.eu/>
- [24] FERRANDON, M., BERG M. a BJÖRNBOM E.. Thermal stability of metal-supported catalysts for reduction of cold-start emissions in a wood-fired domestic boiler. *Catalysis Today*. 1999, 53(4), 647-659. DOI: 10.1016/S0920-5861(99)00152-2. ISSN 09205861. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0920586199001522>
- [25] HORÁK J., KUBESA P.: Co nejvíce ovlivní to, co vychází z našeho komínu? Článek v „Ochrana ovzduší“, 2012, ročník: 24, číslo: 1/2012, str. 39. ISSN 1211-0337.
- [26] HORÁK J., KUBESA P.: O spalování tuhých paliv v lokálních topeništích (2) aneb palivo, tvorba znečišťujících látek a spalování jako vztah muže a ženy. Článek v „TZB-info“, 2012, číslo: Květen, str. 1–21. ISSN 1801-4399. Dostupné na

- www: <http://energetika.tzb-info.cz/8644-o-spalovani-tuhych-paliv-v-lokalnich-topenistich-2>
- [27] HORÁK J., HOPAN F., KRPEC K., KUBESA P.: Co musí splnit nový kotel na tuhá paliva po roce 2020? Porovnání emisních požadavků pro kotle do 300 MW. Článek v „TZB-info“, 2015, ročník: neuveden, číslo: 6/2015, str. 1–3. ISSN 1801-4399 <http://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/12909-co-musi-splnit-novy-kotel-na-tuha-paliva-po-roce-2020>
- [28] HORÁK J., KRPEC K., MARTINÍK L., MICHNOVÁ L., HOPAN F., KUBESA P., Jak si doma stanovit vlhkost a výhřevnost dřeva? In: TZB-info [online] 2013, [cit. 2013-01-31] Dostupné na www: <http://vytapeni.tzb-info.cz/9300-jak-si-doma-stanovit-vlhkost-a-vyhrevnost-dreva>.
- [29] HORÁK J., KUBESA P., DVOŘÁK J., HOPAN F., KRPEC K., MIKULOVÁ Z., KYŠUČAN Z., Jak si doma změřit účinnost spalovacího zařízení a lze účinnost nějak zvětšit? In: TZB-info [online] 2012, [cit. 2013-04-02] Dostupné na www: <http://vytapeni.tzb-info.cz/zdroje-tepla/9434-jak-si-doma-zmerit-ucinnost-spalovaciho-zarizeni-a-lze-ucinnost-nejak-zvetsit>.
- [30] HORÁK J., KUBESA P., HOPAN F., KRPEC K., KYŠUČAN Z., Co nejvíce ovlivní Tvůj kouř? In: tzb-info [online] 2013, [cit. 2013-03-18] Dostupné na www: <http://vytapeni.tzb-info.cz/zdroje-tepla/9475-co-nejvice-ovlivni-tvuj-kour>.
- [31] HORÁK J., KUBESA P.: O spalování tuhých paliv v lokálních topeništích (2) aneb palivo, tvorba znečišťujících látek a spalování jako vztah muže a ženy. Článek v „TZB-info“, 2012, ročník: neuveden, číslo: Květen, str. 1–21. ISSN 1801-4399. <http://energetika.tzb-info.cz/8644-o-spalovani-tuhych-paliv-v-lokalnich-topenistich-2>
- [32] HORÁK J., MARTINÍK L., KRPEC K., KUBESA P., DVOŘÁK J., HOPAN F., HOLOMEK M., BUCHTA S. Jaké parametry musí splnit kotle na tuhá paliva? In: TZB-info [online] 2017, [cit. 2017-06-06] Dostupné na www: <http://vytapeni.tzb-info.cz/15865-jake-parametry-musi-splnit-kotle-na-tuha-paliva>.
- [33] HORÁK, J., HOPAN, F., KRPEC, K., DEJ, M., PEKÁREK, V., ŠYC, M., OCELKA, T., TOMŠEJ, T.: Návrh emisních faktorů znečišťujících látek pro spalování tuhých paliv v lokálních topeništích. Ochrana ovzduší, 2011, roč. 2011, č. 3, s. 7–11. ISSN 1211-0337.
- [34] Horák, J.: Kotlíkgate Opravdu nové kotle pořízené z dotace budou produkovat méně emisí znečišťujících látek?, TZB-info (2016)

