

ODBORNÉ VZDĚLÁVÁNÍ ÚŘEDNÍKŮ
PRO VÝKON STÁTNÍ SPRÁVY
OCHRANY OVZDUŠÍ V ČESKÉ REPUBLICE



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

Spalování paliv - Kotle

Ing. Jan Andreovský Ph.D.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Kotle –Specifika (spolu)spalování biomasy

- Vybrány a diskutovány jsou specifické oblasti, které souvisí se spalováním resp. spoluspalováním biomasy.
 - Tvorba a ovlivnění nápeků z biomasy
 - Identifikace vlivu biomasy na suchou metodu odsíření při spoluspalování.
 - Vlastní spoluspalování biomasy s uhlím



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Kotle –Specifika (spolu)spalování biomasy

Spalování a spoluspalování biomasy:

- Obecně biomasa je širokospektrální druh paliva a proto její znaková standardizace a kvalitativní zařídění vykazuje značnou proměnnost.
- Základní zařídění biomasy a rámcové charakteristické vlastnosti paliva jsou většinou odvozeny od vlastního původu např. lesní štěpka - dendromasa, agromasa, zbytky z biorafinérií potravinářského, papírenského a textilního průmyslu, organické kaly z recyklačních a čistírenských procesů a jejich separáty, zbytky z dřevovýroby, palivové dřevo a mnoho dalších.
- Přes uvedené zařídění je v jednotlivých skupinách vykazována rozsáhlá diverzibilita složení paliva a pro využití biomasy by měl provozovatel mít alespoň základní představu o původu, rámcovém složení paliva a jeho proměnnosti, kvalitě, specifickém rozměru a rozsahu dodávek, apod. Jako vhodný příklad může být uvedena např. proměnnost dodávky vytěžené dřevní štěpky v rozsahu 1 až dvou dnů. Výhřevnost lesní štěpky v letním měsíci se pohybovala cca na 11 MJ/t při vlhkosti cca 30% po následném transportu v dešti byla výhřevnost cca 8.2 MJ/t s vlhkostí nad 50%.

Kotle –Specifika (spolu)spalování biomasy

Spalování a spoluspalování biomasy:

- Pokud se nově staví kotel určený pro spalování biomasy nebo většinové spoluspalování biomasy, je obvykle celá technologie uvažovanému palivu přizpůsobena. V případě, že se jedná o spoluspalování v již vybudovaném kotli např. na fosilní paliva, mohou z hlediska provozu kotle a spalovacího procesu nastat rozdíly, většinou zhoršujícího charakteru. Pro ČR a jeho energetiku je v daném období nejvýznamnější spoluspalování štěpky a agromasy, což bude dále diskutováno.

Vlastní spoluspalování biomasy s uhlím:

- Palivo:
 - Je známo co se bude spalovat a jaký je odhadovaný rámec hraničních hodnot uvažovaného druhu paliva? Obecně platná poučka je, že uvažované palivo by mělo mít výhřevnosti a rozměry alespoň přibližně obdobné původnímu projektovanému palivu, např. značně zarážející by bylo na práškovém kotli na černé uhlí spalování dřevní štěpky.



evropský
sociální
fond v ČR



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Kotle –Specifika (spolu)spalování biomasy

Vlastní spoluspalování biomasy s uhlím:

- Palivo:
 - Na klasických uhelných zdrojích může dojít k významným problémům na pomocných technologiích, především u štěpky se jedná o dopravní cesty původního zauhlování, trasy podávání a přípravy paliva, bunkrování paliva a jeho separování v průběhu provozu. V případě, že nejsou vhodně uzpůsobeny dopravní cesty, může docházet ke kolísání výstupních parametrů kotle.
 - Rozměry paliva a měrné hmotnosti paliva hrají významnou úlohu i v samotném spalování.

