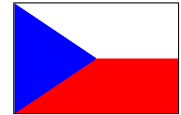




VŠB - Technická univerzita Ostrava
Výzkumné energetické centrum



Metodická příručka

„Ekologické aspekty záměny fosilních paliv za biomasu“

Tadeáš Ochodek, Jan Koloničný, Michal Branc

v rámci projektu

„Možnosti lokálního vytápění a výroby elektřiny z biomasy“

Projekt je spolufinancován Evropskou unií v rámci programu
INTERREG IIIA

Obsah

1. Úvod.....	4
2. Ochrana ŽP.....	4
2.1 Látky znečišťující ovzduší a jejich zdravotní nebezpečí.....	4
3. Oxid uhličitý (CO ₂).....	6
4. Oxid uhelnatý (CO).....	7
5. Oxid siřičitý (SO ₂).....	8
6. Oxidy dusíku (NO _x).....	9
7. Chlór a fluor (CL, F).....	11
8. Těkavé organické látky (VOC).....	11
9. Polychlorované dibenzo-p-dioxiny/dibenzofurany (PCDD/PCDF).....	12
10. Polychlorované bifenyly (PCB).....	13
11. Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU).....	13
12. Tuhé znečišťující látky.....	14
13. Těžké kovy.....	14
14. Ekologické aspekty záměny paliva vyplývající z vyhodnocení experimentů.....	15
14.1 Produkce plynných škodlivin z kotlů malých výkonů.....	16
14.2 Těžké kovy.....	18
14.3 Polychlorované dibenzo-p-dioxiny/dibenzofurany (PCDD/PCDF).....	20
14.4 Polyaromatické uhlovodíky a polychlorované bifenyly (PAU a PCB).....	23
15. Minimalizace vlivu využívání biomasy na životní prostředí.....	24
16. Stav produkce emisí v Moravskoslezském a Zlínském kraji.....	25
17. Legislativa v dané problematice.....	26
18. Závěr.....	30
Literatura.....	31
Seznam obrázků.....	31
Seznam tabulek.....	31

1. Úvod

Biomasa je obnovitelný zdroj energie představující prakticky akumulovanou energii slunce. Její transformace na tepelnou nebo elektrickou energii se však většinou neobejde bez procesu spalování, při kterém škodlivé látky vznikají. Charakteristikou jednotlivých škodlivin a porovnáním jejich produkce při spalování fosilních paliv a biomasy se zabývá studie *Ekologické aspekty záměny fosilních paliv za biomasu* [1]. Tato metodická příručka se tomuto tématu věnuje také, shrnuje nejdůležitější informace ze studie a je rozšířena o přehled legislativy.

Metodická příručka je zpracována v rámci projektu *Možnosti lokálního vytápění a výroby elektřiny z biomasy*, který je financován z programu Interreg IIIA.

2. Ochrana ŽP

2.1 Látky znečišťující ovzduší a jejich zdravotní nebezpečí

Znečišťující látky zákon o ovzduší [2] definuje jako látky tuhé, kapalné a plynné, které přímo a nebo po chemické nebo fyzikální změně v ovzduší nebo po spolupůsobení s jinou látkou nepříznivě ovlivňují ovzduší, a tím ohrožují a poškozují zdraví lidí nebo ostatních organismů, zhoršují jejich životní prostředí, nadměrně je obtěžují nebo poškozují majetek.

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

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

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

Tabulka 2.1 Seznam základních znečišťujících látek (0. skupina) [3]

tuhé znečišťující látky (TZL)
oxid siřičitý (SO ₂)
oxidy dusíku (NO _x)
těkavé organické látky (VOC)
těžké kovy
oxid uhelnatý (CO)
Amoniak a soli amonné
polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH)

Dle zákona o ochraně ovzduší [2] jsou znečišťující látky rozděleny do pěti hlavních skupin. Nultou skupinu představují tzv. základní znečišťující látky (viz Tabulka 2.1). Z pohledu sledování kvality spalování, a tedy tvorby škodlivin jsou tyto látky nejvíce sledované. Tato skutečnost je dána hlavně historickým vývojem. Některé ze znečišťujících látek, které člověk nyní považuje za škodliviny, v nedávné minulosti považoval za neškodné látky (azbest), nebo je vůbec neznal (PCDD/F). S rostoucí úrovní techniky je možné stanovovat přítomnost látek i ve velmi nízkých koncentracích.

Z hlediska chemického složení se látky znečišťující ovzduší dělí např. do skupin (Tabulka 2.2). Někteří autoři rozlišují ještě další skupiny podle jiných vlastností, např. alergeny, karcinogeny, těžké kovy, radioaktivní látky, uhlovodíky, zápach apod. Další podstatné hledisko pro rozdělení znečišťujících látek je míra škodlivosti (nebezpečnost, rizikovost), které představuje samostatnou oblast (toxikologie).

Tabulka 2.2 Plynné a kapalné znečišťující látky podle chemického složení [4]

Sloučeniny síry	anorganické	oxidy síry (celkový obsah, suma) kyselina sírová (mlha), sirovodík, sirouhlík, jiné anorganické sloučeniny síry	oxid siřičitý, oxid sírový
	organické	thioly (merkaptany, např. methanthiol), dimethylsulfid, dimethyldisulfid, jiné organické sloučeniny síry	
Sloučeniny dusíku	anorganické	oxidy dusíku (celkový obsah, suma) kyselina dusičná, amoniak, dusitany, kyanovodík, kyanidy, peroxodusičnany, jiné anorganické sloučeniny dusíku	oxid dusnatý, oxid dusičitý, oxid dusný
	organické	aminy, peroxyacetylitrát, dimethylformamid, jiné organické sloučeniny dusíku (rozpuštědla)	
Sloučeniny halogenů	anorganické	fluor, fluorovodík, fluorid křemičitý, chlor, chlorovodík, brom, jiné anorganické sloučeniny halogenů	
	organické	chlorované uhlovodíky (např. DDT, trichlorethylen, perchlorethylen, chlorbenzen, chloroform), trifluormethan, jiné organické sloučeniny halogenů	
Sloučeniny uhlíku	anorganické	oxidy uhlíku	oxid uhelnatý, oxid uhličitý
	organické	uhlovodíky alkoholy (methanol, ethanol, propanol, butanol, ethylenglykol), fenol, kresol, xylenon, ethery a estery, aldehydy a ketony, organické kyseliny, benzen a jeho deriváty, jiné organické sloučeniny a směsi (mlhy a páry olejů apod.)	alifatické, nasycené i nenasycené, aromatické (benzen, toluen, xylene), alicyklické, polycyklické a heterocyklické
Jiné plynné a kapalné znečišťující látky (sloučeniny kovů jako arsenovodík, oxid arsenitý a řada jiných)			

Znečišťující látky (ZL) lze dle jejich původu rozdělit do dvou velkých skupin:

- přirozeného původu,
- antropogenního původu.

Mezi ZL přirozeného původu řadíme emise při sopečné činnosti, erozi půd, lesních a stepních požárech, pyly stromů a rostlin, kosmický prach apod. Mezi zdroje ZL antropogenního

původu patří např. průmysl (hutnictví, chemická výroba), spalovny odpadů (komunálních), spalovací zařízení, doprava (automobilová, letecká). Jednotlivé zdroje znečišťování jsou evidovány Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ) v Registru emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO). Zdroje se dělí na velké - REZZO 1, střední - REZZO 2, malé - REZZO 3 a mobilní - REZZO 4.

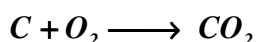
3. Oxid uhličitý (CO₂)

Popis látky

Oxid uhličitý je bezbarvý nehořlavý chemicky stálý plyn bez chuti a zápachu. Ve vodě se snadno rozpouští, přičemž se přitom zčásti (asi z 0,003 %) slučuje s vodou na kyselinu uhličitou. Oxid uhličitý je běžnou součástí zemské atmosféry, přičemž jeho koncentrace (průměrně 0,038 % v roce 2004) v ovzduší kolísá v závislosti na místních podmínkách, na výšce nad povrchem a relativní vlhkosti vzduchu v ovzduší. V důsledku zejména průmyslových emisí jeho průměrná koncentrace ve vzduchu stále roste.

Vznik

Velké množství oxidu uhličitého vzniká rozkladem organických látek (listí, tráva, exkrementy) mikroorganismy. Je také produktem dýchání většiny živých organismů, kde je spolu s vodou konečným produktem metabolické přeměny živin obsažených v potravě. Dále vzniká reakcí uhlíku s kyslíkem při spalování fosilních paliv i biomasy:



Rovnice 3.1

a to vždy za vývinu značného množství tepla – 408,86 MJ/kmol.

Vliv na životní prostředí a člověka

Oxid uhličitý je nedýchatelný a ve vyšších koncentracích může způsobit ztrátu vědomí a smrt. Tento plyn je nezbytný pro existenci života na Zemi v podobě jakou známe. Oxid uhličitý patří do skupiny tzv. skleníkových plynů, které udržují planetu na teplotní úrovni vhodné pro život – průměrná teplota na Zemi je 15 °C. Kdyby byla atmosféra tvořena pouze kyslíkem a dusíkem, byla by průměrná teplota povrchu Země asi -6 °C, což je teplota, při které by život na naší planetě měl podstatně jinou podobu [5]. Ze všech skleníkových plynů má oxid uhličitý největší schopnost tepelné záření pohlcovat. Jelikož je CO₂ v atmosféře asi 380 ppm je jeho podíl na skleníkovém efektu kolem 26 %. Jelikož vlivem spalování fosilních paliv a kácení deštných pralesů stoupá množství CO₂ v atmosféře, vzniká tzv. dodatečný skleníkový efekt, a pravděpodobně také jeho vlivem dochází ke globálnímu oteplování planety. Dále se na skleníkovém efektu se podílí metan asi z 14 % a vodní pára z 60 %.

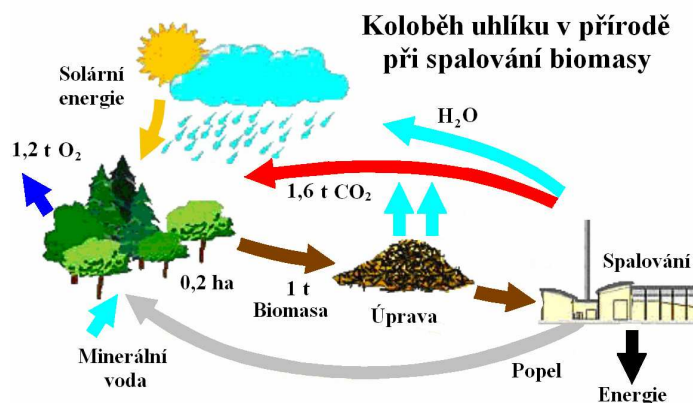
Mimo dodatečný skleníkový efekt nemá oxid uhličitý jiný vliv na životní prostředí.

Spalováním biomasy se uvolní stejné množství oxidu uhličitého, jaké spotřebovala rostlina pro svůj růst, a tím nevzniká dodatečný skleníkový efekt.

Koloběh uhlíku

Jedním způsobem přeměny organických látek biologického původu na anorganické představují termické procesy, při kterých dochází při vhodných podmínkách k intenzivní oxidaci, hoření. Typickým příkladem je spalování biomasy, kdy je hlavní složkou spalin dusík ze spalovacího vzduchu a opět oxid uhličitý a vodní pára (Obrázek 3.2). Procesu spalování může také

předcházet rozklad mikroorganismy – anaerobní digesce, kdy vzniká opět organická látka – metan, který je následně spalován za vzniku oxidu uhličitého a vodní páry.



Obrázek 3.2 Oběh uhlíku v přírodě

Mimo termické procesy se v přírodě transformuje biomasa na anorganické látky mikrobiologickými procesy, a to na souši i ve vodním prostředí. Aktivita mikroorganismů a fotosyntéza je rozhodující pro oběh a rovnováhu látek v biosféře.

4. Oxid uhelnatý (CO)

Popis látky

Oxid uhelnatý je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu, lehčí než vzduch, nedráždivý. Ve vodě je málo rozpustný. Je obsažen v generátorovém, vysokopečném a vodním plynu, má silně redukční vlastnosti. S kyslíkem se prudce slučuje, hoří namodralým plamenem při vzniku oxidu uhličitého výhřevnost plynu je 12610 kJ/m^3 . Ve směsi se vzduchem při koncentraci od 12,5 do 74,2 % oxidu uhelnatého vybuchuje. Oxid uhelnatý je značně jedovatý.

Vznik

Při antropogenní činnosti vzniká jako produkt nedokonalého spalování fosilních paliv i biomasy, a to jak ve stacionárních tak v mobilních zdrojích. Velkým producentem jsou hutní a metalurgické podniky a automobilová doprava.