- [35] HORÁK, Jiří a KUBESA, Petr. O spalování tuhých paliv v lokálních topeništích (1): aneb palivo, tvorba znečišťujících látek a spalování jako vztah muže a ženy. TZB-info [online]. 21. 5. 2012 [cit. 2019-06-17]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/8618-o-spalovani-tuhych-paliv-v-lokalnich-topenistich-1>.
- [36] HORÁK, Jiří, KUBOŇOVÁ, Lenka, TOMŠEJOVÁ, Šárka, LACIOK, Vendula, KRPEC, Kamil, HOPAN, František, KUBESA, Petr, KYSUČAN, Zdeněk, OCHODEK, Tadeáš. Change in the wood moisture dependency on time and drying conditions for heating by wood combustion. Wood Research. 2018, 63(2), 261-272.
- [37] HORÁK, Jiří. SMOKEMANovo desatero správného topiče. In: TZB-info [online]. 2015 [cit. 2016-01-24]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/12373-smokemanovo-desatero-spravneho-topice>
- [38] HORÁK, J., HOPAN, F., KRPEC, K., DEJ, M., PEKÁREK, V., ŠYC, M., OCELKA, T., TOMŠEJ, T., Návrh emisních faktorů znečišťujících látek pro spalování tuhých paliv v malých spalovacích zařízeních. Topenářství, instalace, 2012, roč. 2012, č. 1, s. 42–46.
- [39] HORÁK, J., KRPEC, K., DVOŘÁK, J., HOPAN, F., Legislativní požadavky na teplovodní kotle na tuhá paliva určené k vytápění domácností. Topenářství – instalace, 2011, č. 5/2011, s. 50–54, ISSN 1211-0906.
- [40] HORÁK, J., KUBESA, P., HOPAN, F., KRPEC, K. Co nejvíce ovlivní Tvůj kouř? TZB-info, 2013, roč. neuveden, č. Leden, s. 1–8. ISSN 1801-4399. <http://vytapani.tzb-info.cz/zdroje-tepla/9475-co-nejvice-ovlivni-tvuj-kour>
- [41] HORÁK, J., KUBESA, P., HOPAN, F., KRPEC, K., KYSUČAN, Z., Co nejvíce ovlivní Tvůj kouř?. TZB-info, 2013, roč. neuveden, č. Leden, s. 1–8. dostupné na: <http://vytapani.tzb-info.cz/zdroje-tepla/9475-co-nejvice-ovlivni-tvuj-kour>
- [42] HORÁK, J., MARTINÍK, L., KRPEC, K., DVOŘÁK, J., HOPAN, F., KUBESA, P., JANKOVSKÁ, Z., DRASTICHOVÁ, V. Jaké parametry musí splnit kamna, krbové vložky a sporáky? Legislativa v ČR a Evropě. TZB-info, 2013, roč. neuveden, č. 3. 6. 2013, s. 1–13. ISSN 1801-4399. <http://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/9983-jake-parametry-musi-splnit-kamna-krbove-vlozky-a-sporaky-legislativa-v-cr-a-evrope>
- [43] Informace o vyhodnocení výsledků imisního monitoringu v roce 2020 [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2020 [cit. 2022-08-01]. Dostupné