Např. fluidní kotle HU, které jsou méně citlivé na větší vstupní rozměry a tvary paliva, budou prakticky bez problematiky pro pelety a s vhodně přizpůsobenou rozměrovou přípravou je bez problematiky i štěpka. Významné problémy FK mohou ale způsobit paliva typu drtí např. drtě obilnin apod.

Naopak pro práškové kotle bude obtížné využití štěpky, ale drtě za určitých aerodynamických předpokladů využít lze.



evropský
sociální
fond v ČR



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Kotle –Specifika (spolu)spalování biomasy

Vlastní spoluspalování biomasy s uhlím:

- Spoluspalování:
 - Jedním ze zásadních rozdílů fosilního paliva a biomasy je většinou obsah prchavé hořlaviny. Vyšší podíl prchavé hořlaviny lze očekávat u biomasy. Se vzrůstajícím podílem prchavé hořlaviny dochází ke změně průběhu hoření. Hoření se posouvá vlivem prchavé hořlaviny mimo pevné palivo a mění se rychlost hoření, plamen je delší a chladnější vlivem různých teplot spalování plyných složek.
 - V případě spalování biopaliv s vlhkostí nad cca 45% (pozn. obvyklá vlhkost HU ČR cca 30 – 40%) dochází ke zvýšené spotřebě pro sušení biopaliva. Průvodní znak je opět chladnější plamen a obtížnější zápal paliva.
 - Se změnou paliva a vytvořením palivové směsi lze očekávat i změny v popelovinách a VEP. Absolutní produkce popelovin bude mít oproti uhlí klesající tendenci, případný obsah kovů v popelovinách biopaliva může vykazovat zvýšenou koncentraci jednotlivých prvků v popelovinách. Vyšší riziko je v případě spoluspalování agromasy. Nejčastěji se jedná o prvky Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Ti, V. V případě popelovin uhlí je nejčastější redistribuce do popelovin stejných prvků, základním prediktivním názorovým ukazatelem by mělo být porovnání rozboru paliva a poměr směsi.

Kotle –Specifika (spolu)spalování biomasy

Vlastní spoluspalování biomasy s uhlím:

- Spoluspalování:
 - I v případě spoluspalování je vhodné udržet názorovou střídmost. Popsané efekty spalování biomasy se uplatňují vždy, přesto platnost efektů získává na dominanci se zvyšujícím se poměrem spoluspalovaného biopaliva. Obecně, směsi s přidavkem biopaliva do 20% budou způsobovat nízké odlišnosti a jejich projev bývá zahrnut v konstrukci kotle rozptylem původního projektovaného paliva. Směsi v rozsahu 20% – 60% budou vyžadovat již zásahy určité zásahy do kotle a nastavení spalovacího procesu. Nad 60% je pro většinu případů nutné očekávat významné zásahy do spalovacího komory a procesu a výměníkových ploch.
- Emisní zátěž:
 - **SO₂** – Většinově nízký obsah síry v biomase (štěpka, agromasa) oproti uhlí způsobuje velmi nízké nebo minimální produkce SO₂. Přítomná síra častěji utváří sloučeniny H₂S. V případě spoluspalování je možné zaznamenat ovlivnění suchých odsiřovacích procesů viz dále.
 - **CO** – určující pro tvorbu je dokonalost spalování. Změna plamene z důvodů obsahu prchavých složek hořlaviny klade především nároky na dokonalé dohoření. V případě, že je plamen ochlazen předčasně oxidující CO vylučuje čistý uhlík (saze). Vhodný je přívod sekundárních případně terciálních vzduchů, dobrý monitoring spalovacího procesu a nadřazené způsoby regulace.