Oxid uhelnatý vzniká zejména pokud:

- je teplota spalování příliš nízká, aby mohlo dojít k úplné oxidaci paliva na oxid uhličitý,
- čas pro hoření ve spalovací komoře je příliš krátký,
- nebo není k dispozici dostatek kyslíku.

Vliv na životní prostředí a člověka

Oxid uhelnatý je značně jedovatý. Jeho jedovatost je způsobena silnou afinitou ke krevnímu barvivu - hemoglobinu, s nímž vytváří karboxyhemoglobin (COHb), čímž znemožňuje přenos kyslíku v podobě oxyhemoglobinu z plic do tkání.

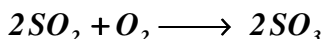
Hypoxie (nedostatek kyslíku) způsobená oxidem uhelnatým vede k nedostatečné funkci citlivých orgánů a tkání, jako je mozek, srdce, vnitřní stěny krevních cév a destiček. Jelikož je tento plyn bez chuti a zápachu, otravy bývají často smrtelné.

V atmosféře je oxid uhelnatý velice stabilní, oxidace na oxid uhličitý vyžaduje několik měsíců až let. Plyn nereaguje s vodou a nezpůsobuje snížení pH deště a vznik kyselých dešťů.

5. Oxid siřičitý (SO₂)

Popis látky

Oxid siřičitý (SO₂) vznikající při spalování paliv obsahujících síru, je spolu s tuhými částicemi hlavní látkou, která znečišťuje ovzduší v městských oblastech na celém světě. Oxid siřičitý je bezbarvý, štiplavě páchnoucí, jedovatý plyn, který reaguje na povrchu různých tuhých suspendovaných částic. Ve vodě se snadno rozpouští za vývoje tepla a vzniku kyseliny siřičité, patří tedy ke kyselinotvorným oxidům. Může být oxidován uvnitř vodních kapiček rozptýlených v ovzduší. S kyslíkem reaguje za chladu pomalu, při zvýšených teplotách rychleji za vzniku oxidu sírového.



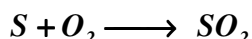
Rovnice 5.1

Oxidy síry (SO_x) se vyskytují ve více formách a vytvářejí několik škodlivin:

- oxid siřičitý a
- kyselé aerosoly (H₂SO₄, NH₄HSO₄), které mohou vznikat oxidací oxidu siřičitého v atmosféře.

Vznik

Oxid siřičitý - Ačkoli existují jisté přírodní zdroje oxidu siřičitého, z hlediska expozice lidí jsou hlavním předmětem zájmu antropogenní příspěvky ze spalování fosilních paliv.



Rovnice 5.2

Kyselý aerosol - Hlavní podíl emisí síry ze spalování paliv tvoří oxid siřičitý, který je v ovzduší dále oxidován na oxid sírový rychlostí 0,5 až 10 % za hodinu. Ve vlhkém vzduchu se tvoří kyselina sírová ve formě aerosolu, často spolu s dalšími polutanty v kapičkách či tuhých částicích s širokým spektrem velikostí. Většina kyseliny sírové přítomné v ovzduší vzniká z oxidu siřičitého emitovaného při spalování.

Kyselina sírová a produkt její částečné atmosférické neutralizace, hydrogensíran amonný, představují téměř celý silně kyselý podíl aerosolu v ovzduší.

Vzhledem ke své hygroskopičnosti je kyselina sírová v ovzduší vždy přítomna ve formě kapiček roztoku, jehož koncentrace vodíkových iontů H⁺ se mění s vlhkostí ovzduší. Čistý hydrogensíran amonný se může v ovzduší vyskytovat jako krystalická sůl až do relativní vlhkosti 80 %. Avšak jakmile se jednou rozpustí do kapek, nevykrystalizuje zpětně dříve, než relativní vlhkost poklesne pod 69 %. Jakmile se dostane do vlhkých dýchacích cest, přijme vodní páru a deponuje se ve formě zředěných kapiček.

Maximální koncentrace v ovzduší se vyskytují v mlhách ve městech a po směru větru za elektrárnami spalujícími uhlí či topné oleje nebo za průmyslovými emisními zdroji.

Vliv na životní prostředí a člověka

Oxid siřičitý - Absorpce oxidu siřičitého na povrchu nosních sliznic a sliznic horních cest dýchacích je důsledkem jeho rozpustnosti ve vodném prostředí. Z dýchacích cest se oxid siřičitý dostává do krve. Vylučování oxidu siřičitého se děje hlavně močí po biotransformaci na sírany, k níž dochází v játrech [6].

Vysoké koncentrace oxidu siřičitého mohou vyvolat vážné poškození, jako je bronchokonstrikce – stahování průdušek a průdušinek, chemická bronchitis - zánětlivé onemocnění sliznice průdušek a tracheitis - zánětlivé akutní nebo chronické onemocnění průdušnice.

Opakované krátkodobé expozice vysokým koncentracím oxidu siřičitého kombinované s dlouhodobými expozicemi nižším koncentracím mohou vést k výskytu chronické bronchitidy, a to zejména u kuřáků cigaret.

Chronická expozice oxidu siřičitému dále negativně ovlivňuje krvetvorbu, způsobuje rozedmu plic, poškozují srdeční sval, negativně působí na menstruační cyklus.

Značně toxický je oxid siřičitý pro rostliny, neboť reaguje s chlorofylem a narušuje tak fotosyntézu. Dále ovlivňuje metabolismus proteinů, rovnováhu lipidů a vody a aktivitu enzymů.

Kyselý aerosol - V mlze je kyselá složka znečištění ovzduší pohlcována do kapének s průměrnou velikostí v intervalu 10-15 μm – londýnský smog. Vdechnuté kapičky mlhy se deponují hlavně v horních cestách dýchacích.

Bylo zjištěno, že kyselina sírová a další sírany ovlivňují jak smyslové, tak dýchací funkce lidského organismu.

Expozice kyselých aerosolů má vliv také na samočisticí odstraňování částic – clearanci, expozice kyselými aerosoly má na tuto funkci kumulativní účinek [6].

Zvýšené koncentrace kyseliny sírové již cca 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vedou ke zvýšenému výskytu alergické astmatické bronchitidy. Po snížení emisí kyselých aerosolů byl zaznamenán trvalý pokles nových onemocnění touto nemocí [6].

Aerosoly kyselin vzniklých z oxidu siřičitého jsou základem pro vznik kyselých dešťů. Kyselý déšť je definován jako typ srážek s pH nižším než 5,6. Kyselý déšť je způsoben oxidy síry nebo také oxidy dusíku pocházejícími například z automobilů. Jakmile se rozptýlí do atmosféry, začnou reagovat s vodou za tvorby sirných a dusíkatých kyselin, které padají na zem ve formě deště. Zvýšená kyselost v půdě a ve vodních tocích se nepříznivě projevuje na vodních živočiších a rostlinstvu.

Existuje přímý vztah mezi nižšími hodnotami pH a ztrátou ryb v rybnících. Při pH nižším než 4,5 prakticky žádná ryba nepřežije, zatímco v pH 6 nebo vyšším žijí zdravé ryby. Růst fytoplanktonu je potlačován vysokou kyselostí vod a zvířata, která se jím živí, trpí hladem.

Kyselý déšť také urychlí zvětvávání uhličitanových materiálů a korozi. Kyselé deště také způsobují uvolňování těžkých kovů (iontů) a toxických látek z půdy a jejich následný transport do vodních toků. Hliník způsobuje nadbytek slizu, který obaluje rybí žábry, a tím zamezuje řádnému dýchání. Také působí na nervový systém člověka, způsobují demenci a předčasné oslabení rozumových schopností - Alzheimerovu nemoc.

Stromům ubližují kyselé deště různými způsoby. Mohou porušovat voskovitý povrch na listech, a strom je tím náchylnější k mrazu, houbám a hmyzu. Mohou také zpomalit růst kořenů což má za následek málo výživy pro strom.

Spolupůsobení se suspendovanými částicemi - Účinky oxidu siřičitého se sčítají s účinky suspendovaných částic – aerosolů i tuhých znečišťujících látek. Byl pozorován nárůst mortality (úmrtnosti), morbidity (nemocnosti) a poruch plicních funkcí. K prokazatelnému zvýšení nemocnosti dochází tam, kde průměrné roční koncentrace suspendovaných částic a oxidu siřičitého přesahují 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

6. Oxidy dusíku (NO_x)

Popis látky

Existují mnohé oxidy dusíku, a však z hlediska lidského zdraví je zřejmě nejvýznamnější z nich oxid dusičitý (NO_2). V plynném stavu je to červenohnědý, agresivní, jedovatý plyn, v kapalném stavu je to žlutohnědá látka, která tuhne na bezbarvé krystaly. Oxid dusičitý je plyn rozpustný ve vodě a silné oxidační činidlo [6].

Vznik

V globálním měřítku je množství oxidů dusíku vznikající přirozeně bakteriální a sopečnou činností a při bouřkách mnohem větší než množství vytvářené lidskou činností, je však rozptýleno po celém povrchu zeměkoule, takže výsledná koncentrace přirozeného pozadí je velmi malá.

Hlavním zdrojem antropogenních emisí oxidů dusíku do ovzduší je spalování paliv ve stacionárních emisních zdrojích (při vytápění a v elektrárnách) a v motorových vozidlech (ve spalovacích motorech). Ve většině případů je emitován do ovzduší oxid dusnatý (NO), který je transformován na oxid dusičitý. Oxidace oxidu dusnatého atmosférickými oxidanty, např. ozonem, probíhá velmi rychle i při velmi nízkých koncentracích obou reakčních složek v ovzduší (méně než minutu).

Oxidy dusíku vznikají třemi způsoby a podle nich se také dělí. Jedná se o tzv. termické, palivové a rychlé NO_x.

Na tvorbu termických NO_x má velký vliv teplota a doba trvání reakce. Čím je teplota v zóně plamene vyšší, tím více vzniká NO_x.

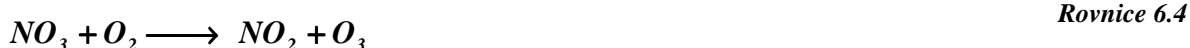
Na tvorbu palivových NO_x mají vliv dusíkaté sloučeniny. Výrazný podíl mají tyto NO_x při spalování hlavně hnědých uhlí a biomasy, kdy se nedosahuje příliš vysokých teplot (1200-1300°C). Nad teplotou 900°C je produkce palivových NO_x prakticky nezávislá na teplotě, produkce je však výrazně závislá na koncentraci kyslíku v zóně plamene – možná oblast pro omezení tvorby NO_x.

Rychlé NO_x vznikají při spalování uhlovodíků, a to ve frontě plamene. Vznik souvisí s vazbou molekul dusíku s radikály v reakcích s nízkou energetikou bariérou. Proces je charakterizován krátkodobostí, malou závislostí na teplotě a velkou závislostí na přebytku vzduchu s maximem tvorby v oblasti stechiometrického poměru.

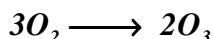
Vliv na životní prostředí a člověka

Oxid dusičitý existuje v životním prostředí jako plyn. Proto je jedinou relevantní cestou expozice lidí vdechování. Při vdechování může být absorbováno 80 až 90 % oxidu dusičitého. Experimentální studie ukázaly, že oxid dusičitý i jeho chemické produkty mohou zůstávat v plicích velmi dlouho. Dlouhodobé expozice oxidu dusičitému způsobují množství změn, primárně v plicích, avšak i v dalších orgánech, jako např. ve slezině, v játrech a v krvi. Strukturální změny sahají od změny typu buněk v tracheobronchiální a plicní oblasti až ke změnám podobným emfyzému – rozedma plic. Expozice oxidu dusičitému při nízkých koncentracích také zvyšují vnímavost k bakteriální infekci plic [6].

Oxidy dusíku způsobují tzv. letní smog. Letní smog je označení pro znečištění, které vzniká v městských oblastech vlivem slunečních paprsků. Jeho součástí jsou převážně vysoké koncentrace přízemního ozónu, který vzniká vlivem intenzivního příkonu slunečního záření v létě fotochemickými reakcemi ze dvou skupin látek, jimiž jsou oxidy dusíku a těkavé organické látky. Oxid dusičitý se během reakcí regeneruje, proto je výsledkem soustavy rovnic vznik dvou molekul ozónu ze tří molekul kyslíku, viz. Rovnice 6.5.



Výsledná bilance soustavy chemických reakcí:



Oxidy dusíku tvoří s vodou dusíkaté kyseliny, které přispívají ke snížení pH deště, a podílejí se tak na vzniku kyselých dešťů. Vliv oxidů dusíku je však menší než vliv oxidů síry, představuje pravděpodobně podíl 30 % [6].