- z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/kvalita_ovzdusi/\\$FILE/OOO-Zprava_o_kvalite_ovzdusi_2020-20220105.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/kvalita_ovzdusi/$FILE/OOO-Zprava_o_kvalite_ovzdusi_2020-20220105.pdf)
- [44] Instalace kotlů: Základní podmínky pro dobrou funkci a vysokou životnost kotlů ATMOS. ATMOS [online]. Bělá pod Bezdězem: Atmos, 2017 [cit. 2017-10-26]. Dostupné z: <http://www.atmos.eu/instalace-kotlu/>
- [45] Jak si doma stanovit vlhkost a výhřevnost dřeva? TZB info [online]. Praha 6: TZB-info, 2017 [cit. 2017-10-26]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/15804-slozeni-paliva-a-stanoveni-vlhkosti-dreva-podomacku>
- [46] Jaké požadavky musí splňovat výrobky pro „kotlíkové dotace“ v rámci OPŽP 2014–2020 PO2 SC 2.1. In: Operační program životní prostředí [online]. 2015 [cit. 2016-01-24]. Dostupné z: http://www.opzp.cz/dokumenty/download/176-1-Kotl%25C3%25ADky_SVT_Pozadavky%2520na%2520vyrobky_v2_1.pdf
- [47] JANDAČKA, J., NOSEK, R., HOLUBČÍK, M.: Analýza vplyvu množstva spaľovacieho vzduchu na emisné a výkonové parametre zdrojov tepla, Vykurovanie 2012, ročník 20, rok 2012, s.99-104, ISBN 978-80-89216-45-1
- [48] JANDAČKA, J., PAPUČÍK, Š., NOSEK, R., HOLUBČÍK, M., KAPJOR, A.: Environmentálne a energetické aspekty spaľovania biomasy, GEORG Žilina, 2011, ISBN 978-80-89401-40-6
- [49] Katalog hnědého uhlí 2012–2013, Severočeské doly a. s. Chomutov.
- [50] KHESTL, Filip. VŠB-TU OSTRAVA. Dřevo. 2013. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~khe0007/Predmety/Stavebni%20hmoty/Prednaska_drevo.pdf.
- [51] KRPEC, K., HORÁK, J., MARTINÍK, L., KUBESA, P., HOPAN, F., KYSUČAN, Z., KREMER, J. a JANKOVSKÁ, Z.. Potenciál využití katalyzátorů při spalování dřeva v domácnostech. TZB-info. Praha: Topinfo, 2013, 2013. ISSN 1801-4399.
- [52] KRPEC, K., HORÁK, J., HOPAN, F., KUBESA, P. Přepočet parametrů kotlů na tuhá paliva dle požadavků nařízení Komise EU 2015/1189. Vytápění, větrání, instalace, 2016, roč. 25, č. 5, s. 264–266.
- [53] KRPEC, K., HORÁK, J., HOPAN, F., Měření emisí znečišťujících látek z kotlů malých výkonů. TZB-info, 2012, leden 2012, s. 1–10. dostupné na: <http://vytapani.tzb-info.cz/ochrana-ovzdusi/8200-mereni-emisi-zneclistujicich-latek-z-kotlu-malych-vykonu>

- [54] MACHÁLEK P., MACHART J., Emisní bilance vytápění bytů malými zdroji od roku 2001, ČHMÚ 2003, [cit. 2013-01-21] Dostupné na: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/embil/metodika_rezzo3.pdf
- [55] MACHÁLEK, P., MACHART, J., Upravená emisní bilance vytápění bytů malými zdroji od roku 2006, Český hydrometeorologický ústav, oddělení emisí a zdrojů, pracoviště Milevsko (2007). Dostupné na: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/embil/metodika_rezzo3new.pdf
- [56] Malá spalovací zařízení na pevná paliva pro domácnosti Kamna, krbové vložky, sporáky a teplovodní kotle: Výsledky statistických zjišťování za léta 2010–2014. In: Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. 2011 [cit. 2017-06-02]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/54804/62605/648651/priloha001.pdf>.
- [57] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. Aktualizace Státní energetické koncepce České republiky, 2015, s. 1–145.
- [58] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. Národní program snižování emisí [online]. [cit. 2022-08-01]. Dostupné na: https://www.mzp.cz/cz/strategicke_dokumenty#narodni_program
- [59] MODLÍK, M., HOPAN, F., HORÁK, J.: Problematika inventarizace emisí z malých spalovacích zdrojů v domácnostech. Ochrana ovzduší, 2011, roč. 2011, č. 3, s. 3–6. ISSN 1211-0337.
- [60] MŽP ČR, Národní program snižování emisí České republiky, 2007, dostupné na: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/narodni_program_sni_zovani_emisi/\\$FILE/OOO-NPSE_CR-20120117.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/narodni_program_sni_zovani_emisi/$FILE/OOO-NPSE_CR-20120117.pdf)
- [61] NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2015/1189 ze dne 28. dubna 2015, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign kotlů na tuhá paliva. Brusel: Úřední věstník Evropské unie, 2015, L 193/101.
- [62] Nařízení komise (EU) 2015/1189 ze dne 28. dubna 2015, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign kotlů na tuhá paliva. Dostupné na: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R1189&from=CS>
- [63] Nařízení komise EU 2015/1185 ze dne 24. dubna 2015, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES,