Kotle –Specifika (spolu)spalování biomasy

Vlastní spoluspalování biomasy s uhlím:

- Emisní zátěž:
 - **CO₂** – Obsah biomasy snižuje koncentraci CO₂ a oproti uhlí. V případě nastaveného procesu pro spalování uhlí je převážně zaznamenán vyšší přebytek vzduchu tj. zvýšení komínové ztráty a ochlazení plamene, které má opět vliv na tvorbu CO.
 - **NO_x** – Většinou nejpodstatnější emise z biopaliva. Dochází především k tvorbě palivových NO_x, přičemž biomasa obsahuje cca 0.5% až 2% palivového dusíku. Pro porovnání uhlí se obvykle pohybuje max. cca 0.5%. Vhodné potlačení je podstechiometrické spalování, nižší teploty spalování a dohořívací vzduchy. Použít je možné i sekundární metody redukce NO_x. Jejich aplikace může vytvářet dílčí specifické požadavky např. nevhodnost použití katalyzátorů při vyšších procentech spoluspalování slámy – zanášení sloučeninami draslíku.
 - **Kovy** – prakticky je možné rozdělit na dvě skupiny. První skupina jsou kovy které převážně přecházejí do plyných složek, druhá skupina jsou kovy které se neodpařují a zůstávají v popelovinách. Druhá skupina byla diskutována viz předešlý slide a z hlediska emisí může být obsažena v TZL. V první skupině lze očekávat především kovy As, Cd, Cu, Hg, Sb, Se, Sn, Pb a Zn, z nichž nejtekavější je Hg, Zn a Cd.

Kotle –Specifika (spolu)spalování biomasy

Vlastní spoluspalování biomasy s uhlím:

- Emisní zátěž:
 - **Chlor a chloridy** – Sloučeniny chlóru mohou negativně ovlivňovat životnost tlakových celků kotle tak životní prostředí. Vysoký podíl chlóru je očekávatelný především u biomasy dotované průmyslovými hnojivy a chemicky ošetřované. Z chlóru vzniká HCl která v kombinaci s kovy vytváří alkalické chloridy a přes další reakce dochází k urychlení koroze tlakových celků. Z hlediska emisí přítomnost chlóru při spalování podporuje vznik tzv. persistentních organických polutantů (POP) kam patří PAH (cca při 700°C), PCB, PCDD/PCDF (již v rozsahu 250 – 400°C). Pro vznik PCDD/PCDF spoluspalováním je významná přítomnost uhlíku (organického), kyslíku a chlóru. Význam přítomnosti chlóru roste především při hodnotách na 1% Cl v palivu. Katalytické účinky na vznik PCDD/PCDF má měď a její sloučeniny. Inicie vzniku PAH je podporována na tuhých malých částicích jako jsou např. saze. K tvorbě PAH dochází vlivem ochlazení a kondenzace na malých částicích. V případě spoluspalování biomasy může být iniciátorem tvorby PAH právě výrazně zvýšená vlhkost paliva v součinnosti s nedokonalým spalovacím procesem, dochází k poklesu teploty spalování. Nejzásadnější pro vznik resp. potlačení vzniku všech POP je kvalita (správnost) spalovacího procesu.

Kotle –Specifika (spolu)spalování biomasy

Tvorba a ovlivnění nápeků z biomasy.

- Biomasa obecně neobsahuje vysoký podíl popelovin, přesto jejich působení se obecně považuje za vysoce problematické jak z hlediska opotřebení materiálů, tak z hlediska nápeků popelovin – teplota spalování nad tavitelností popela – v podstatě vytvořené sklo. Materiál je tvrdý a pevně nalepen – tzn. při odstraňování je nutná výrazná opatrnost proti ppoškození zasažených částí, obvykle vyzdívky atd. Často při odstranění se odlupuje i část vyzdívek.
- Složení popelovin biomasy je velice citlivé na druh biomasy a v podstatě i místo jejího technologického zpracování. Velmi zkušení provozovatelé si dopředu dělají rozbor popelovin a na základě složení popelovin určují složení paliva, výrazně tak mohou ovlivnit periodu odstavení kotle. Nápeky jsou častěji z rostlinné biomasy.
- Pozn.: Jednotlivé druhy biomasy (bylo již zmíněno dříve) mají proměnný obsah chloru, který vysoce ovlivňuje životnost tlakových celků prostřednictvím korozního napadání ocelí.