Vlivem působení dusíkatých látek dochází ke změně skladby rostlinného a následně i živočišného ekosystému. Některé druhy rostlin využívají zvýšené mineralizace, a stávají se tak dominantními v dané lokalitě, ve které potlačují jiné druhy, u kterých vede zvýšený obsah dusičnanů ke snížení růstu. Tento jev může nastávat jak v suchozemských, mokřadních či vodních ekosystémech. U vodních systémů může docházet navíc k odčerpání kyslíku rostlinami, kterým vyšší podíl dusičnanů svědčí. Nedostatek kyslíku ve vodě pak vede k úhynu vodních živočichů.

7. Chlór a fluor (CL, F)

Popis látky

Tyto látky patří do skupiny halogenů a tvoří řadu velice nebezpečných sloučenin anorganického i organického. Chlór je toxický reaktivní žlutozelený plyn dusivého zápachu. Jednou z nejjednodušších sloučenin chlóru, která má dopady na životní prostředí je chlorovodík. Fluor je plyn, který připomíná chlorovodík.

Vznik a výskyt

V čisté formě se dostává do ovzduší převážně z chemického průmyslu. Převážně chlorovodík a fluorovodík vzniká při spalování paliv s obsahem F a Cl (odpady, biomasa, h. uhlí).

Vliv na životní prostředí a člověka

Dráždivý účinek chlóru je dán jeho reakcí s vlhkostí, při které se uvolňuje kyslík – oxidační účinek a vzniká kyselina chlorovodíková – účinek kyseliny. Tento účinek je především nebezpečný pro dýchací cesty a oči. Při chronické expozici dochází k chronické bronchitidě a rozedně plic. Do koncentrace 2 mg/m³ není lidskému organismu škodlivý. Pro vegetaci je chlór 2 až 3krát jedovatější než oxid siřičitý. Fluor působí na organismy a životní prostředí obdobně jako chlór, ale je podstatně účinnější.

8. Těkavé organické látky (VOC)

Popis látky

Těkavé organické látky (VOC – Volatile Organic Compounds) jsou významnou skupinou polutantů ovzduší, které se vyskytují v nižších vrstvách atmosféry měst a průmyslových oblastí. Kategorie VOC zahrnuje mnoho set druhů různých sloučenin. Dle US EPA (U.S. Environmental Protection Agency) jsou VOC látky, jejichž tenze nasycených par při 20 °C je rovna nebo větší než 0,13 kPa. Blíže se těmto látkám věnuje [1].

Vznik

VOC se do atmosféry dostávají jak z biogenních tak antropogenních zdrojů. Mezi hlavní antropogenní zdroje VOC patří: použití rozpouštědel (lakovny apod.), výfukové plyny dopravních prostředků, evaporace benzínových par, skladování a distribuce benzínu a petrochemický průmysl.

Vliv na životní prostředí a člověka

Nebezpečí těchto látek spočívá v jejich reaktivitě, která však není u všech druhů stejná, což způsobuje také různou dobu setrvání v atmosféře a vliv na různé vrstvy atmosféry. Tyto látky snadno reagují s NO za vzniku ozonu, NO₂ a složitých organických molekul, peroxyacyl nitrátů (PAN). Reakcemi VOC v atmosféře dochází k vzniku fotochemického (letního) smogu.

9. Polychlorované dibenzo-p-dioxiny/dibenzofurany (PCDD/PCDF)

Popis látky

Polychlorované dibenzo-p-dioxiny (PCDD) a polychlorované dibenzofurany (PCDF) patří mezi perzistentní organické polutanty (POPs), viz. Obrázek 9.1. PCDD a PCDF v čistém stavu, kdy jde o laboratorní chemikálie, jsou bílé krystalické látky, za normální teploty tuhé.



Obrázek 9.1 Strukturální vzorec PCDD a PCDF

Vznik a výskyt

PCDD/PCDF vznikají jako nežádoucí vedlejší produkty při řadě antropogenních procesů. PCDD/PCDF jsou emitovány z termických procesů spalujících organickou hmotu a chlór jako výsledek neúplného spalování. Velkými stacionárními zdroji emisí PCDD/PCDF mohou být následující provozy:

- spalování odpadů, včetně spoluspalování,
- termické metalurgické procesy, například produkce hliníku a dalších neželezných kovů, produkce železa a oceli,
- spalovací paliv pro vytápění domácností,
- specifické chemické výrobní procesy uvolňující meziprodukty a vedlejší produkty.

Vliv na životní prostředí a člověka

PCDD/PCDF jsou hepatotoxické a jsou pokládány za promotory rakovinných a teratogenních (vývojových) onemocnění.

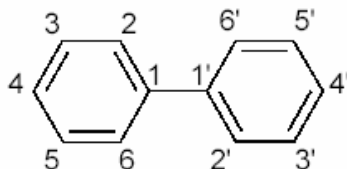
Hlavní toxikologické vlastnosti PCDD/PCDF:

- jsou vysoce persistentní v lipidových složkách buněk a orgánů,
- jsou karcinogenní pro řadu zvířat, avšak až při akutně toxických dávkách,
- mají schopnost podporovat růst nádorů,
- jsou teratogenní (způsobující vznik vrozených vývojových vad) v dávkách akutně toxických pro matku,
- při vysokých dávkách - neurologické účinky.

10. Polychlorované bifenyly (PCB)

Popis látky

Polychlorované bifenyly (PCB) je souhrnný název pro 209 chemicky příbuzných látek (kongenerů), které se liší počtem a polohou atomů chlóru navázaných na molekule bifenyly (bifenyl je uhlovodík, v němž jsou jednoduchou vazbou spojena 2 benzenová jádra).



Obrázek 10.1 Strukturální vzorec bifenyly

PCB se vyznačují chemickou a fyzikální stabilitou, jsou stálé i za teplot 300°C, nehořlavé, prakticky nerozpustné ve vodě, dobře se ale rozpouští v organických rozpouštědlech a tucích. K hoření PCB dochází až při teplotách nad 1 000°C.

Vznik a výskyt

PCB byly v poměrně nedávné minulosti průmyslově vyráběné a intenzivně používané. Po zjištění perzistence PCB v prostředí a jejich škodlivých účinků včetně poškození zdravotního stavu člověka byla již koncem 70. let výroba zastavena.

Vliv na životní prostředí a člověka

Hlavními zdravotními příznaky exponovaných osob jsou kožní potíže, snížení kapacity plic a dýchací potíže, poškození jater. Pravděpodobně jsou některé z těchto látek také karcinogenní.

11. Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU)

Popis látky

Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) vznikají kondenzací dvou a více benzenových jader. PAU jsou za normálních podmínek tuhé látky, většinou bezbarvé, bílé nebo žluté. Fyzikálně-chemické vlastnosti PAU jsou obecně podmíněny molekulovou hmotností.

Vznik

Dominantním zdrojem PAU v ekosféře dnešního světa je však činnost člověka. Vznikají zejména z nedokonalých spalovacích procesů, přičemž největší množství vzniká v domácích topeništích na tuhá paliva, dále pak ve spalovacích motorech. PAU se v životním prostředí většinou nevyskytují jednotlivě, ale jako složitá směs s širokým rozsahem molekulových hmotností.

Vliv na životní prostředí a člověka

Hlavním důvodem zájmu o PAU jsou karcinogenní účinky některých sloučenin tohoto typu a podezření, že do určité míry má minimální mutagenní účinky většina PAU.

12. Tuhé znečišťující látky

Popis látky

Mimo plynné a kapalné látky (aerosoly) jsou podstatným polutantem také tuhé znečišťující látky – prachy. Jsou to částice od 0,1 μm po 0,5 mm charakteristické různorodým složením.

Vznik

Tuhé znečišťující látky mohou vznikat jak přírodní tak lidskou činností. Spalování paliv patří k méně významným činnostem, při kterých prach vzniká.

Vliv na životní prostředí a člověka

Z hlediska lidského zdraví jsou nejnebezpečnější částice v rozmezí 0,25 až 5 μm , přičemž nejvíce jsou v plicích zadržovány částice o velikosti kolem 1 μm . Plíce mají schopnost samočištění, řada škodlivin, které se dostávají do plic spolu s tuhými částicemi (kyselé aerosoly, těžké kovy a perzistentní organické látky), však tuto schopnost plic trvale narušuje a mají další škodlivé vlivy na zdraví člověka.

13. Těžké kovy

Popis látky

Těžkými kovy se rozumí kovy, jejichž hustota je větší než 4500 kg/m^3 , jsou toxické a mají tendenci se akumulovat v potravním řetězci. Kovy se vyznačují různou mírou toxicity a různým působením na živé organismy.

- Prvky silně toxické: As, Cd, Hg, Pb, Cr, Th a Ni.
- Prvky potenciálně toxické: Co, Cu, Fe, Mn, Se a Zn.
- Prvky méně toxické: Sb, Sn, V.

Vznik

Antropogenních procesů, při kterých jsou emitovány těžké kovy, je spousta, spalování mezi ně patří také. Spalovací procesy při výrobě energie mohou být významným zdrojem zejména As, Cd, Hg, Ni, Se, Sn a V.

Forma, ve které se těžké kovy vyskytují v palivu, a jejich množství má vliv na množství těchto kovů z něj uvolněné během spalování. Pokud je kov vázán na organickou hmotu (biomasa), pak s velkou pravděpodobností dojde k jeho odpaření. Naopak, když je vázán v hrubých minerálních částicích (popelovina uhlí), dojde často k jeho zachycení v popelu.

Na množství uvolněných těžkých kovů má vliv také obsah Cl, S a vlhkost, dále podmínky v ohništi – oxidační a redukční podmínky, doba zdržení částic a teplota v ohništi.

Vliv na životní prostředí a člověka

Obecně lze říct, že inhalované částice v první řadě poškozují zejména respirační systém vznikem nemocí, jako je např. chronická bronchitida. Druhým efektem je toxicita způsobená těžkými kovy, jenž jsou součástí jemných částic usazených v plicích, které je mohou v různém množství absorbovat, odkud migrují do ostatních částí těla. Těžké kovy absorbované v krvi, kam se dostanou z plic po inhalaci, zasahují do normálního metabolismu inhibicí nebo stimulací enzymových systémů. Mohou poškozovat orgány a způsobovat vznik rakovinných nádorů nebo

podporovat jejich růst. Účinky silně toxických kovů popisuje Tabulka 13.1. Více se škodlivinami zabývá zmiňovaná studie [1].

Tabulka 13.1 Vlastnosti silně toxických kovů

Kov	Zn.	Vlastnosti
Arsen	As	Oxid arzenitý je toxický, dávka 0,2 g je smrtelná, otrava se projevuje šedě zbarvenou pokožkou. Některé látky, hlavně s trojmocným arsenem, jsou karcinogenní (nádory kůže a dýchací soustavy). Arzenovodík je vysoce toxický plyn. Po četných různorodých příznacích dochází ke selhání ledvin a často nastává smrt. Dlouhodobý účinek se projevuje anemií a vylučováním hemoglobinu a krevních proteinů močí.
Kadmium	Cd	Ovlivňuje metabolismus cukrů, při nadýchání výparů při výrobě hrozí edém plic. Jedovatý je také CdO, CdCl ₂ způsobuje zvracení. K otravám dochází při požití potravin, které přišly do styku s pokadmiovaným plechem. Chronické expozice se projevují hubnutím, pokašlávání, poškození ledvin, jater, plic a kostí.
Chrom	Cr	Toxické jsou sloučeniny Cr ⁶⁺ , rozpustné sloučeniny jsou navíc karcinogenní a mutagenní. Tyto sloučeniny mají také leptavý účinek na kůži a sliznice, poškozují ledviny a játra.
Olovo	Pb	Olovo zasahuje do metabolismu, imunologických procesů organismu a výrazně ovlivňuje krvetvorbu (poškozením červených krvinek). Kumuluje se především v kostech, nepříznivě ovlivňuje funkci ledvin, jater a postihuje nervový systém. Je podezření na karcinogenitu.
Rtuť	Hg	Výborně se váže na SH skupinu bílkovin, buněčných membrán a enzymů. Projevy otrav jednotlivých sloučenin se velice liší. Při chronické otravě dochází k poškození ledvin a neurotickým projevům.
Nikl	Ni	Jedná se o výrazný jed. Při styku s kůží způsobuje vyrážku. Některé sloučeniny jsou pravděpodobně karcinogenní. Tetrakabonyl niklu je velice toxický, způsobuje poškození mnoha orgánů a smrt již při nízkých koncentracích.
Thalium	Tl	Subakutní otravy postihují především centrální a periferní nervovou soustavu, srdce, pokožku, ledviny, játra, hladké svaly atd. Z organismu se vylučuje velmi pomalu.