- pokud jde o požadavky na ekodesign lokálních topidel na tuhá paliva.
- [64] Nařízení komise EU 2015/1186 ze dne 24. dubna 2015, kterým se doplňuje směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o uvádění spotřeby energie na energetických štítcích lokálních topidel na tuhá paliva.
- [65] Nařízení vlády č. 91/2010 Sb. – o podmínkách požární bezpečnosti při provozu komínů, kouřovodů a spotřebičů paliv.
- [66] NORD-LARSEN, Thomas, BERGSTEDT, Andreas, FARVER, Ole a HEDING, Niels. Drying of firewood – the effect of harvesting time, tree species and shelter of stacked wood. *Biomass and Bioenergy*. 2011, 35(7), 2993–2998.
- [67] NOSEK R., HOLUBČÍK M.: Measurement of particulate matter during the combustion of phytomass in small heat sources, *Power control and optimization*, Yangon, Myanmar, 2013. - ISBN 978-983-44483-63.
- [68] NZÚ-akumulační nádrže ke kotlům. IQ energy: Inteligentní úspory energie [online]. Praha: IQ energy, 2017 [cit. 2017-10-26]. Dostupné z: <http://www.iqenergy.cz/nova-zelena-usporam/nzu-akumulacni-nadrze-ke-kotlum/#.Wffz1u00JB>
- [69] Spalování tuhých paliv v lokálních topeništích (2) TZB-info: tzbinfo stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online]. c2001-2018, 28. 5. 2012 [cit. 2018-10-15]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/8644-o-spalovani-tuhych-paliv-v-lokalnich-topenistich-2>.
- [70] Ověření funkce a vlivu regulace teploty vratné vody u kotle na tuhá paliva v zapojení s akumulační nádobou. TZB-info [online]. Praha 6: TZB-info, 2017 [cit. 2017-10-26]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/potrubi-a-armatury/15927-overeni-funkce-a-vlivu-regulace-teploty-vratne-vody-u-kotle-na-tuha-paliva-v-zapojeni-s-akumulacni-nadobou>
- [71] Pohledem znalce: Co přinese novela zákona o ochraně ovzduší pro lokální topidla na pevná paliva? Tzb-info: tzbinfo stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online]. c2001-2018, 31. 7. 2018 [cit. 2018-10-11]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/17699-pohledem-znalce-co-prinese-novela-zakona-o-ochrane-ovzdusi-pro-lokalni-topidla-na-pevna-paliva>.
- [72] Pokyny k vyplnění aplikace: Vyhodnocení roční úspory palivových nákladů při výměně starého kotle na pevná paliva za

- nový <http://lokalni-topeniste.kr-moravskoslezsky.cz/sites/default/files/pokyny.pdf>
- [73] Proces hoření kusového dřeva. TZB info [online]. Praha 6: TZB info, 2017 [cit. 2017-10-26]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/8716-proces-horeni-kusoveho-dreva>
- [74] REICHERT, G., SCHMIDL, C., HASLINGER, W., STRESSLER, H., STURMLECHNER, R., SCHWABL, M., WÖHLER M. a HOCHENAUER C.. Impact of oxidizing honeycomb catalysts integrated in firewood stoves on emissions under real-life operating conditions. Fuel Processing Technology. 2018, 177, 109-118. DOI: 10.1016/j.fuproc.2018.04.016. ISSN 03783820. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378382018303515>
- [75] Seznam odborně způsobilých osob (revizních techniků) dle Asociace podniků topenářské techniky. Dostupné na: <http://www.aptt.cz/opravneni-ozo.php>
- [76] Seznam odborně způsobilých osob (revizních techniků) dle Klastru Česká peleta. Dostupné na: <http://www.topenaridotace.cz/>
- [77] Seznam výrobků a technologií: http://www.opzp.cz/dokumenty/download/187-1-Seznam%20v%C3%BDrobk%C5%AF%20_Kotliky_22_1.xlsx
- [78] Spotřeba energie v domácnostech ČR v roce 2003, ČSÚ, Praha, 2005.
- [79] Spotřeba paliv a energií v domácnostech, ČSÚ, 2017 [cit. 2017-03-23]. Dostupné na: <https://www.czso.cz/csu/czso/spotreba-paliv-a-energii-v-domacnostech>
- [80] STUPAVSKÝ, Vladimír. O vytápění biomasou od A až do Z. TZB-info [online]. 13. 7. 2012 [cit. 2019-09-16]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/peletky/8814-o-vytapeni-biomasou-od-a-az-do-z>.
- [81] Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit. TZB info [online]. Praha 6: TZB info, 2017 [cit. 2017-10-26]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>
- [82] Veolia Energie ČR, a.s.: Licence. In: Energetický regulační úřad [online]. 2017 [cit. 2017-06-06]. Dostupné z: <http://licence.eru.cz/detail.php?lic-id=110100550&sequence=1,2&total=16>.
- [83] Vereinbarung gemäß Art. 15a B-VG über das Inverkehrbringen von Kleinf Feuerungen und die Überprüfung von Feuerungsanlagen und Blockheizkraftwerken. Fassung vom 02. 08. 2017.