Kotle –Specifika (spolu)spalování biomasy

Tvorba a ovlivnění nápeků z biomasy.

- Praktická ochrana vyzdívek před uvedeným jevem je vytvoření vhodné krycí vrstvy žárobetonevých vyzdívek, která sice nezabrání nápekům, ale vytvoří spolu s nápekem křehkou inkrustu, která umožní jednoduché odstranění.
- Praktická ochrana dalších částí, jako např. hořáků je v zmíněném cíleném mixu paliva a nebo v přidávání aditiv do paliva.
- Přední světové zkušenosti s problematikou má žlutická výtopna

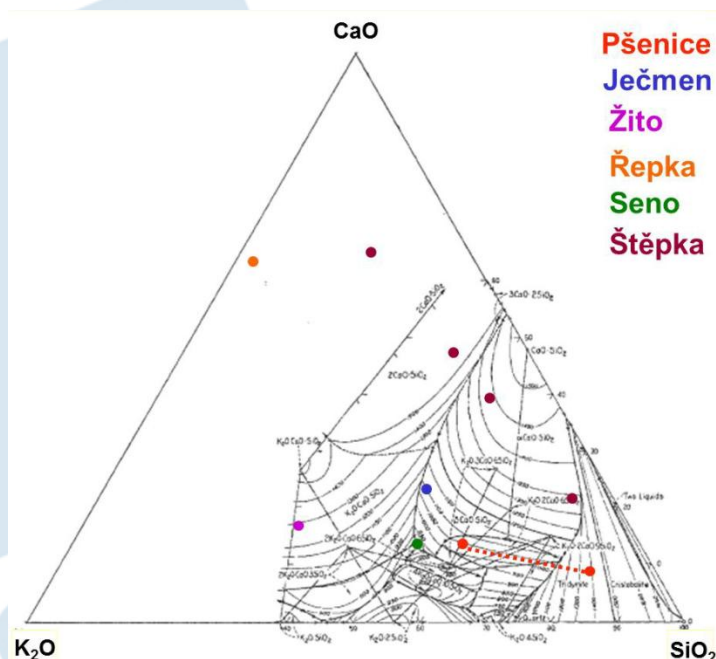


Kotle –Specifika (spolu)spalování biomasy

Tvorba a ovlivnění nápeků z biomasy.

Dominantními prvky pro ovlivnění tvorby nápeků jsou oxidy SiO_2 , CaO , K_2O . Křemíkový oxid je sklotvorný prvek a zbylé prvky ovlivňují viskozitu taveniny. Další důležité prvky ovlivňující charakteristiku taveniny jsou MgO a Al_2O_3 .

Fázový diagram



hmot. %	pšenice	ječmen	směs	štěpka
Na_2O	0,38	1,86	1,06	1,03
K_2O	19,72	24,90	11,41	5,04
MgO	3,42	1,78	4,41	3,42
CaO	16,18	15,05	30,71	15,59
MnO	0,14	0,04	0,12	1,15
Al_2O_3	2,57	1,54	3,66	12,74
Fe_2O_3	0,85	0,34	0,89	8,91
P_2O_5	2,23	3,13	3,28	1,38
TiO_2	0,16	0,06	0,15	2,8
SiO_2	54,05	49,41	43,9	47,39
Suma	99,70	98,11	99,59	99,45

Kotle –Specifika (spolu)spalování biomasy

Tvorba a ovlivnění nápeků z biomasy.

- Příklady nápekových struktur



Pšeničná sláma



Ječná sláma



Pšenično – řepková sláma



Štěpka s hlínou

Kotle –Specifika (spolu)spalování biomasy

Tvorba a ovlivnění nápeků z biomasy.