14. Ekologické aspekty záměny paliva vyplývající z vyhodnocení experimentů

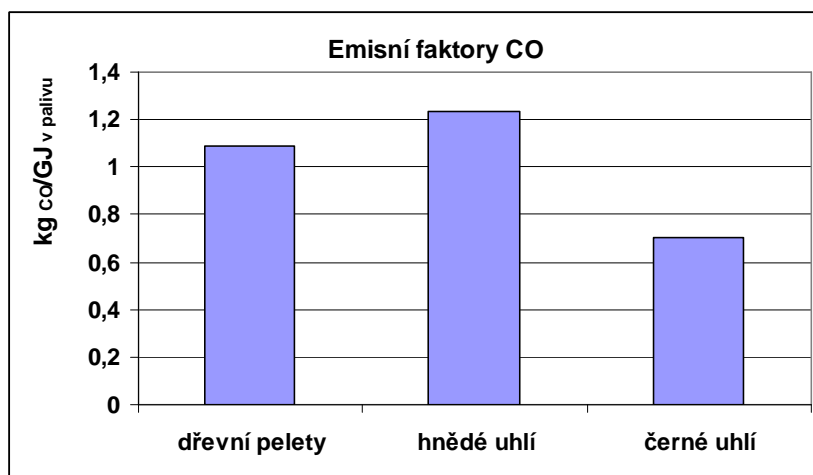
Srovnání emisí jednotlivých škodlivin při spalování tuhých fosilních paliv (černé a hnědé uhlí) a biomasy (dřevních pelet) v kotlích různých výkonů lze nalézt rozborem dat získaných z různých experimentů či komerčních měření emisí. Jednotlivé experimenty týkající se jednotlivým škodlivinám jsou popsány ve studii [1]. V následující kapitole jsou shrnuty nejdůležitější závěry týkající se produkce škodlivin při spalování různých paliv.

14.1 Produkce plynných škodlivin z kotlů malých výkonů

Emisní faktory CO

Koncentrace CO ve spalinách za kotlem nejlépe ukazuje na kvalitu spalovacího procesu. Nedohořelý CO představuje ukazatel o špatně nastavených spalovacích parametrech (množství vzduchu apod.) nebo o nevhodné konstrukci spalovacího zařízení pro dané palivo.

Podle dat z experimentu provedeném na kotlích malého výkonu vychází nejlépe z pohledu produkce oxidu uhelnatého černé uhlí (Obrázek 14.1). Biomasa se svou produkcí oxidu uhelnatého řadí před hnědé uhlí. Tyto hodnoty se však při použití jiných technologií mohou lišit.

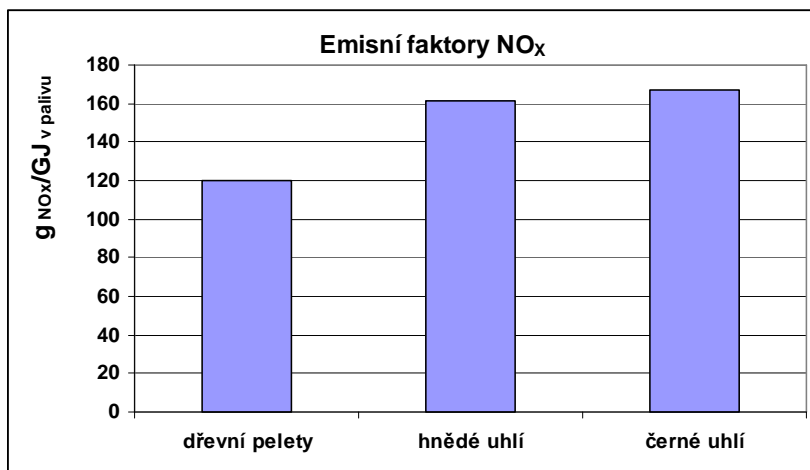


Obrázek 14.1 Emisní faktory CO přepočtené na výhřevnost paliva

Emisní faktory NO_x

Emise NO_x jsou nejvíce ovlivněny obsahem dusíku v palivu a teplotou ve spalovací komoře. Vysoká teplota (nad 1 000 °C) způsobuje vznik tzv. termických NO_x. Teplota v ohništích malých výkonů je ve většině případů menší než kritická hodnota, takže termické NO_x netvoří hlavní díl výsledných emisí NO_x. Hlavní podíl na tvorbě emisí NO_x má obsah dusíku v palivu.

Nejnižších hodnot emisních faktorů při spalování paliv kotlích malých výkonů (Obrázek 14.2) bylo dosaženo při spalování dřevních pelet, což je způsobeno menším obsahem dusíku v palivu při porovnání s uhlím. U uhlí se díky vyšším teplotám začínají tvořit i termické NO_x.



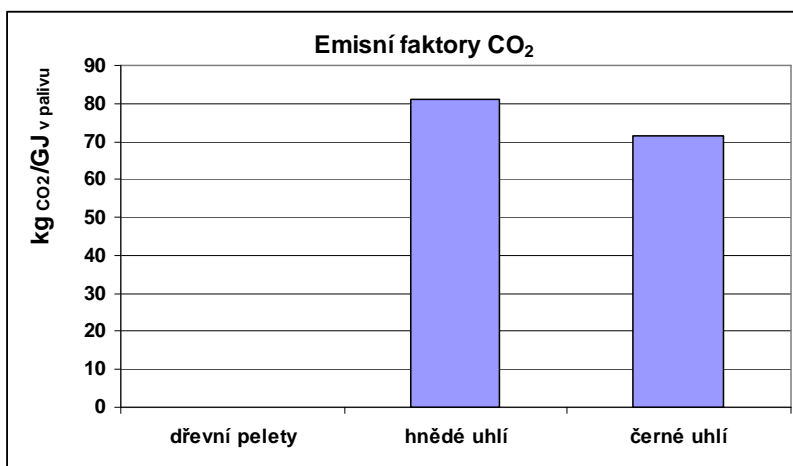
Obrázek 14.2 Emisní faktory NO_x přepočtené na výhřevnost paliva

Emisní faktory CO₂

Přestože se současná legislativa nezabývá emisemi CO₂, byly pro zajímavost hodnoty skutečných emisních faktorů dosažených při spalovacích zkouškách pro CO₂. Jak již bylo řečeno v předcházejících kapitolách, stejné množství oxidu uhličitého, které vznikne spálením biomasy, je biomasou absorbováno během růstu. Emisní faktor při spalování není nulový, ale lze jej za nulový považovat. Z hodnot měření CO₂ je zřejmé, že:

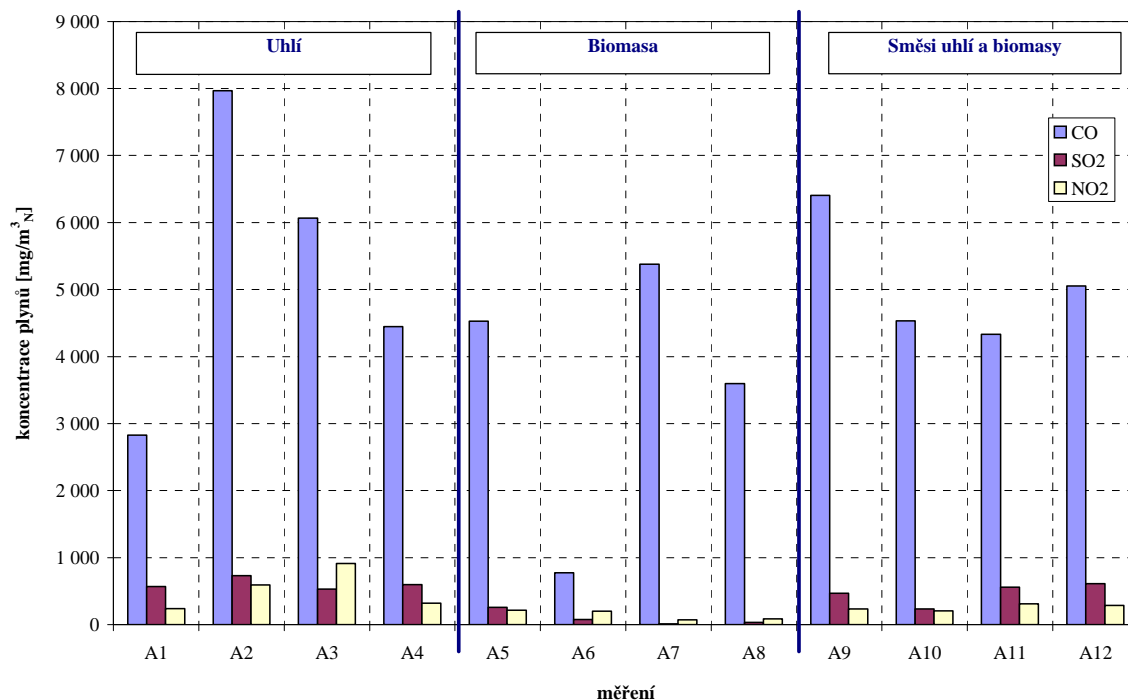
Po přepočtení emisních faktorů na výhřevnost paliva vychází emisní faktory:

- pro hnědé uhlí 81,3 kg_{CO2}/GJ_{v palivu} a
- pro černého uhlí 71,3 kg_{CO2}/GJ_{v palivu}.



Obrázek 14.3 Emisní faktory CO₂ přepočtené na výhřevnost paliva

Jak je vidět i na následujícím grafu (Obrázek 14.4) zachycujícím data z jiného experimentu, jsou emise CO, SO₂ i NO₂ nižší při spalování biomasy. Mnohem nižší produkce oxidu siřičitého u biomasy je dána malým podílem síry v palivu. Množství spalitelné síry v palivu určuje množství oxidu siřičitého ve spalinách.



Pozn.: Označení A1 až A12 označuje jednotlivá měření, která jsou vysvětlena ve studii.

Obrázek 14.4 Koncentrace CO, SO₂ a NO₂ [mg/m³_N] v emisích při spalování paliv kotlích malých výkonů

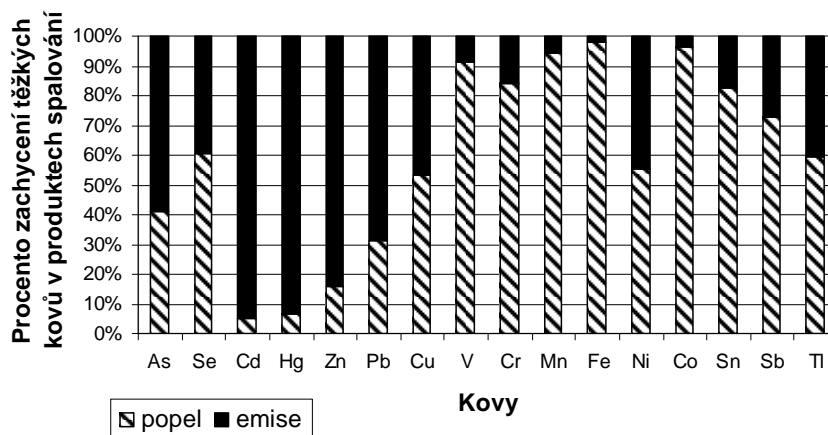
14.2 Těžké kovy

U uhlí se ve spalinách objevuje z těžkých kovů řádově více olova než ostatních kovů. U koncentrací kovů s velkým vlivem na zdraví, jako je As, Cd, je koncentrace těchto kovů nižší u uhlí než u biomasy. U některých dalších vysoce toxických kovů, jako je již zmíněné olovo a dále pak rtuť, jsou koncentrace těchto kovů výrazně nižší u biomasy. U ostatních kovů se nedá jednoznačně stanovit, ze kterých paliv pronikají tyto kovy do spalin více.

Tabulka 14.1 Koncentrace kovů v emisích ze spalování uhlí a biomasy v malých zdrojích

Kovy		uhlí				biomasa			
		I-J-FEB	I-J-JUN	I-W-AUG	CW II	RSt	LPW	BSD	WhSt
TZL	[mg/m ³ _N]	123	460	595	261	1330	261	80	740
As	[μg/m ³ _N]	6,3	15,1	3,4	9,2	7,4	12,0	19,5	11,7
Cd		6,0	11,2	4,0	6,8	43,0	49,6	52,5	11,1
Co		5,0	10,5	12,5	4,4	0,5	0,9	1,6	
Cr		7,8	33,4	6,1	32,6	7,4	14,7	27,5	11,1
Cu		67,0	76	962	109	6 415	78	190	50
Mn		23,3	230	63,5	37,3	44,3	86,1	232	44,4
Ni		20,2	84,7	41,2	33,0	281,5	33,3	46,7	17,4
Pb		746	1596	759	521	110	431	448	56
Sb		3,2	10,6		3,9	2,1		4,1	1,7
Sn		7,6	12,9		10,9		5,9	5,7	
Tl		9,5	36,2		3,9	2,3	7,6	3,9	
V		3,8	4,1	3,9	5,5	0,7	8,9	5,5	1,0
Hg		1,6	3,8	23,8	2,8	1,4	2,7	0,2	0,9

Pozn.: Jednotlivá paliva jsou popsána ve studii.