- [84] Výpočet tepelné ztráty domu. 2K Energy [online]. Praha, 2017 [cit. 2017-07-14]. Dostupné z: <https://www.2kenery.cz/novinky/vypocet-tepelne-ztraty-domu-22.html>
- [85] Výsledky sčítání lidu, domů a bytů 2011. In: [online]. [cit. 2013-01-22]. Dostupné na: <http://vdb.czso.cz/sldbvo/#!stranka=podle-tematu&tu=30740&th=&v=&vo=null&vseuzemi=null&void=>
- [86] Zákon č. 172/2018 Sb. ze dne 19. července 2018, kterým se mění zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/9F4906381B38F7F6C1257A94002EC4A0/\\$file/Z%20201_2012.pdf](https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/9F4906381B38F7F6C1257A94002EC4A0/$file/Z%20201_2012.pdf).
- [87] Zákon č. 201/2012 Sb. – o ochraně ovzduší ve znění zákona č. 369/2016 Sb. Dostupné na: <https://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=77678&nr=201~2F2012&rpp=15#local-content>

Užitečné odkazy

<https://populair.sk/sk>

- Web projektu LIFE IP – zlepšení kvality ovzduší

<http://jakspravnetopit.cz>

- Web ministerstva životního prostředí: Lokální topeniště

<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/embil/NovaMetodikaEBSपालovZdrojuVDomacnostech.pdf>

- Metodika inventarizace vypouštěných znečišťujících látek ze spalování paliv v domácnostech

<https://www.tzb-info.cz/firmy/vyzkumne-energeticke-centrum-vsb-tu-ostava/clanky>

- Aktuální a kompletní seznam vydaných článků pracovníky Výzkumného energetického centra Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava na portálu tzb-info.cz

<https://vec.vsb.cz/cs/>

- Web Výzkumného energetického centra Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava

<https://www.sfzp.cz/>

- Web státního fondu životního prostředí zahrnující aktuální informace o dotačních titulech spojených s technologiemi pro vytápění domácností

<https://youtube.com/playlist?list=PLMYSdf0zSP5YgkX0AVdnFy6-ydEW8w5l1>

<https://youtube.com/playlist?list=PLMYSdf0zSP5aDdtT61EyvrVHi04sVPZks>

- Playlisty SMOKEMANových edukačních videí

Autor:	Ing. Jiří Horák, Ph.D., Ing. Jiří Ryšavý a kolektiv
Grafický návrh:	Michal Riedl, Ing. Jiří Ryšavý, Ing. Petr Kubesa, Ing. František Hopan, Ph.D.
Jazyková korektura	Ing. Tereza Vystrčilová
Pracoviště:	Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava Centrum energetických a environmentálních technologií Výzkumné energetické centrum
Název:	Učebnice správného vytápění
Místo, rok vydání:	Ostrava, 2022, I. vydání
Počet stran:	162 stran
Vydala:	Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Tisk:	MORAVAPRESS s.r.o.
Náklad:	700 ks
Neprodejné	

Tato kniha obsahuje informace z oblasti využívání spalovacích stacionárních zdrojů do 300 kW určených pro spalování pevných paliv. Tato publikace byla vytvořena jako studijní materiál pro akreditovaný kurz: Kurz „ekologického“ vytápění (ECOHEATING) – akreditace Ministerstva vnitra č. AK/PV-276/2020.

Za obsah této knihy jsou odpovědní autoři. Informace zde uvedené nejsou oficiálním stanoviskem orgánů Evropské unie. Poskytovatel dotace, Ministerstvo životního prostředí, není zodpovědný za obsah tohoto sdělení.

ISBN 978-80-248-4627-9