- Popeloviny s obsahem SiO_2 nad 40% a CaO nad 30% (slámy, borová štěpka) obsahují body tavení v rozsahu (eutektika) 720 až 1000°C. Teplota tavení roste s obsahem CaO při současně nízkém obsahu K_2O nebo SiO_2 .
- V případě že palivo neumožňuje dostatečnou změnu složení popelovin viz výše, je vhodné dbát na minimalizaci efektu nápeků (skelné fáze) tedy především ovlivňovat SiO_2 , které vždy vytvoří kompaktní vrstvy. Ovlivnění se realizuje změnou viskozity (velmi nízká nebo velmi vysoká)
- Vysoká viskozita zabraňuje především roztečení po žáruvzdorných plochách – pouze lokální nápeky. Zvyšuje se podílem SiO_2 a Al_2O_3 .
- Praktické závěry z provozu vykazují výhodnost použití aditiv s obsahem CaO – tedy výhodnější je snaha zvyšovat teplotu tavení.



evropský
sociální
fond v ČR



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Kotle –Specifika (spolu)spalování biomasy

Identifikace vlivu biomasy na suchou metodu odsíření při spoluspalování.

- Spoluspalování biomasy spolu s uhlím a suchou metodou odsíření může v některých případech ovlivnit efektivitu odsíření, případně i efekt úspory emisí z obnovitelných zdrojů.
- Účinnost a ekonomie suché metody odsíření (bez i s biomasou) je ovlivněna složením balastních látek (popelovin). Důležité jsou zejména oxidy křemíku, hliníku a železa které mohou způsobit tzv. zalepování povrchu vápence injektovaného do fluidního kotle a ovlivnit jeho reaktivitu.
- Prvotní intenzivní reakce zachytu SO_2 probíhají v okolí teplot 600°C , optimum reakce je v rozmezí $800 - 900^\circ\text{C}$. Teploty nad 1100°C nejsou vhodné z důvodů změn porézní struktury tzv. slínování (zmenšování, smršťování). Konverze vápence je dále závislá na době zdržení v optimálních teplotách.
- Oxidy popelovin, především $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$, uhlí nebo příměsi vápence mohou negativně ovlivňují proces odsíření. Ovlivnění je způsobeno reakcí oxidů (konverzí) CaO s Oxidy (produkty $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ atd), které již dále nereagují s SO_2 . Některé konverze již začínají na 400°C .

Kotle –Specifika (spolu)spalování biomasy

Identifikace vlivu biomasy na suchou metodu odsíření při spoluspalování.

- Rozsah ovlivnění konverze prvky popelovin je závislý na podílu jednotlivých složek popela, zrnitosti případně katalytických účincích dalších oxidů.
- Obecně, výše popsany efekt je možné zaznamenat u spoluspalování biomasy. Složení popelovin je rozdílné uhlí a v některých případech může ovlivnit významně stupeň konverze vápence.
- Příklady složení vybraných paliv a aditiv jsou uvedeny v tabulkách

Vzorek	Uhlí CC	Vápenec	S1	S2
Oxid	Obsah, % hm.			
Na ₂ O	0,94	0,06	0,15	0,92
MgO	0,87	1,66	13,33	5,87
Al ₂ O ₃	31,50	1,35	0,08	0,96
SiO ₂	53,60	1,68	1,61	2,40
P ₂ O ₅	0,21	0,06	48,67	2,64
SO ₃	0,63	0,01	0,11	1,28
K ₂ O	1,32	0,24	31,57	12,08
CaO	1,79	93,70	3,44	71,09
TiO ₂	2,41	0,05	-	0,07
Cr ₂ O ₃	0,05	-	-	-
MnO	0,03	0,08	0,36	1,35
Fe ₂ O ₃	6,32	0,54	0,35	0,43
CuO	0,01	-	0,03	0,03
ZnO	0,01	-	0,24	0,36
SrO	0,02	0,05	0,02	0,28