Obrázek 14.5 Hmotnostní bilance kovů v produktech spalování – roštový kotel, spalování biomasy

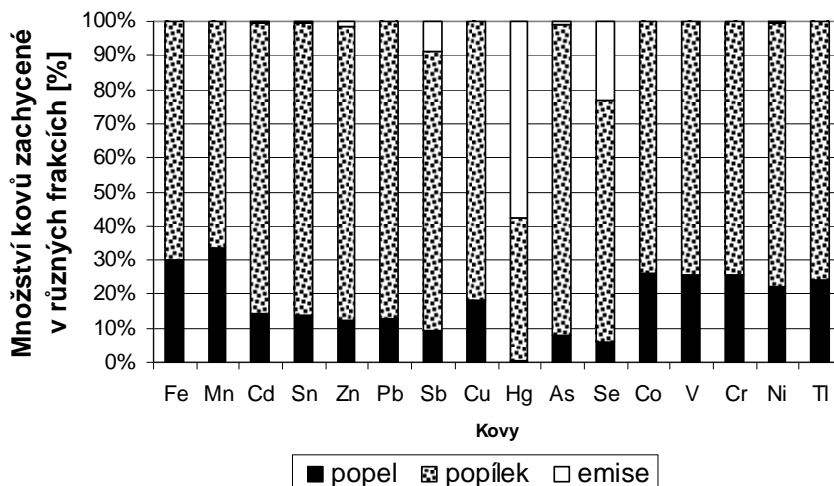
Hmotnostní bilance

Obrázek 14.5 zobrazuje průměrné hodnoty hmotnostní bilance pro biomasu. Hmotnostní bilance pro uhlí a směs uhlí a biomasy je velice podobná.

Jednotlivé těžké kovy jsou v produktech spalování redistribuovány rozdílně, některé z nich mají tendenci se spíše koncentrovat na malých částicích emisí a jiné zůstávají v popelu. Dle tohoto chování lze kovy rozdělit na následující dvě skupiny:

- obohacené v emisích případně popílku: As, Cd, Cu, Hg, Sb, Se, Sn, Pb a Zn
- obohacené v popelu: Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Tl a V

Chování kovů dle jejich podobné redistribuce během spalovacích procesů nezávisí z hlediska jejich tendence obohacovat se více či méně v různých produktech spalování ani na výkonu a typu kotle (Obrázek 14.6) ani na spalovaném palivu.

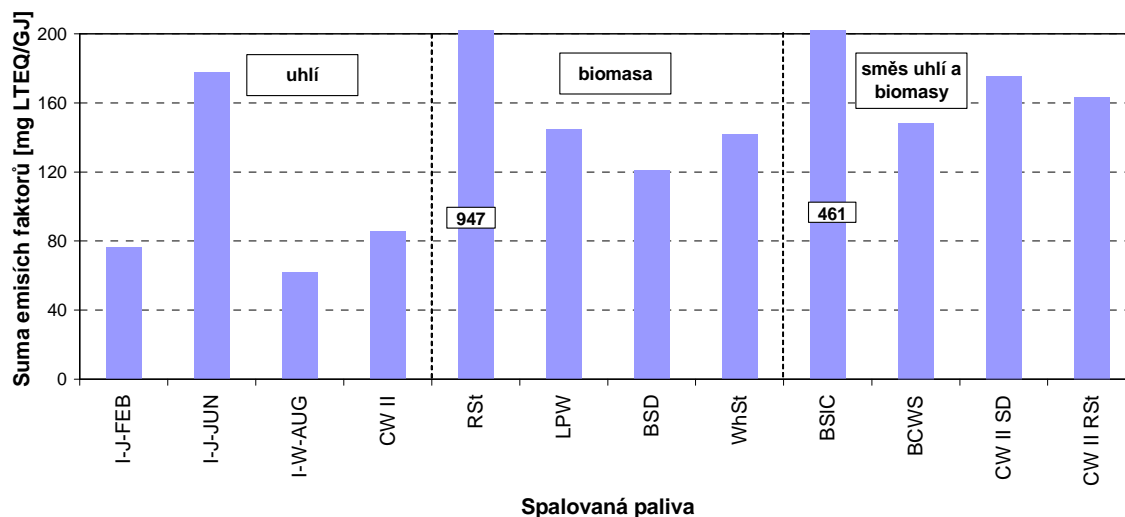


Obrázek 14.6 Hmotnostní bilance kovů v produktech spalování – kotle s práškovými hořáky

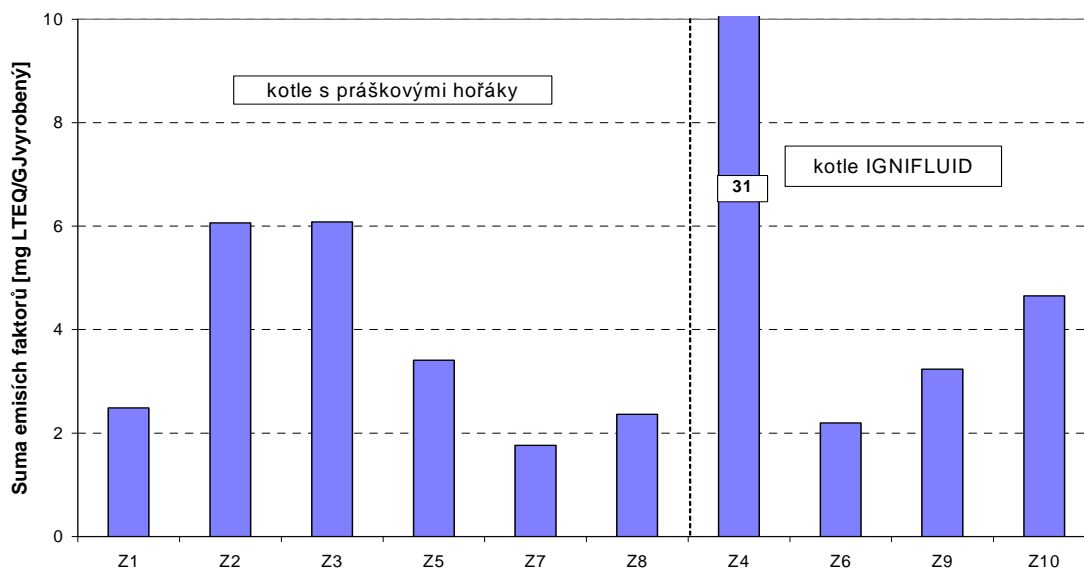
Srovnání emisních faktorů

Legislativní toxický ekvivalent (LTEQ) je koeficient, jímž se násobí emisní faktory jednotlivých kovů a který zohledňuje jejich vliv na životní prostředí. Vychází z hodnot emisních limitů pro jednotlivé kovy.

Jak ukazuje Obrázek 14.7, je patrné, že mezi jednotlivými palivy není významný rozdíl z hlediska množství emitovaných těžkých kovů s výjimkou spalování slámy z řepky (RSt) a briket z uhlí Julian a kalů z ČOV (BSIC). I přes tyto extrémní lze konstatovat, že z pohledu emisního faktoru těžkých kovů vychází z experimentu lépe fosilní palivo (černé uhlí). Emisní faktory při spalování uhlí v kotlích velkého výkonu (Obrázek 14.8) jsou více jak o řád nižší, a podobné faktory se dají očekávat i při spalování biomasy.



Obrázek 14.7 Emisní faktor těžkých kovů přepočítaných na LTEQ (dle obecných emisních limitů) – roštový kotel



Pozn.: Zdroje s výkonem nad 50 MW spalující černé a hnědé uhlí

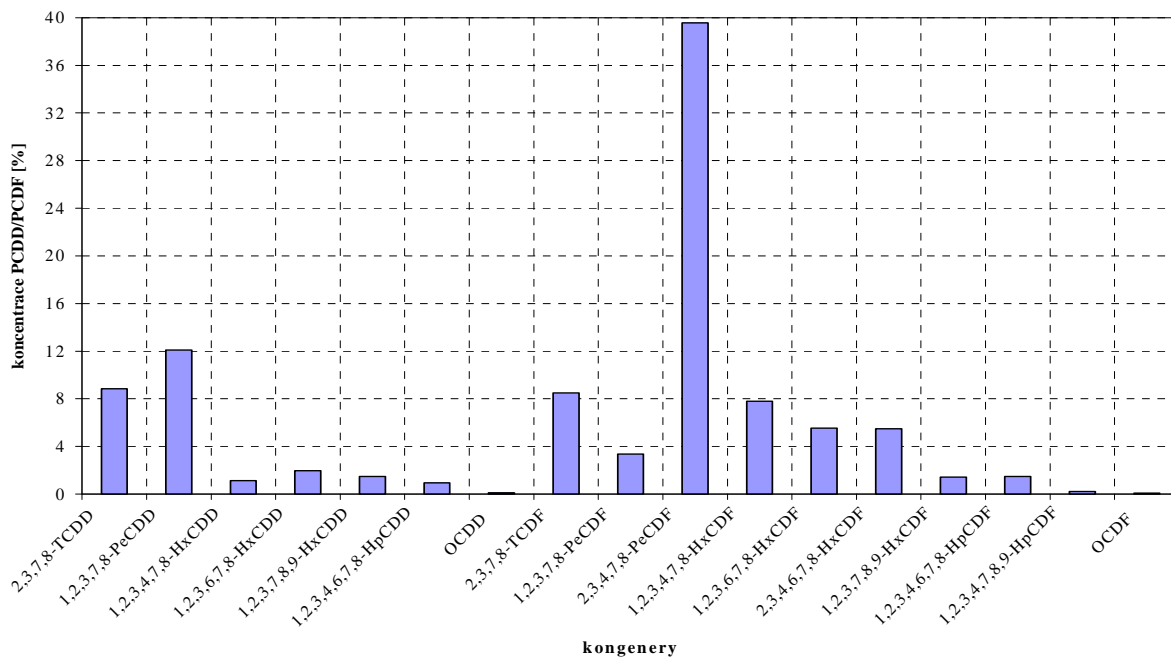
Obrázek 14.8 Emisní faktor těžkých kovů přepočítaných na LTEQ (dle obecných emisních limitů)

14.3 Polychlorované dibenzo-p-dioxiny/dibenzofurany (PCDD/PCDF)

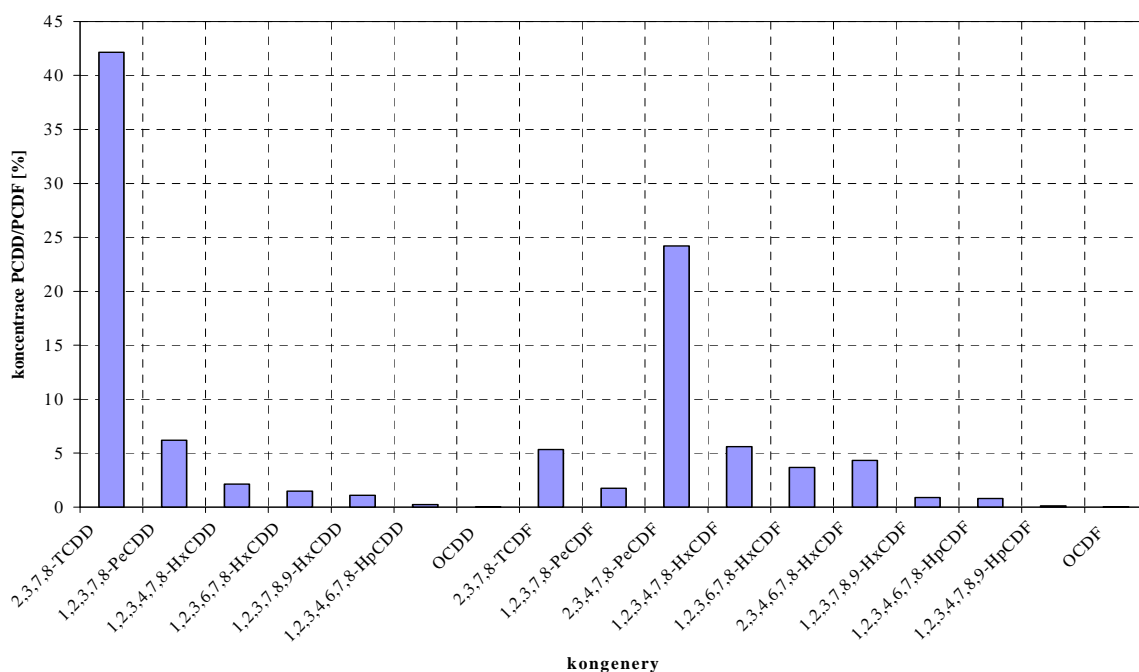
Toxické kongenery u malých zdrojů

Pro sedmáct toxických kongenerů (konkrétních dioxinů a furanů) byly na základě výsledných koncentrací PCDD/PCDF v emisích vyhotoveny kongenerové profily. Tyto profily znázorňují poměry koncentrací (vyjádřených procenty) jednotlivých kongenerů. V následujících

grafech (Obrázek 14.9 a Obrázek 14.10) jsou uvedeny příklady kong. profilů při spalování uhlí a biomasy.



Obrázek 14.9 Kongenerový profil - při spalování uhlí

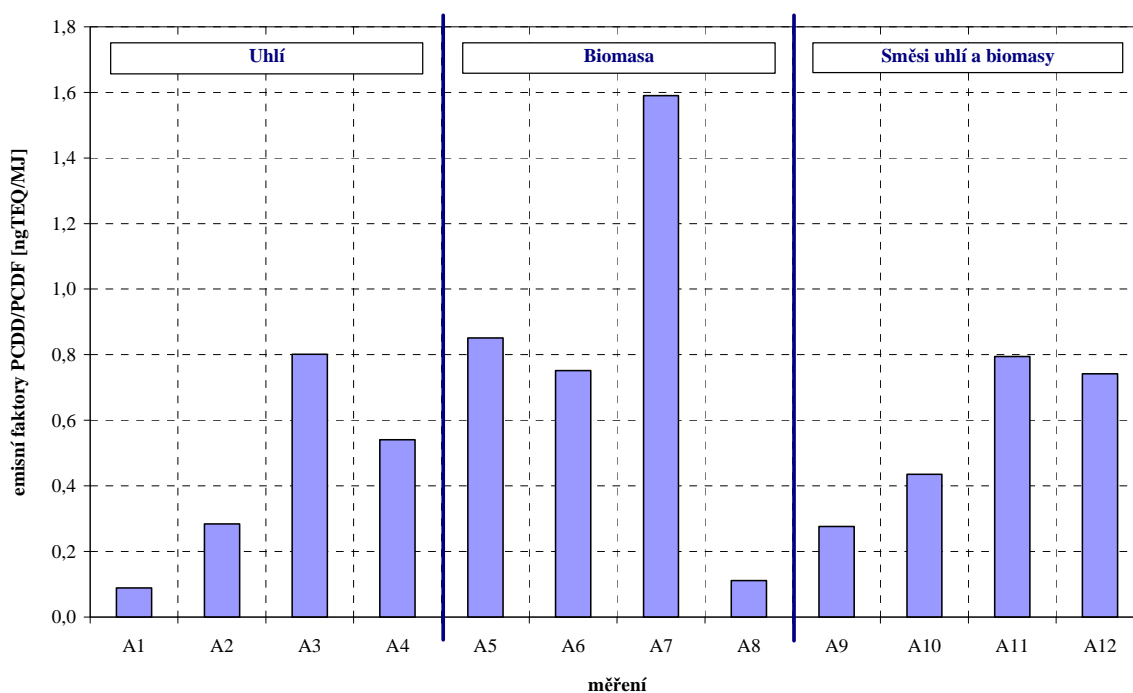


Obrázek 14.10 Kongenerový profil – při spalování biomasy

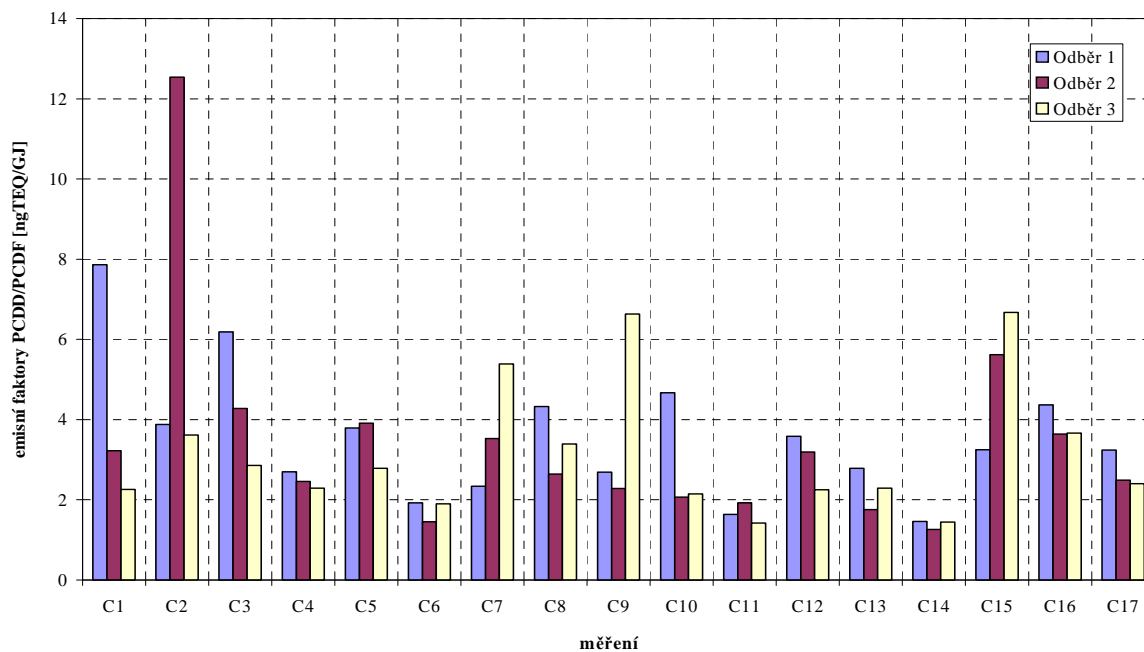
Emisní faktory PCDD/PCDF

Při srovnání emisních faktorů u velkých kotlů (Obrázek 14.12) s emisními faktory u malých kotlů (Obrázek 14.11) jsou emisní faktory u velkých zdrojů téměř o tři řády nižší.

Biomasa má u malých kotlů cca 2krát vyšší emisní faktor, ale vyskytlo se i měření, které mělo naopak emisní faktor oproti uhlí přibližně třetinový.



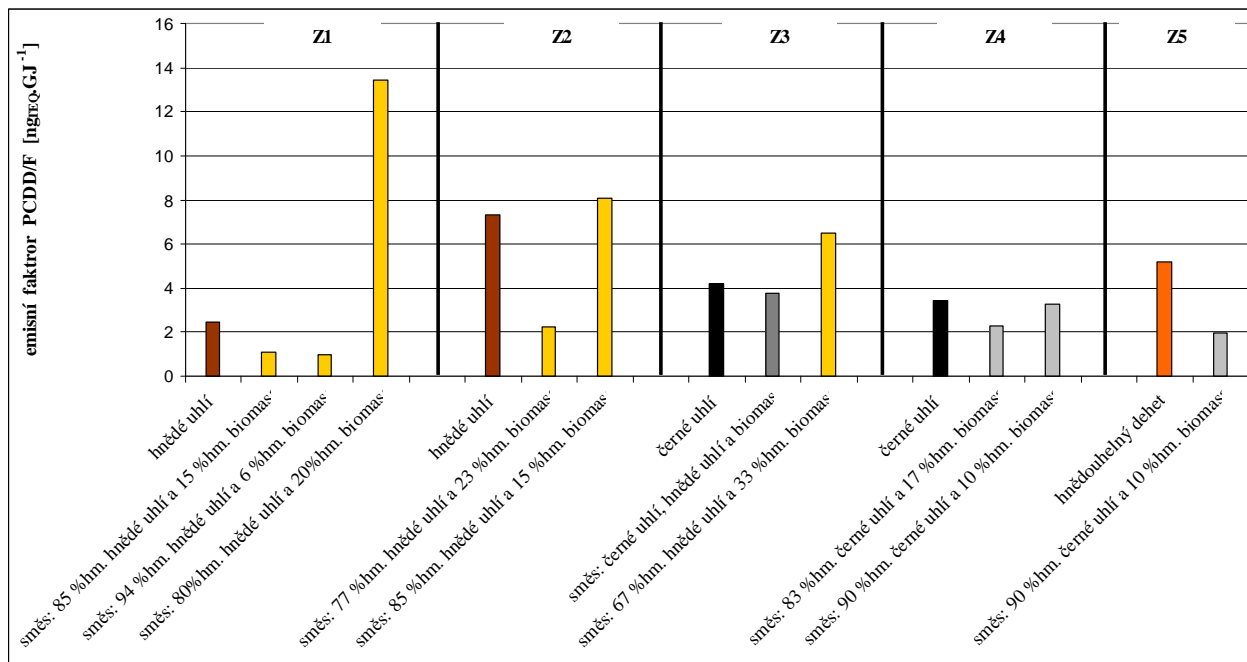
Obrázek 14.11 Emisní faktory PCDD/PCDF [ngTEQ/MJ] jako sumy při spalování v kotlích malých výkonů



Obrázek 14.12 Emisní faktory PCDD/PCDF [ngTEQ/GJ] při spalování uhlí v kotlích velkých výkonů

Jednotlivá paliva vykazují veliké rozkolísání emisí v rámci jednoho paliva, z čehož plyne, že produkce PCDD/F je velice závislá na provozních podmínkách, Obrázek 14.13. Při srovnání čistých fosilních paliv se směsmi fosilních paliv a biomasy lze říci, že jsou emisní faktory na

stejné úrovni, u některých paliv je dokonce emisní faktor mírně nižší než u spalování samotného fosilního paliva.

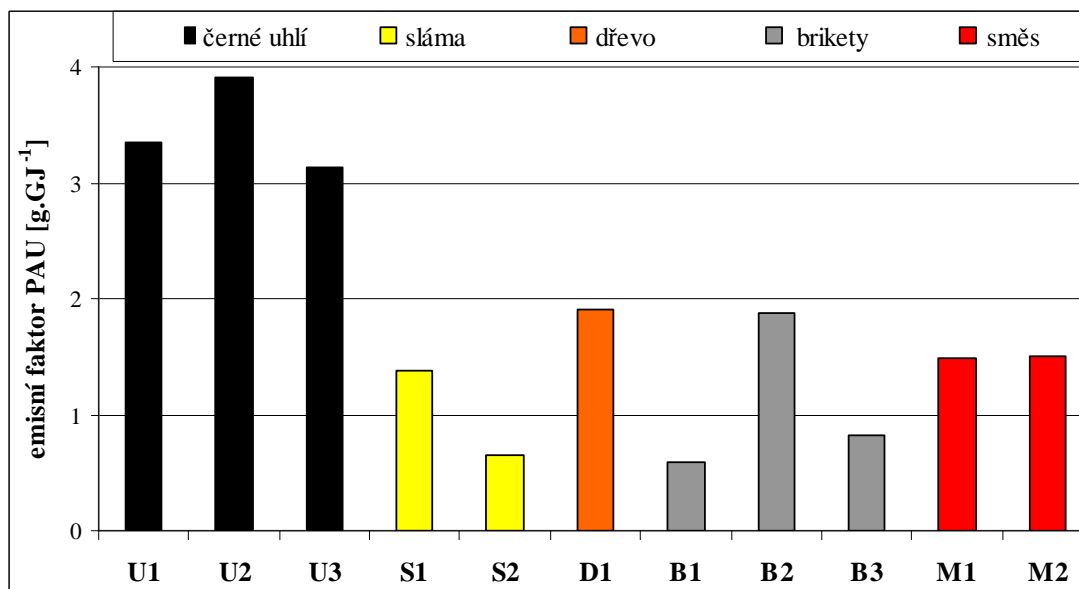


Pozn.: Data získaná z komerčních měření [1]

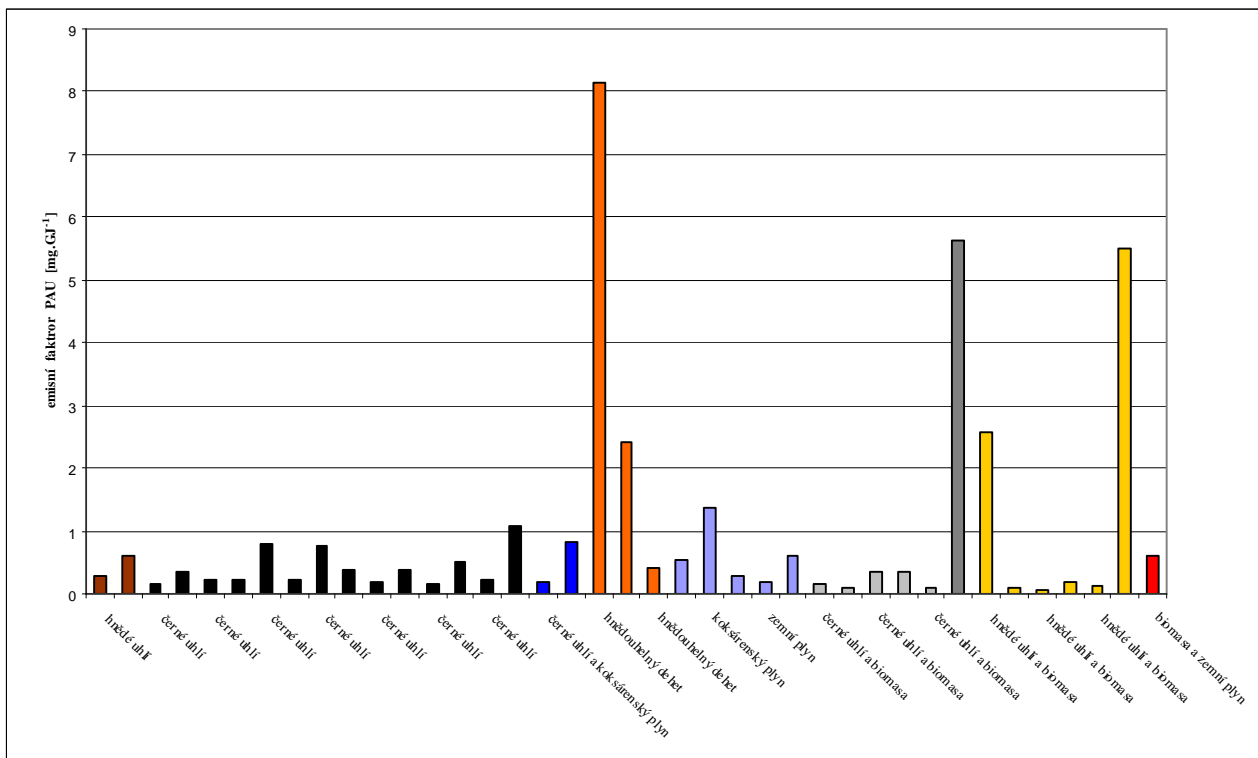
Obrázek 14.13 Emisní faktory PCDD/PCDF [ngTEQ/GJ] velkých zdrojů při spalování různých paliv

14.4 Polyaromatické uhlovodíky a polychlorované bifenylly (PAU a PCB)

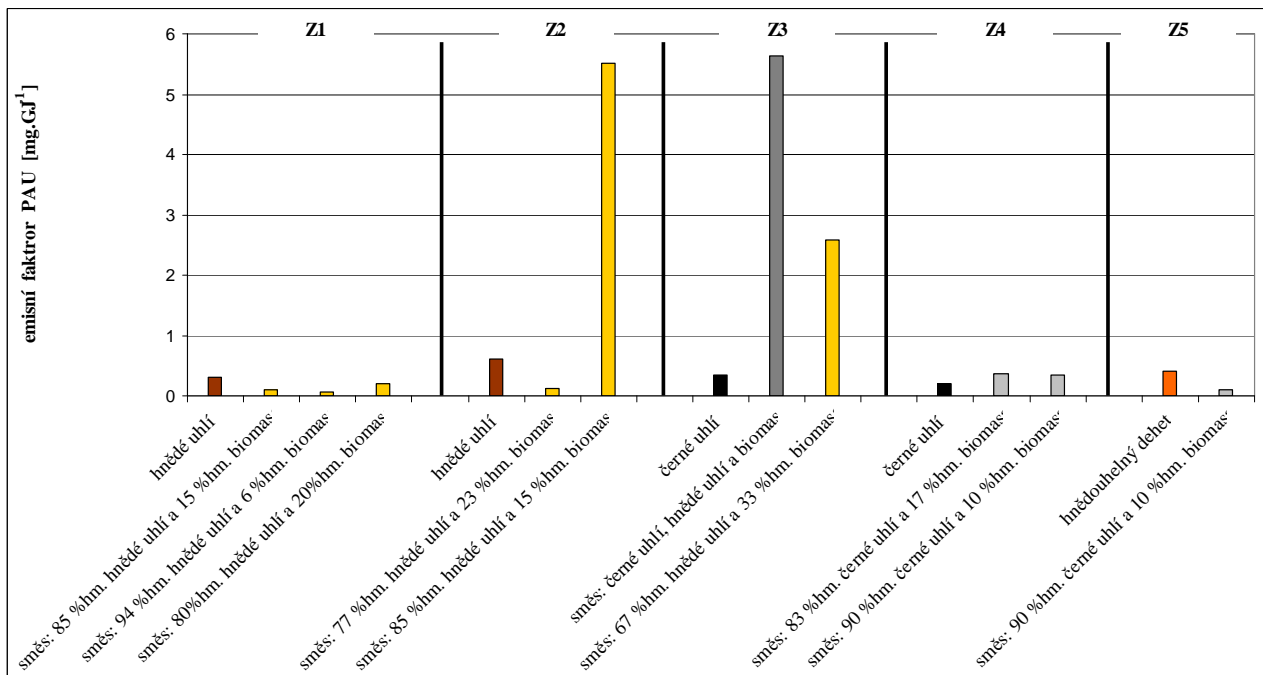
Emisní faktory jednotlivých paliv při spalování v kotlích malého výkonu zobrazuje Obrázek 14.14. Emisní faktor pro biomasu je cca 2krát nižší než pro černé uhlí. Podobné výsledky vykazují i měření na velkých kotlích, kdy při částečném nahrazení uhlí biomasou došlo ke snížení tvorby PAU, viz. Obrázek 14.15. Při spalování paliv ve velkých zdrojích jsou však tyto emise více jak o 3 řády nižší. Stejně jak u PCDD/F je produkce PAU (Obrázek 14.16) i PCB velice závislá na provozních podmínkách. Produkci PAU a PCB se podrobněji věnuje studie [1] v kapitole 19.4.



Obrázek 14.14 Emisní faktor PAU u zdrojů malého výkonu při spalování různých paliv



Obrázek 14.15 Emisní faktor PAU u velkých zdrojů při spalování různých paliv získané z komerčních měření



Pozn.: Data získaná z komerčních měření [1]

Obrázek 14.16 Emisní faktor PAU u velkých zdrojů při spalování různých paliv

15. Minimalizace vlivu využívání biomasy na životní prostředí

Přestože jsou emisní faktory řady škodlivin pro spalování biomasy nižší než pro spalování fosilních paliv, obě paliva mají odlišné vlastnosti a spalováním v nevhodných topeništích nebo

nevhodným způsobem mohou být emise škodlivin mnohem vyšší než uvádí experimenty, literatura či výrobce.

Podmínky vzniku a jejich možná eliminace řízením spalovacího procesu (primární opatření) jsou u některých škodlivin známy, u některých škodlivin se o těchto věcech vedou diskuze.

Mezi škodliviny, jejichž vznik se nedá vůbec nebo jen v omezené míře ovlivnit vedením spalovacího procesu patří například SO₂, tuhé částice, Cl, F a toxické kovy. Jejich množství je dáno složením paliva.

Mezi škodliviny, jejichž množství lze zcela nebo výrazně omezit vedením spalovacího procesu patří hlavně CO, uhlovodíky a dále NO_x.

Mezi látky, jejichž vznik není ještě přesně prozkoumán patří PCDD/PCDF a PCB.

Oxid siřičitý

Biomasa obsahuje malé množství síry, proto emise oxidu siřičitého nedosahují významné úrovně a není nutné je snižovat sekundárními opatřeními (odsíření).

Tuhé znečišťující látky, těžké kovy

Emise tuhých znečišťujících látek je dána množstvím a složením popelovin a strukturou biomasy. Úroveň emisí se pohybuje v širokých mezích a je srovnatelná s fosilními palivy. Jelikož biomasa tvoří větší podíl popela s jemnou frakcí, je u větších zařízení vhodné použít odlučovače nebo filtry.

Oxid uhelnatý

Díky velkému podílu prchavé hořlaviny může při spalování biomasy v zařízeních určených pro fosilní paliva s malým podílem prchavé hořlaviny vznikat velké množství CO. Ke snížení emisí CO je důležité spalovat biomasu v zařízeních určených pro tato paliva. Tato zařízení jsou charakteristická prostornou spalovací komorou, která bývá často vyložena keramikou. Tato konstrukce zaručuje dostatečnou teplotu spalin po dlouhý čas, a tím mohou hořlavé složky dohořet. Pro hoření je samozřejmý přívod vzduchu, který musí být u biomasy přiváděn postupně po výšce plamene, a to až ve třech úrovních.

Uhlovodíky

Tvorba uhlovodíků je spjata s tvorbou oxidu uhelnatého a pro jejich minimalizaci platí stejná opatření.

Oxidy dusíky

Tvorba oxidů dusíku souvisí u biomasy především s dusíkatými sloučeninami v palivu. Jejich eliminace je u zařízení malého výkonu poměrně komplikovaná. U zařízení velkého výkonu je jejich eliminace možná podstechiometrickým spalováním a přívodem vzduchu v několika úrovních. Pro eliminaci termických NO_x je důležité zamezit vzniku oblastí s vysokou teplotou a velkému přebytku vzduchu v oblasti ohniště.

16. Stav produkce emisí v Moravskoslezském a Zlínském kraji

Moravskoslezský region je charakteristický velkým počtem velkých zdrojů znečištění a velkým zalidněním. Mezi významné provozovatele stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší ovlivňující kvalitu ovzduší v kraji patří hutní, strojírenské a dřevo zpracující podniky a

energetické závody. Dominantní škodlivinou v Moravskoslezském kraji (MSK) je oxid uhelnatý, který je z hlavní části produkován velkými zdroji.

Podstatným zdrojem emisí znečišťujících látek do ovzduší jsou rovněž lokální topeniště s nedokonalým spalováním méně hodnotných paliv a mobilní zdroje. Lokální topeniště se podílejí na produkci významně právě v zimních měsících při inverzním počasí a jsou významným producentem tuhých znečišťujících látek a široké škály organických látek. Podrobně se produkcí emisí ve všech dotčených krajích zabývá studie [1] v kapitole 21 a 22.

Jelikož jsou kraje poměrně hornaté s rozptýlenými lidskými sídly, řada z nich není plynofikována. Dle Českého statistického úřadu není v Moravskoslezském kraji přípojkou na plynovod vybaveno přes 68500 domů, ve Zlínském kraji to je pak přes 55500 domů. Cca 23 % malých zdrojů v MSK je vytápěna tuhými fosilními palivy. Malá sídla jsou situována v údolích, ve kterých se během topné sezóny množství škodlivin do jisté míry kumulují a dochází k sezónnímu zhoršení kvality ovzduší.

Zvláště v malých horských sídlech by záměna tuhých fosilních paliv za biomasu vedla v podstatnému zlepšení hodnot emisí škodlivin během topného období.

17. Legislativa v dané problematice

Současná legislativa

Současná legislativa týkající se ochrany ovzduší je založena na zákoně 86/2002 Sb., ke které se vztahují 4 vyhlášky a 5 nařízení, viz. Tabulka 17.1.

Omezení emisí

V současné době jsou emise ze stacionárních spalovacích zařízení omezovány Nařízením vlády 352/2002 Sb. - Nařízením vlády, kterým se stanoví emisní limity a další podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší s účinností od 14.08.2002. Tímto nařízením se v souladu s právem Evropských společenství stanoví specifické emisní limity, postup uplatnění obecných emisních limitů, přípustná tmavost kouře a podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší.

Emisní limity škodlivin středních a velkých zdrojů spalujících tuhá paliva uvádějí následující tabulky (Tabulka 17.2 a Tabulka 17.3).

Tabulka 17.1 Legislativa ochrany ovzduší

Zákony	
86/2002	Zákon o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší)
Vyhlášky	
356/2002	Vyhláška Ministerstva životního prostředí, kterou se stanoví seznam znečišťujících látek, obecné emisní limity, způsob předávání zpráv a informací, zjišťování množství vypouštěných znečišťujících látek, tmavosti kouře, přípustné míry obtěžování zápachem a intenzity pachů, podmínky autorizace osob, požadavky na vedení provozní evidence zdrojů znečišťování ovzduší a podmínky jejich uplatňování
357/2002	Vyhláška Ministerstva životního prostředí, kterou se stanoví požadavky na kvalitu paliv z hlediska ochrany ovzduší
355/2002	Vyhláška Ministerstva životního prostředí, kterou se stanoví emisní limity a další podmínky provozování ostatních stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší emitujících těkavé organické látky z procesů aplikujících organická rozpouštědla a ze skladování a distribuce benzínu
358/2002	Vyhláška Ministerstva životního prostředí, kterou se stanoví podmínky ochrany ozonové vrstvy Země
Nariadení	
354/2002	Nariadení vlády, kterým se stanoví emisní limity a další podmínky pro spalování odpadu
351/2002	Nariadení vlády, kterým se stanoví závazné emisní stropy pro některé látky znečišťující ovzduší a způsob přípravy a provádění emisních inventur a emisních projekcí
350/2002	Nariadení vlády, kterým se stanoví emisní limity a podmínky a způsob sledování, posuzování, hodnocení a řízení kvality ovzduší
352/2002	Nariadení vlády, kterým se stanoví emisní limity a další podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší
353/2002	Nariadení vlády, kterým se stanoví emisní limity a další podmínky provozování ostatních stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší

Tabulka 17.2 Spalovací zařízení s granulacním, výtavným a roštovým ohništěm¹⁾

Jmenovitý tepelný výkon (MW)	Emisní limit v (mg/m ³ vztaheno na normální stavové podmínky a suchý plyn)					Referenční obsah kyslíku O ₂ (%)
	TZL	SO ₂	NO _x jako NO ₂	CO	Organické látky TOC	
0,2 nebo větší	-	-	650	-	nestanoven	6
	-	-	1100 ²⁾	-	nestanoven	6
0,2 až do 1 včetně	-	-	-	650	nestanoven	6
> 1 až do 5 včetně	-	-	-	650	nestanoven	6
0,2 a větší až do 5 včetně	250	-	-	-	nestanoven	6
0,2 a větší, ale jmen. tepelný příkon menší než 50 MW	-	2500	-	-	nestanoven	6
> 5, ale jmen. tepelný příkon menší než 50 MW	150	-	-	400	nestanoven	6

1) též granulacní nebo roštové kotle s přiřazenými fluidními reaktory, jejich kombinace s fluidními ohništi nebo rekonstrukce těchto kotlů s využitím prvků fluidní techniky

2) pro výtavná ohniště

Tabulka 17.3 Spalovací zařízení spalující dřevo¹⁾ nebo biomasu

Jmenovitý tepelný výkon (MW)	Emisní limit v (mg/m ³ vztaheno na normální stavové podmínky a suchý plyn)					Referenční obsah kyslíku O ₂ (%)
	TZL	SO ₂	NO _x jako NO ₂	CO	Organické látky TOC	
0,2 nebo větší, ale jmen. tepelný příkon menší než 50 MW	250	2500	650	650	50 ²⁾	11

1) rovněž tak nekontaminovaný dřevní odpad, kůru a podobné rostlinné látky

2) emisní limit platí pro tepelný výkon nad 1 MW

Ekologicky šetrný výrobek

Pro kotle malých výkonů neexistují emisní limity, respektive emise z těchto zařízení nepodléhají legislativou danému periodickému měření emisí. Podle produkovaných škodlivin se kotle malého výkonu dělí pouze do tříd dle ČSN EN 303-5.

Motivací pro výrobce spalovacích zařízení je získání ekoznačení, z čehož vyplývá řada výhod. Ekoznačení je pojem používaný pro označení výrobků a služeb, které jsou v průběhu celého životního cyklu šetrnější nejen k životnímu prostředí, ale i ke zdraví spotřebitele. Jejich kvalita přitom zůstává na velmi vysoké úrovni. U nás se používá ekoznačení „Ekologicky šetrný výrobek“, viz. Obrázek 17.2. Propůjčení této značky pro jednotlivé zboží nebo službu je podmíněno splněním podmínek daných směrnici [7] pro daný výrobek nebo službu. Pro teplovodní kotle pro ústřední vytápění na spalování biomasy je to Směrnice č. 13 – 2006 vydaná MŽP. Požadované emisní limity pro propůjčení ekoznačení, které jsou poměrně nízké, uvádí Tabulka 18.1. Mimo tento požadavek je nutné splnit další čtyři požadavky dané směrnici.

Splnění specifických požadavků musí být prokázáno posouzením v ČR autorizovanou osobou pro daný obor výrobku v souladu se zákony, nařízeními a normami vztahujícími se na výrobek.

Známka se uděluje prostřednictvím Agentury pro ekologicky šetrné výrobky, jež je součástí CENIA – Česká informační agentura životního prostředí.

Tabulka 17.4 Emisní limity ustáleném stavu pro propůjčení ekoznačení

CO	mg.kWh ⁻¹	4500
	mg.m ⁻³	2000
NO _x	mg.kWh ⁻¹	550
	mg.m ⁻³	250
C _x H _y	mg.kWh ⁻¹	130
	mg.m ⁻³	60
TZL	mg.kWh ⁻¹	420
	mg.m ⁻³	190

Pozn.: Emise v mg.m⁻³ jsou vztaheny na suché spaliny a normální podmínky 101,32 kPa a 0 °C při referenčním obsahu O₂ ve spalínách 11 % obj.

Obrázek 17.2 Vzor ochranné známky „Ekologicky šetrný výrobek“



Připravovaná legislativa

V současnosti je v připomínkovém řízení návrh Vyhlášky Ministerstva životního prostředí (MŽP) o stanovení požadavků na kvalitu paliv z hlediska ochrany ovzduší podle § 55 odst. 3 zákona č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší). Nová Vyhláška MŽP má nahradit Vyhlášku MŽP č. 357/2002 Sb. k 1. lednu 2008.

Z pohledu spalování fosilních paliv a biomasy jsou podstatné požadavky na kvalitu tuhých paliv (§ 3), viz. následující dva odstavce. Omezení množství síry v palivech určených pro malé a střední zdroje je jediným možným řešením, jak omezit emise ze zdrojů, u kterých nejsou stanoveny emisní limity (malé zdroje), nebo ze zdrojů, u kterých nejsou emise měřeny kontinuálně. Vyhláška řeší také plynná a kapalná paliva.

Měrná sirtatost černého uhlí, určeného ke spalování v malých a středních stacionárních zdrojích, nesmí překročit $0,50 \text{ g.MJ}^{-1}$. Měrná sirtatost hnědého uhlí, určeného ke spalování v malých a středních stacionárních zdrojích, nesmí překročit $1,07 \text{ g.MJ}^{-1}$, od 1. ledna 2010 nesmí překročit $0,95 \text{ g.MJ}^{-1}$ a od 1. ledna 2014 nesmí překročit $0,50 \text{ g.MJ}^{-1}$. Měrná sirtatost uhelných briket, určených ke spalování v malých a středních stacionárních zdrojích, nesmí překročit $0,50 \text{ g.MJ}^{-1}$.

Požadavky na kvalitu tuhých paliv, s výjimkou paliv uvedených v odst. 1 a s výjimkou rostlé biomasy a rostlé biomasy upravené pouze fyzikálními postupy, jsou stanoveny v příloze č. 1 k této vyhlášce, viz. Tabulka 17.5.

Tabulka 17.5 Příloha č. 1 k vyhlášce

Kvalitativní ukazatel v bezvodém stavu (mimo obsah vody)	Jednotka	Vymezení limitní hodnoty kvalitativního ukazatele
Voda	% hm.	< 15
Výhřevnost	$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	> 15
Obsah síry a jejích sloučenin	% hm.	< 0,3
Obsah chlóru a jeho sloučenin	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	< 50
Obsah arsenu a jeho sloučenin	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	< 1
Obsah kadmia a jeho sloučenin	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	< 0,5
Obsah rtuti a jejích sloučenin	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	< 0,05
Obsah olova a jeho sloučenin	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	< 10
Obsah niklu a jeho sloučenin	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	< 3

18. Závěr

Tato metodická příručka stručně sumarizuje hlavní znečišťující látky vznikající při energetickém využívání biomasy a paliv obecně. Podrobně se této problematice věnuje studie „Ekologické aspekty záměny fosilních paliv za biomasu“, která obsahuje detailní informace o jednotlivých škodlivinách, jejich vzniku a negativním působení na životní prostředí a člověka. Příručka je oproti studii rozšířena o stručný přehled a výtah ze současné a připravované legislativy týkající se ochrany ovzduší.

Přestože je biomasa obnovitelný zdroj energie představující akumulovanou energii slunce, její transformace na tepelnou nebo elektrickou energii se většinou neobejde bez procesu spalování, při kterém vznikají škodlivé látky. Vyhodnocením produkce jednotlivých škodlivin při spalování biomasy a fosilních paliv v různých zařízeních lze odhadovat, u kterých aplikací může přinést záměna významný ekologický efekt. Informace o skutečném ekologickém efektu energetického využívání biomasy mohou vést k širšímu využívání technologií na biomasu popřípadě k jejich dalšímu vývoji směrem k dalšímu snížení emisí.

Literatura

1. OCHODEK, T., KOLONIČNÝ, J., BRANC, M. Ekologické aspekty záměny fosilních paliv za biomasu. VŠB – TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum, Ostrava 2007. ISBN 978-80-248-1595-4.
2. ZÁKON Č. 86/2002 Sb. O ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů
3. Vyhláška MŽP č. 357/2002 Sb., kterou se stanovují požadavky na kvalitu paliv z hlediska ochrany ovzduší
4. ČSN EN 303-5. Kotle pro ústřední vytápění – Část 5: Kotle pro ústřední vytápění na pevná paliva, s ruční nebo samočinnou dodávkou, o jmenovitém tepelném výkonu nejvýše 300 kW – Terminologie, požadavky, zkoušení a značení
5. Ochodek, T.: Spalování uhlí v ohništích malých výkonů - habilitační práce. Ostrava, 2004.
6. Směrnice pro kvalitu ovzduší v Evropě. Praha, Ministerstvo životního prostředí ČR, 1996. 444 s. ISBN 80-7212-000-X
7. [http://www.cenia.cz/C12571B20041E945.nsf/\\$pid/MZPMSFHMV9DV#smernice](http://www.cenia.cz/C12571B20041E945.nsf/$pid/MZPMSFHMV9DV#smernice)

Seznam obrázků

Obrázek 3.2 Oběh uhlíku v přírodě.....	7
Obrázek 9.1 Strukturální vzorec PCDD a PCDF.....	12
Obrázek 10.1 Strukturální vzorec bifenyly.....	13
Obrázek 14.1 Emisní faktory CO přepočtené na výhřevnost paliva.....	16
Obrázek 14.2 Emisní faktory NO _x přepočtené na výhřevnost paliva.....	16
Obrázek 14.3 Emisní faktory CO ₂ přepočtené na výhřevnost paliva.....	17
Obrázek 14.4 Koncentrace CO, SO ₂ a NO ₂ [mg/m ³ _N] v emisích při spalování paliv kotlích malých výkonů.....	18
Obrázek 14.5 Hmotnostní bilance kovů v produktech spalování –roštový kotel, spalování biomasy.....	19
Obrázek 14.6 Hmotnostní bilance kovů v produktech spalování – kotle s práškovými hořáky.....	19
Obrázek 14.7 Emisní faktor těžkých kovů přepočítaných na LTEQ (dle obecných emisních limitů) – roštový kotel.....	20
Obrázek 14.8 Emisní faktor těžkých kovů přepočítaných na LTEQ (dle obecných emisních limitů).....	20
Obrázek 14.9 Kongenerový profil - při spalování uhlí.....	21
Obrázek 14.10 Kongenerový profil – při spalování biomasy.....	21
Obrázek 14.11 Emisní faktory PCDD/PCDF [ngTEQ/MJ] jako sumy při spalování v kotlích malých výkonů.....	22
Obrázek 14.12 Emisní faktory PCDD/PCDF [ngTEQ/GJ] při spalování uhlí v kotlích velkých výkonů.....	22
Obrázek 14.13 Emisní faktory PCDD/PCDF [ngTEQ/GJ] velkých zdrojů při spalování různých paliv.....	23
Obrázek 14.14 Emisní faktor PAU u zdrojů malého výkonu při spalování různých paliv.....	23
Obrázek 14.15 Emisní faktor PAU u velkých zdrojů při spalování různých paliv získané z komerčních měření.....	24
Obrázek 14.16 Emisní faktor PAU u velkých zdrojů při spalování různých paliv.....	24
Obrázek 17.2 Vzor ochranné známky „Ekologicky šetrný výrobek“.....	28

Seznam tabulek

Tabulka 2.1 Seznam základních znečišťujících látek (0. skupina) [3].....	4
Tabulka 2.2 Plynné a kapalné znečišťující látky podle chemického složení [4].....	5
Tabulka 13.1 Vlastnosti silně toxických kovů.....	15
Tabulka 14.1 Koncentrace kovů v emisích ze spalování uhlí a biomasy v malých zdrojích.....	18
Tabulka 17.1 Legislativa ochrany ovzduší.....	27
Tabulka 17.2 Spalovací zařízení s granulačním, výtavným a roštovým ohništěm ¹⁾	27
Tabulka 17.3 Spalovací zařízení spalující dřevo ¹⁾ nebo biomasu.....	28
Tabulka 17.4 Emisní limity ustáleném stavu pro propůjčení ekoznačení.....	28
Tabulka 17.5 Příloha č. 1 k vyhlášce.....	29

Autor:	doc. Dr. Tadeáš Ochodek, Ing. Jan Koloničný, Ph.D., Ing. Michal Branc	
Vysokoškolský ústav:	Výzkumné energetické centrum	740
Název:	Metodická příručka ke studii – Ekologické aspekty záměny fosilních paliv za biomasu	
Místo, rok vydání:	Ostrava, 2007, I. vydání	
Počet stran:	31	
Vydala:	Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava	
Tisk:	Repronis Ostrava	
Náklad:	200 ks	
Neprodejné		