Parametr	Uhlí CC	Pelety S1	Pelety S2
	Obsah, % hm.		
W ^a	11,76	12,70	45,09
A ^d	17,41	4,55	0,86
V ^d	39,29	73,59	78,72
Q _s ^d [MJ.kg ⁻¹]	25,60	19,16	19,85
C ^d	60,36	46,36	48,38
H ^d	5,00	6,79	6,40
N ^d	0,95	3,14	0,14
S _t ^d	1,34	0,01	0,01

t - celkový obsah



evropský
sociální
fond v ČR



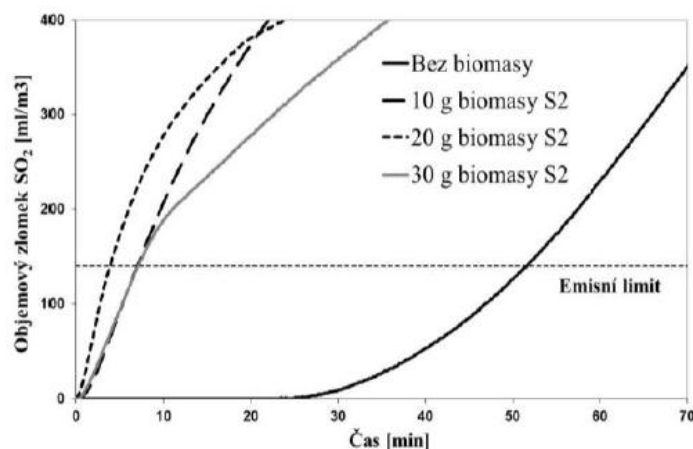
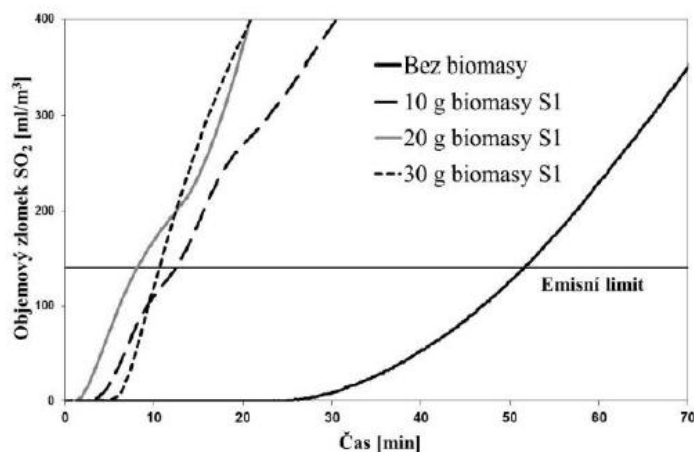
OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Kotle –Specifika (spolu)spalování biomasy

Identifikace vlivu biomasy na suchou metodu odsíření při spoluspalování.

- Tzv. doba průrazu je u směsí výrazně nižší než u reakce s čistým uhlím. Složky popelovin zapouzdřují volné CaO, které není v některých případech schopno nové aktivace vlivem otěru a tím zamezuje reakcím s SO₂.
- Některé popeloviny obsahují vysoký podíl P₂O₅, který ovlivňuje významným způsobem teplotu tavitelnosti směsí P₂O₅ (směrem dolů).



Kotle –Specifika (spolu)spalování biomasy

Identifikace vlivu biomasy na suchou metodu odsíření při spoluspalování.

- Uvedená specifika v podstatě zhoršují ekonomický efekt spoluspalování, dochází ke snížení účinnosti odsíření a tedy pro proces je nutné dodávka vyššího množství vápence. Ten v podstatě projde bez využití procesem a pouze zvýší podíl měrné emise CO₂.

Diskuze:

Je obnovitelný zdroj opravdu obnovitelný?

Jaké jsou zkušenosti s uhlím?



evropský
sociální
fond v ČR



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz