

# PATENTOVÝ SPIS

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2012-391**  
(22) Přihlášeno: **11.06.2012**  
(40) Zveřejněno: **04.09.2013**  
(Věstník č. 36/2013)  
(47) Uděleno: **24.07.2013**  
(24) Oznámení o udělení ve Věstníku: **04.09.2013**  
(Věstník č. 36/2013)

(11) Číslo dokumentu:

## 304 048

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:  
**G01N 27/02** (2006.01)  
**G01N 27/16** (2006.01)  
**G01K 7/16** (2006.01)

(56) Relevantní dokumenty:  
CZ 24033 U; JP 7174638 A; JP 2007285671 A1; JP 7333181 A.

(73) Majitel patentu:  
Vysoká škola chemicko - technologická v Praze, Praha 6, CZ  
VERNER a.s., Červený Kostelec, CZ  
Žlutická teplárenská, a.s., Žlutice, CZ

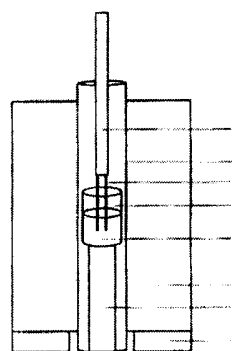
(72) Původce:  
Míka Martin Ing. Ph.D., Praha 10, CZ  
Voláková Pavlína Ing. Ph.D., Žlutice, CZ  
Verner Robert Vladimír Ing., Machov, CZ  
Verner Robert Ing., Malé Svatoňovice, CZ  
Klápště Břetislav Ing. CSc., Praha 8, CZ  
Jankovský Ondřej Ing., Praha 10, CZ

(74) Zástupce:  
Ing. Marie Smrčková, patentový zástupce, Velflíkova 10,  
Praha 6, 16000

(54) Název vynálezu:  
**Způsob stanovení eutektické a/nebo kritické  
teploty biomasového popela elektrickými  
prostředky a zařízení k tomuto stanovení**

(57) Anotace:  
U biomasového popela (3) se měří jeho komplexní elektrická impedance elektrodami (4), která se vyhodnocuje buď jako absolutní hodnota impedance a/nebo fázový úhel mezi vektorem elektrického napětí a vektorem elektrického proudu a/nebo jako reálná a/nebo imaginární složka impedance, a/nebo jako teplotní závislost první derivace absolutní hodnoty impedance podle teploty, v závislosti na zvyšující se teplotě a při dané frekvenci střídavého elektrického pole. Eutektická teplota vzniku první taveniny biomasového popela (3) se projeví odklonem od v podstatě lineárního průběhu teplotních závislostí měřených veličin impedance při zahřívání popela (3). Kritická teplota formování kritického množství taveniny popela (3) z biomasy se projeví prudkým poklesem průběhu teplotní závislosti měřených veličin impedance při zahřívání biomasového popela (3). Komplexní impedanci se měří mezi dvěma elektrodami (4) v závislosti na zvyšující se teplotě, s výhodou řízenou rychlostí. Popel (3) pro měření komplexní impedance se připraví spálením biomasy, následným rozcacením na částičky menší než 1 mm, s výhodou menších než 0,1 mm. Zařízení k provádění tohoto způsobu zahrnuje uzavřenou a tepelně odizolovanou měřicí píčku, s výhodou elektrickou odporovou, vybavenou prostředky pro kontinuální

ohřev biomasového popela (3), a mající uzavřený vyhřívaný prostor, s výhodou žáruvzdornou svisle orientovanou trubku (1) na obou koncích uzavřenou. V ní je umístěna žáruvzdorná měřicí nádoba s výhodou žáruvzdorný kelímek (2) s biomasovým popelem (3), do něhož jsou zasunuty elektrody (4) s výhodou dvě kovové elektrody (3), s výhodou zhotoveny Pt-Rh slitiny nebo z kanthalu, které jsou do píčky zavedeny ochranným žáruvzdorným pouzdem, s výhodou u dvojkapilárou (5) jsou napojeny na měřicí přístroj, generující střídavé elektrické pole k měření komplexní impedance biomasového popela (3) v závislosti na jeho teplotě. Žáruvzdorný kelímek (2) může být uložen na vratně suvném podstavci (6) v žáruvzdorné trubce (1), která je obklopená na bočních stěnách tepelně izolačním pláštěm (7), jehož dno je uloženo na žáruvzdorné podložce (8).



CZ 304048 B6

## Způsob stanovení eutektické a/nebo kritické teploty biomasového popela elektrickými prostředky a zařízení k tomuto stanovení

### 5 Oblast techniky

Vynález se týká způsobu stanovení eutektické a/nebo kritické teploty biomasového popela elektrickými prostředky, pomocí nichž se zjišťují teplota vzniku první taveniny a teplota formování kritického množství taveniny, která vytváří nežádoucí nápeky popela, vznikajícího jako zbytek při spalování biomasy. Nápeky se usazují na vnitřních exponovaných plochách zařízení na spalování biomasy.

Vynález se též týká zařízení k tomuto stanovení.

15

### Dosavadní stav techniky

Díky požadavkům na výrobu ekologické energie byla v posledních letech postavena řada spaloven, jejichž palivem je biomasa, a v nichž se spaluje, např. sláma z obilovin, energetické rostliny a dřevní štěpka atp.

20

Při spalování slámy a znečištěné hnědé štěpky dochází v hořácích ke vzniku nežádoucích nápeků, které představují velký problém pro kontinuální provoz spalovacího kotle. Vedle zapékání roštu hořáku způsobuje biomasový popel rovněž vznik vrstev nápeků v plamencové části kotlového výměníku tepla.

25

Pracovníci obsluhující kotle musí tyto nápeky velmi pracně mechanicky odstraňovat, a je tedy nutné jednotlivé kotle na delší dobu odstavit z provozu. Navíc, při této údržbě kotlů dochází k častému poškození povrchu žárobetonových dílů spalovacího kotle, jejichž opravy jsou velmi nákladné.

30

Prozatím neexistuje jednoduchá a vhodná přesná metoda na charakterizování spékání biomasového popela, na základě které by bylo možné rychle a jednoznačně odhadnout chování biomasy při spalování.

35

Dosud se tavitelnost popela určuje především u fosilních paliv dosti komplikovaným způsobem. U popela se určují jeho termoplastické vlastnosti. Dle normy ČSN ISO 540 se vzorek popela upraví do tvaru kužele, kvádrů nebo válečku. Jednotlivé teploty tavitelnosti popela se určují experimentálně v laboratořích. Norma ČSN ISO 540 definuje metodu pozorování změny tvaru kužele, válečku či kvádrů slisovaného z popela při zahřívání. Tavitelnost popela je podle této normy charakterizována čtyřmi teplotami, uvedenými dále:

40

DT – teplota deformace, kdy se zakulatí špička kužele  
např. uvádí se teplota deformace u popílku z uhlí je 1220 až 1270 °C, z buku 1170 °C;

45

ST – teplota měknutí, kdy se výška tělesa vyrovná jeho průměru,  
např. uvádí se teplota měknutí u popílku z uhlí je 1260 až 1450 °C, z buku 1190 °C;

HT – teplota tání, kdy se výška tělesa sníží na polovinu jeho průměru,  
např. uvádí se teplota tání u popílku z uhlí je 1360 až 1500 °C, z buku 1280 °C;

50

FT – teplota tečení, kdy se výška tělesa sníží na třetinu jeho průměru,  
např. uvádí se teplota tečení u popílku z uhlí 1480 až 1500 °C, z buku 1370 °C

Nevýhody stanovení tavitelnosti popílku touto metodou je, že se jedná v podstatě o metodu vizuálního pozorování, tedy metodu do velké míry subjektivní. Další nevýhodou může představovat velká prodleva mezi vznikem první taveniny a zjevným zaoblením hran, což závisí na mechanic-

kých vlastnostech soustavy popela a jeho taveniny. Je potřeba vzít v úvahu, že zde působí jak rychlost šíření teplotní vlny dovnitř tělíska, tak i rozdílné povrchové napětí a viskozita tavenin jednotlivých popílků.

5

### Podstata vynálezu

Uvedené nevýhody odstraní nebo podstatně omezí způsob stanovení eutektické a/nebo kritické teploty biomasového popela elektrickými prostředky, pomocí nichž se zjišťují teplota vzniku a teplota formování kritického množství taveniny, která vytváří nežádoucí nápeky popela, vznikajícího jako odpad při spalování biomasy, a které se usazují na vnitřních exponovaných plochách zařízení na spalování biomasy, podle tohoto vynálezu. Podstata tohoto vynálezu spočívá v tom, že u biomasového popela se měří jeho komplexní elektrická impedance mezi elektrodami, která se vyhodnocuje buď jako absolutní hodnota impedance a/nebo fázový úhel mezi vektorem elektrického napětí a vektorem elektrického proudu a/nebo jako reálná a/nebo imaginární složka impedance, a/nebo jako teplotní závislost první derivace absolutní hodnoty impedance podle teploty, v závislosti na zvyšující se teplotě a při dané frekvenci střídavého elektrického pole.

Eutektická teplota vzniku první taveniny biomasového popela se projeví odklonem od v podstatě lineárního průběhu teplotních závislostí měřených veličin při zahřívání biomasového popela.

Kritická teplota formování kritického množství taveniny biomasového popela se projeví prudkým poklesem průběhu teplotní závislosti měřených veličin při zahřívání biomasového popela.

Hlavní výhodou tohoto vynálezu je vyvinutí snadného a přesného stanovení počátku vzniku první taveniny biomasového popílku – eutektické teploty, a teploty formování kritického množství taveniny biomasového popílku – kritické teploty, objektivní metodou a zařízením. Výhodou způsobu podle tohoto vynálezu je stanovení eutektické a/nebo kritické teploty biomasového popela elektrickými prostředky pomocí sledování teplotní závislosti impedance, a objektivní, rychlé vyhodnocení a přesné odečtení měřených veličin. Elektrická impedance je komplexní veličina, popisující zdánlivý odpor měřeného biomasového popela a fázový posun napětí proti proudu při průchodu harmonického střídavého elektrického proudu dané frekvence. V tomto případě impedance charakterizuje vlastnosti biomasového popela pro střídavý proud. Předností tohoto způsobu je též okamžitý teplotní záznam měřených veličin, který je možno zpracovat do formy přehledných tabulek a grafů. Metoda podle tohoto vynálezu je vhodná pro analýzu spékání popelů všech druhů biomasy a slouží ke snadné a rychlé analýze chování popelů během spalování biomasy a stanovení optimálního technologického nastavení spalovacího procesu.

Eutektická teplota je nejnižší teplota vzniku první taveniny na částicích popela. Ve vznikající vrstvičce první taveniny mají ionty vyšší pohyblivost, než je jejich pohyblivost v pevném stavu, což se projeví odklonem od v podstatě lineárního průběhu teplotních závislostí měřených veličin komplexní impedance.

Kritická teplota představuje teplotu formování kritického množství taveniny, jež se projeví prudkou změnou od průběhu teplotní závislosti měřených hodnot komplexní impedance. Kritické množství taveniny je takový objemový podíl taveniny vůči pevné fázi, kdy tavenina propojí prostor mezi částicemi popela a vytvoří souvislou kapalnou fázi, která se tak snadno lepí na exponované vnitřní plochy spalovacího zařízení.

V elektrodovém zapojení se používají s výhodou dvě elektrody, pracovní elektroda a protielektroda, přičemž referenční elektroda je identická s protielektrodou.

Komplexní impedance se měří v závislosti na zvyšující se teplotě, s výhodou řízenou rychlostí, čímž je zabezpečena potřebná reprodukovatelnost. Popel z biomasy obsahuje alkalické ionty a

ionty alkalických zemin, jejichž pohyblivost ve střídavém elektrickém poli vzrůstá s rostoucí teplotou.

- 5 Absolutní hodnota impedance představuje druhou odmocninu ze součtu druhých mocnin reálné a imaginární složky impedance:

$$|Z| = \sqrt{Z_{\text{Re}}^2 + Z_{\text{Im}}^2} \quad (1)$$

10 kde  $|Z|$  [k $\Omega$ ] je absolutní hodnota impedance,

$Z_{\text{Re}}$  [k $\Omega$ ] je reálná složka impedance a

$Z_{\text{Im}}$  je imaginární složka impedance.

- 15 Tím charakterizuje odpor popela, jakožto pevné fáze nebo jeho taveniny, tj. kapalné fáze, vůči toku nabitých částic ve vkládaném střídavém elektrickém poli. Vložené střídavé elektrické pole dané frekvence těmito ionty pohybuje a odezva ve formě iontového proudu má průběh fázově posunutý o daný fázový úhel vůči vkládanému napětí.

- 20 Proto je komplexní impedance nejvhodnější elektrickou veličinou, charakterizující míru tohoto fázového posunu, kvantifikovaného fázovým úhlem mezi vektorem elektrického napětí a vektorem elektrického proudu, jež je závislý na teplotě.

- 25 Jiný způsob vyjádření těchto jevů představuje reálná a imaginární složka komplexní impedance. Reálná složka představuje ohmický odpor a imaginární složka představuje elektrické ztráty.

Dostatečně vysoká frekvence vkládaného střídavého elektrického pole zajišťuje potlačení polarizace elektrod, zejména při dvouelektrodovém zapojení měření impedance.

- 30 Je výhodné, když biomasový popel pro měření komplexní impedance se připraví spálením biomasy, následným rozdrčením na částičky menší než 1 mm, s výhodou menších než 0,1 mm. Malá velikost částic popela odpovídá velikosti částic popela, unášených spalinami ve skutečném zařízení na spalování biomasy a lépe simuluje předstup tepla během měření.

- 35 Způsob stanovení eutektické a/nebo kritické teploty biomasového popela elektrickými prostředky se provádí na zařízení podle tohoto vynálezu, jehož podstata spočívá v tom, že zahrnuje uzavřenou a tepelně odizolovanou měřicí píčku, vybavenou prostředky pro kontinuální ohřev biomasového popela, a mající vyhřívaný prostor, v níž je umístěna žáruvzdorná měřicí nádoba s biomasovým popelem, do něhož jsou zasunuty dvě elektrody, napojené na měřicí přístroj k měření komplexní impedance biomasového popela v závislosti na jeho teplotě.

- 40 Hlavní výhodou zařízení podle tohoto vynálezu je, že zajišťuje přesné nastavení teplot a jejich požadovaný průběh, např. pomocí neznázorněných termočlánků. Zařízení zabezpečuje dobře reprodukovatelné sledování teplotní závislosti veličin komplexní impedance. Předností zařízení je nenáročná konstrukce z ekonomicky výhodných dostupných komponent, zajišťující snadnost oprav.

- 50 Uzavřená tepelně odizolovaná píčka s malým vyhřívaným prostorem zajišťuje dostatečné množství homogenní teplotní pole pro přesné měření hodnot veličin impedance. Prostředky pro kontinuální ohřev mohou být především elektrické odporové, umožňující snadné řízení a regulaci teplot. Jiné způsoby ohřevu jsou též možné, ale v tomto případě by byly zbytečně komplikované či méně přesné.

Měřicí nádoba musí být dostatečně chemicky a tepelně odolná. Měřicí nádobou je s výhodou žáruvzdorný kelímek, např. korundový nebo porcelánový.

5 Do biomasového popela v měřicí nádobě jsou zasunuty elektrody, např. ve tvaru rovných pevných drátů, mající vysokou elektronovou vodivost a nepodléhající korozi při zvýšené teplotě. Elektrody mohou být i ploché, což představuje nižší proudovou hustotu, která může do jisté míry ovlivňovat přesnost měření při nízkých impedancích.

10 Měřicí přístroj musí generovat střídavé elektrické pole, s výhodou o harmonickém průběhu o dostatečně vysoké frekvenci a amplitudě.

15 Elektrody jsou z kovového materiálu odolného do teplot 1300 °C až 1400 °C, zhotovené z běžně používané Pt–Rh slitiny nebo z kanthalu. Elektrody mohou být vyrobeny též ze slitiny typu Inconel, což je austenická slitina na bázi Ni–Cr.

S výhodou je vyhříváný prostor vytvořen jako svisle orientovaná trubka z žáruvzdorného, např. korundového materiálu, teplotně odolného a mechanicky stabilního do 1500 °C.

20 Jsou do něj zasunuty, např. dvě elektrody, takže měření probíhá mezi pracovní elektrodou a protielektrodou. Elektrody jsou do pícky zavedeny ochranným žáruvzdorným pouzdrem, např. korundovou dvoukapilárou.

25 Vratně suvný podstavec pod kelímkem zajišťuje snadnou manipulaci s kelímkem před měřením a po jeho ukončení.

Tepelně izolační plášť a pod ním situovaná žáruvzdorná podložka zajišťují nízké tepelné ztráty do okolí.

#### Přehled výkresů

30 Vynález je podrobně popsán dále na příkladných provedeních, objasněných na připojených schematických výkresech.

Z nich představujeme

obr. 1 měřicí pícka ve svislém řezu s částečným axonometrickým znázorněním.

35 Dále, pro popel ze pšeničné slámy představuje

obr. 2 teplotní závislost absolutní hodnoty impedance a fázového úhlu,

obr. 3 teplotní závislost reálné a imaginární složky impedance a

obr. 4 teplotní závislost první derivace absolutní hodnoty impedance podle teploty.

Pro nadzemní část energetické rostliny *Miscanthus Giganteus* představuje

40 obr. 5 teplotní závislost absolutní hodnoty impedance a

obr. 6 teplotní závislost první derivace absolutní hodnoty impedance podle teploty.

#### Příklady provedení vynálezu

45

Příklad 1  
(Obr. 1)

50 Pro zjištění příčiny vzniku nežádoucích vrstev skelných a skelně krystalických nápeků a biomasového popela, byl proveden chemický rozbor 150 těchto nežádoucích nápeků a biomasového

popela rentgenovou fluorescenční analýzou (XRF), byl vyvinut způsob stanovení eutektické a/nebo kritické teploty biomasového popela a bylo sestaveno zařízení k tomuto stanovení v Ústavu skla a keramiky VŠCHT (Vysoké školy chemicko-technologické), Praha.

5 Na obrázku 1 je znázorněno zařízení podle tohoto vynálezu, jehož podstatnou částí je uzavřená a tepelně odizolovaná měřicí pícka, vybavená neznázorněným kanthalovým odporovým vinutím pro kontinuální ohřev až do teploty 1300 °C. Žárovzdorná svisle orientovaná trubka 1 z korundového materiálu se dnem a odnímatelným víčkem z korundového materiálu vytváří vyhřívaný prostor pícky. Uvnitř vyhřívaného prostoru je umístěn žáruvzdorný porcelánový kelímek 2 pro  
10 biomasový popel 3 do něhož jsou zasunuty Pt–Rh drátové elektrody 4, které jsou nad kelímkem 2 uloženy v ochranné korundové dvoukapiláře 5, v níž jsou vyvedeny vně ochranné pícky a napojeny na neznázorněný měřicí přístroj. Kelímek 2 je uložen na vratně suvném postavci 6. Žárovzdorná trubka 1 je obklopena na bočních stěnách izolačním pláštěm 7, jehož dno je uloženo na žáruvzdorné podložce 8.

15 Tím, že bude u biomasového popela 3 stanovena eutektická a/nebo kritická teplota, bude možné určit, do jaké míry je daná biomasa vhodná pro přímé spalování.

20 Pro získání vzorku čistého popela 3 byl vytvořen laboratorní postup řízeného spalování. Palivo – biomasa bylo spáleno ve velkém korundovém kelímku ve speciálně konstruované spalovací kanthalové píce dle předem stanoveného teplotního programu. Poté byl získaný popel 3 rozetřen na drobnou homogenní směs pod 1 mm, s výhodou pod 0,1 mm.

25 U takto získané směsi popela 3 byla stanovována eutektická teplota a kritická teplota. U biomasového popela 3 byla měřena jeho komplexní elektrická impedance elektrodami 4 jako absolutní hodnota impedance a/nebo fázový úhel mezi vektorem elektrického napětí a vektorem elektrického proudu a/nebo jako reálná a/nebo imaginární složka impedance, v závislosti na zvyšující se teplotě a při dané frekvenci střídavého elektrického pole. Jakmile dojde ke vzniku kritického množství taveniny z biomasového popela 3, tavenina vzájemně propojí elektrody 4, a hodnoty  
30 měřené impedance prudce poklesnou. Měření impedance citlivě a okamžitě reaguje na vznik taveniny v celém objemu zahřívaného biomasového popela 3 bez významného vlivu povrchového napětí a viskozity.

35 Eutektická teplota a/nebo kritická teplota se zjistí orientačně ihned během měření biomasového popela 3 při jeho zahřívání. Eutektická teplota se projeví jako odklon od v podstatě lineárního průběhu teplotních závislostí měřených veličin impedance. Kritická teplota se projeví prudkým poklesem průběhu teplotních závislostí měřených veličin impedance.

40 Přesněji lze stanovení eutektické a/nebo kritické teploty provádět tak, že se naměřené teploty a naměřené a vypočtené veličiny impedancí vynesou do tabulek nebo grafů, v nichž jsou změny příslušných veličin impedancí markantnější. Vyhodnocení eutektické teploty a/nebo kritické teploty se provádí vyhodnocením metodou tečen.

45 Tato měření a jejich vyhodnocení umožňuje rozhodnutí nebo doporučení, zda je možné biomasu přímo spalovat. V případě, že eutektická a zejména kritická teplota biomasového popela 3 je nižší než teplota ve spalovacím kotli, hrozí rizika nápeků. Pokud jsou eutektická, a zejména kritická teplota, nižší než je teplota ve spalovacím zařízení, potom je nutno provést technologická opatření, např. spalování různých druhů biomasy či jejich směsí, přidání aditiv nebo použití zvláštní ochranné separační vrstvy.

50 Příklad 2  
(Obr. 2, 3, 4)

Žlutická teplárenská a.s., Žlutice má instalovanou výtopnu, v níž se již přes 10 let spaluje dřevní a rostlinná biomasa, zejména dřevní štěpka a obilná sláma, ve spalovacích zřízení pro biomasu s

roštovým spalovacím kotlem společnosti VERNER, a.s., Červený Kostelec. Při spalování slámy z obilovin, z energetických rostlin, případně z dřevní štěpky, docházelo ve spalovacích kotlích ke vzniku nežádoucích nápeků, které představovaly velký problém pro kontinuální provoz tohoto spalovacího zařízení. Vedle zapékání roštu hořáku způsoboval popel z tohoto biomasového pali-  
 5 va rovněž vznik těchto nežádoucích nápeků a vrstev v plamencové části kotlového výměníku tepla. Vrstvy nápeků vznikaly ze snadno tavitelných nízkoviskózních tavenin biomasového popela o nízké eutektické teplotě, např. kolem 600 až 700 °C. Bylo překvapivě zjištěno, že tato nízkoviskózní tavenina je často sklotvorná, dobře smáčí celý povrch dna vyzdívky a snadno reaguje s žáruvzdorným materiálem vyzdívky. Na tuto taveninu se snadno nalepují anorganické  
 10 nečistoty ze slámy i dřevní štěpky, jako je hlína a kaménky. Nízkoviskózní taveniny z biomasového popela a snadno zatékají do spár a pórů žáruvzdorné keramiky vyzdívky a po čase se s ní velmi pevně spojí. Nízkoviskózní tavenina z biomasového popela, chemicky reagující s žáruvzdorným povrchem vyzdívky vytváří kompaktní vrstvu velmi často sklovité povahy, od povrchu žáruvzdorné vyzdívky prakticky neoddělitelnou. Během provozu tak docházelo k postupnému  
 15 zanášení prostoru spalovacího kotle, a tím se snižoval prostup tepla na teplosměnných plochách, což vedlo k poklesu jeho účinnosti. Za účelem odstranění těchto vrstev, které, jak se neočekávaně ukázalo, jsou skelné a skelně krystalické nápeky, se vždy muselo celé zařízení po čase odstavit z provozu a nechat zchladnout. Poté se musely tyto nápeky o tloušťce 10 až 15 cm velmi pracně  
 20 mechanicky odstraňovat vysekáním za použití pneumatických kladiv, což představovalo velké riziko pracovního úrazu. Současně s nápeky se vždy odloupla i přilepená žáruvzdorná vyzdívka, běžně v tloušťce minimálně 5 mm. Po několika takových odstávkách docházelo k narušení celistvosti a nežádoucímu ztenčení keramické žáruvzdorné vyzdívky, která se pak musela vyměnit. Takováto výměna keramického žáromateriálu vyzdívky vždy představuje významné vícenáklady.

Vznik nápeků tedy představoval závažné provozní komplikace. Proto bylo cílem zaměřit se na nalezení příčin a způsobu, jak zabránit zmíněnému napékání popela. Za tímto účelem byly systematicky sledovány pracovní cykly spalovacích kotlů, shromažďovány vzorky popela a nánosů z problematických zón kotlů. Byla hledána cesta k zamezení či omezení vzniku nápeků. Pro zjištění příčiny vzniku těchto vrstev nežádoucích nápeků byl proveden jejich chemický rozbor rentgenovou fluorescenční analýzou (XRF) a byla měřena eutektická teplota a kritická teplota vzniku jejich nízkoviskózní taveniny.

Tabulka 1

Chemické složení skelných a skelně krystalických vrstev nápeků v plamencové části výměníku kotle, získaných při spalování pšeničné slámy přímo z provozu.

Složky nápeků z pšeničné slámy	Hmot. % složek
Na <sub>2</sub> O	0,4
K <sub>2</sub> O	20,1
MgO	3,0
CaO	15,8
MnO	0,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,5
TiO <sub>2</sub>	0,2
SiO <sub>2</sub>	54,8
Suma	100,0

V Tabulce 1 představuje chemická analýza průměr z mnoha vzorků nápeků pšeničné slámy přímo z provozu.

5 Z Tabulky 1 je patrné, že vrstvy nápeků z pšeničné slámy mají poměrně vysoký obsah oxidů  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  a  $\text{K}_2\text{O}$ . Tyto oxidy velmi snadno vytvářejí sklo, ve kterém  $\text{SiO}_2$  hraje významnou roli sklotvorného oxidu a zvyšuje viskozitu taveniny; oxidy  $\text{CaO}$  a  $\text{K}_2\text{O}$  pak snižují viskozitu vzniklé sklotvorné taveniny. Též  $\text{P}_2\text{O}_5$  snadno vytváří sklo. Zbývající oxidy jsou v křemičitém skle rozpustné a většinou napomáhají jeho vzniku.

10 Následovně byly provedeny analýzy biomasového popela vznikajícího při spalování pšeničné slámy spalované v laboratoři. Pro získání biomasového popela byl vytvořen následující laboratorní postup řízeného spalování. Biomasa o hmotnosti přibližně 200 g byla spalována v korundovém kelímku ve speciálně zkonstruované elektrické peci s odporovým kanthalovým vinutím. Teplota uvnitř spalovacího prostoru byla měřena PtRh termočlánkem a řízena přesným programovatelným regulátorem. Maximální dosahovaná teplota při spalování byla 1200 °C. Získaný  
15 popel v pevném stavu byl analyzován rentgenovou fluorescenční analýzou (XRF).

20 Tabulka 2

Příklady chemického složení popela vzniklého spálením jednoho druhu pšeničné slámy v laboratoři:

Složky popela z pšeničné slámy	Hmot. % složek
$\text{Na}_2\text{O}$	0,4
$\text{K}_2\text{O}$	10,4
$\text{MgO}$	2,3
$\text{CaO}$	6,1
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,7
$\text{P}_2\text{O}_5$	1,5
$\text{SiO}_2$	78,6
Suma	100,0

25 Z Tabulky 2 je zřejmé, že obsahu  $\text{SiO}_2$  může dosahovat až téměř 80 hmotn.% a významný je tak obsah  $\text{K}_2\text{O}$  a  $\text{CaO}$ .

30 Dále bylo ověřeno, že pevnost spojení ztuhlé taveniny skelného charakteru se žáruvzdorným materiálem souvisí s chemickým složením popela, který ovlivňuje vznik nízkotavitelných eutektik.

35 Spalováním biomasy často vzniká nízkotavitelný popílek o eutektické teplotě, tj. při teplotě vzniku první taveniny, která je mnohdy nižší, než je teplota spalovacího prostoru a povrchu žáruvzdorné vyzdívky.

Při měření a stanovení eutektické a kritické teploty biomasového popela z pšeničné slámy bylo postupováno podle v příkladu 1, s tím, že byly na měřicím přístroji podrobně sledovány a vypočteny poté následující hodnoty, kde:

40  $T$  [°C] – teplota,  
 $|Z|$  [k $\Omega$ ] – absolutní hodnota impedance,

$\Phi$  [°C] – fázový úhel,  
 $Z_{Re}$  [k $\Omega$ ] – reálná složka impedance,  
 $Z_{Im}$  [k $\Omega$ ] – imaginární složka impedance a  
 $d|Z|/dT$  [k $\Omega$ . °C<sup>-1</sup>] – první derivace absolutní hodnoty impedance.

5

Naměřené a vypočtené hodnoty těchto veličin, pro jeden druh pšeničné slámy s chemickou analýzou v Tabulce 2, jsou uvedeny a zpracovány do následující Tabulky 3.

10

Hodnoty veličin, uvedených v Tabulce 3, byly dále názorně zpracovány do závislostí, uvedených na obr. 2, 3 a 4.

Tabulka 3

Teplotní závislost naměřených a vypočtených hodnot impedancí u pšeničné slámy o chemickém složení dle Tabulky 2:

$T$ [°C]	$ Z $ [k $\Omega$ ]	$-\phi$ [°C]	$Z_{Re}$ [k $\Omega$ ]	$-Z_{Im}$ [k $\Omega$ ]	$d Z /dT$ [k $\Omega$ ·°C <sup>-1</sup> ]
202	165	87	8,6	164,8	-0,006
282	165	87	8,6	164,8	0,000
353	165	87	8,6	164,8	-0,008
415	164	87	10,0	163,7	-0,009
470	164	86	11,4	163,6	-0,010
520	163	84	17,0	162,1	-0,017
530	163	84	17,0	162,1	0,000
539	163	83	19,3	161,9	-0,026
549	163	82	22,6	160,9	-0,052
558	162	82	23,1	160,3	-0,078
568	161	80	28,0	158,6	-0,091
580	160	78	33,3	156,5	-0,121
593	158	76	38,2	153,3	-0,161
605	156	73	45,6	149,2	-0,202
618	153	70	52,3	143,8	-0,323
630	148	66	60,2	135,2	-0,479
634	145	61	70,3	126,8	-0,698
639	142	60	71,0	123,0	-0,698
643	139	58	73,7	117,9	-0,465
647	138	56	77,2	114,4	-0,465
652	135	55	77,4	110,6	-0,465
656	134	54	78,8	108,4	-0,349
660	132	52	81,3	104,0	-0,581
664	129	50	82,9	98,8	-0,698
669	126	49	82,7	95,1	-0,698
673	123	48	82,3	91,4	-0,889
678	118	45	83,4	83,4	-1,170
682	112	43	81,9	76,4	-0,957
687	109	41	82,3	71,5	-0,638
692	106	40	81,2	68,1	-0,745
697	102	38	80,4	62,8	-0,957
701	97	37	77,5	58,4	-1,064
706	92	35	75,4	52,8	-0,851
711	89	33	74,6	48,5	-0,851
715	84	31	72,0	43,3	-1,064
720	79	28	69,8	37,1	-1,158
725	73	26	65,6	32,0	-1,146
730	68	25	61,7	28,7	-1,146
734	62	23	57,0	24,5	-1,146
739	57	22	53,0	21,0	-1,250
744	50	20	47,0	17,1	-1,563
749	42	19	39,8	13,3	-1,250
754	38	17	36,3	11,2	-0,729
758	35	16	33,7	9,5	-0,521
763	33	14	32,0	8,2	-0,417
768	31	13	30,2	7,1	-0,408
773	29	12	28,4	6,1	-0,400
778	27	11	26,5	5,2	-0,400
783	25	10	24,6	4,4	-0,400
788	23	9	22,7	3,7	-0,400
793	21	8	20,8	3,1	-0,400

$T$ [°C]	$ Z $ [kΩ]	$-\Phi$ [°C]	$Z_{Re}$ [kΩ]	$-Z_{Im}$ [kΩ]	$d Z /dT$ [kΩ·°C <sup>-1</sup> ]
798	19	8	18,8	2,5	-0,300
803	18	7	17,9	2,2	-0,300
808	16	6	15,9	1,8	-0,300
813	15	6	14,9	1,5	-0,100
818	15	5	14,9	1,3	-0,097
823	14	5	13,9	1,2	-0,189
829	13	4	13,0	0,9	-0,189
834	12	4	12,0	0,8	-0,189
839	11	4	11,0	0,8	-0,094
845	11	4	11,0	0,8	-0,094
850	10	4	10,0	0,7	-0,189

Absolutní hodnota impedance  $|Z|$  a/nebo absolutní hodnota fázového úhlu  $\Phi$  a/nebo záporná imaginární složka impedance  $-Z_{Im}$  se vzrůstající teplotou  $T$  nejprve zůstávají prakticky konstantní nebo vykazují mírný pokles, a při teplotě vzniku a formování první taveniny biomassového popela 3 dochází k jejich prudké změně. Reálná složka impedance  $Z_R$  se vzrůstající teplotou  $T$  též nejprve zůstává prakticky konstantní nebo vykazuje mírný nárůst, a při teplotě vzniku a formování první taveniny biomassového popela 3 dochází k její prudké změně. Po přeměně veškerého pevného biomassového popela 3 v taveninu zůstávají tyto hodnoty buď opět konstantní nebo se velmi mírně mění, což značí vymizení pevné fáze popela 3, a zůstává pouze jeho tekutá fáze – tavenina popela 3.

Ze závislosti vzrůstají teploty  $T$  biomassového popela 3 na naměřené absolutní hodnotě impedance  $|Z|$  a/nebo na hodnotě fázového úhlu  $\Phi$  a/nebo na reálné složce impedance  $Z_R$  a/nebo na záporné imaginární složce impedance  $-Z_{Im}$  a/nebo na první derivaci absolutní hodnoty impedance podle teploty  $d|Z|/dT$  se určí eutektická teplota  $T_E$  a/nebo kritická teplota  $T_K$  odpovídající eutektické teplotě biomassového popela 3.

Na obrázku 2 jsou znázorněny dvě křivky. Horní křivka znázorňuje teplotní závislost absolutní hodnoty impedance  $|Z|$  v kΩ. Dolní křivka znázorňuje teplotní závislost záporného fázového úhlu  $-\Phi$  ve °C.

Na dolní křivce obrázku 2 teplotní závislosti záporného fázového úhlu  $-\Phi$  ve °C, představuje signální teplota  $T_s$ , odpovídající teplotě 470 °C, stav, kdy začíná uvolňování struktury pevné látky popela z pšeničné slámy, což se projevuje prvním odkloněním křivky od lineárního průběhu. Tato signální teplota  $T_s$  indikuje, že při co nejbližší vyšší teplotě dojde ke vzniku první eutektické taveniny.

Na horní křivce obrázku 2 teplotní závislosti absolutní hodnoty impedance  $|Z|$  představuje teplota  $Z_E$  eutektickou teplotu 549 °C, při níž nastává vznik eutektické taveniny. Teplota  $Z_E$  se odečte z tohoto grafu jako průsečík lineární části křivky a prvního odklonu od ní.

Teplota  $T_K$ , která je průsečíkem dvou v podstatě lineárních větví křivky, představuje určitou kritickou teplotu  $T_K$ , odpovídající 630 °C, při níž nastane vznik významného kritického množství biomassové taveniny ze pšeničné slámy, při kterém již nastává vznik nežádoucích nápeků.

Odečtení teplot  $T_s$ ,  $T_K$ ,  $T_E$  na těchto křivkách představuje relativně rychlé a poměrně přesné vyhodnocení.

Obrázek 3 představuje jiný způsob vyjádření průběhu impedance pomocí její reálné a imaginární složky. Křivka v dolní části obrázku 3 představuje teplotní závislost reálné složky impedance  $Z_{Re}$  v kΩ. Křivka v horní části obrázku 3 představuje teplotní závislost záporné imaginární složky impedance  $-Z_{Im}$  v kΩ. Na obou křivkách lze odečíst eutektickou teplotu  $T_E$ .

V případě reálné složky impedance  $Z_{Re}$  se jedná o průsečík prodloužených, v podstatě lineárních větví této křivky, odpovídající teplotě  $T_E$  539 °C. V případě záporné imaginární složky impedance  $-Z_{Im}$  se jedná o první odklon od lineárního průběhu, odpovídající teplotě 530 °C. Na křivce se imaginární složky impedance  $-Z_{Im}$  lze také navíc odečíst kritickou teplotu  $T_K$ , jako průsečík obou lineárních větví této křivky, který odpovídá teplotě 605 °C.

Obrázek 4 představuje teplotní závislost první derivace absolutní hodnoty impedance  $d|Z|/dT$ , vyjádřenou v  $k\Omega \cdot ^\circ C^{-1}$  podle teploty  $T$  ve °C pro pšeničnou slámu. První odklon derivace této křivky od lineárního průběhu představuje teplotu signální  $T_s$ , která indikuje, že se blíží eutektická teplota  $T_E$ . Eutektická teplota  $T_E$  se určí jako průsečík lineární větve křivky s téměř konstantní hodnotou derivace blízkou nule a první lineární větve klesající křivky. Odečtena eutektická teplota  $T_E$  odpovídá 530 °C. Kritická teplota  $T_K$  představuje průsečík prodloužené lineární větve křivky s téměř konstantní hodnotou derivace blízkou nule a druhé lineární části klesající křivky. Odečtená kritická teplota  $T_K$  odpovídá hodnotě 605 °C.

Vyhodnocení odečtených teplot  $T_s$ ,  $T_K$ ,  $T_E$  pomocí vyhodnocení teplotních závislostí absolutní hodnoty impedance  $|Z|$  a/nebo fázového úhlu  $\Phi$  dává poměrně velmi dobré výsledky. Přesnější výsledky teplot  $T_s$ ,  $T_K$ ,  $T_E$  se dosahují pomocí vyhodnocení teplotní závislosti.

Toto vyhodnocení bylo prováděno i pro jiné druhy obilné slámy a dřevní štěpky, jak ze skelných a skelně krystalických nápeků přímo z provozu, tak spálením příslušné obilné slámy či dřevní štěpky v laboratoři. Měření se ukázalo jako velmi účinné, při požadavku rychlosti a objektivity velmi rychlé a spolehlivé.

Bylo doporučeno, aby se tato vyhodnocení prováděla pro jednotlivé druhy biomasy, slámy z obilovin a dřevní štěpky, při každém větším objemu spalované biomasy, např. z jednoho daného pole či určité oblasti. Podle dosud prováděných vyhodnocení bylo zjištěno, že např. u obilné slámy se tyto sledované teploty značně liší, např. podle jednotlivých let. Např. při větším počtu srážek se může chemické složení u slámy z obilovin lišit až v jednotkách či desítkách hmotn. %, např. u obsahu alkalických oxidů.

Pokud se týká slámky z obilovina dřevní štěpky, bylo zjištěno, že skelné nebo skelně krystalické nápeky netvoří výjimečně sláma z řepky a dřevní štěpky z neznečištěné borovice nebo smrku, které obsahují minimum  $SiO_2$  a málo  $K_2O$ .

### Příklad 3 (Obr. 5, 6)

Spalování biomasy, konkrétně ze slámy z obilovin, dřevní štěpky a energetických rostlin může přinášet i velký ekologický přínos při využití ve vytopeních, protože škodlivý odpad ve srovnání s topením uhlí, je minimální. Přesto, v současné době výtopny spalující rostlinnou a dřevní biomasu, pociťují nedostatek těchto surovin, a též jejich vzrůstající cenu. Tento problém v poslední době řeší výtopny vlastním pěstováním biomasy. Z energetických rostlin si vybraly např. rostlinu *Miscanthus Giganteus*, u níž byly provedeny jak chemická analýza, tak kontrola eutektické teploty a kritické teploty jejího biomasového popela 3.

Popel 3 z rostliny *Miscanthus Giganteus* byl připraven v laboratoři následným postupem. Nadzemní část energetické plodiny *Miscanthus Giganteus* o hmotnosti přibližně 200 g byla spálena v neznázorněném korundovém kelímku v neznázorněné speciálně zkonstruované elektrické peci s odporovým kanthalovým vinutím. Teplota uvnitř spalovacího prostoru byla měřena PtRh termočlánekem a řízena přesným programovatelným regulátorem. Maximální dosahovaná teplota při spalování byla 1200 °C. Po dokončení celého teplotního procesu byla vysypána sypká část popela. Spečená část takto získaného biomasového popela 3 byla z kelímku odstraněna mechanicky a

smíchána se zbylou sypkou částí popela 3. U takto získaného popela 3 byla provedena kontrolní chemická analýza, uvedená v následující Tabulce 4.

5 Tabulka 4

Příklady chemického složení popela vzniklého spálením nadzemní části rostliny *Miscanthus Giganteus* v laboratoři:

Složky popela	Hmot. % popela z <i>Miscanthus Giganteus</i>
Na <sub>2</sub> O	0,5
K <sub>2</sub> O	15,8
MgO	5,5
CaO	8,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5,2
SiO <sub>2</sub>	58,5
Suma	100,0

10

Z chemické analýzy popela 3 z potenciální energetické rostliny *Miscanthus Giganteus* je zřejmý vysoký obsah sklotvorného SiO<sub>2</sub>, téměř 60 hmotn. % a nezanedbatelný obsah též sklotvorného P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kolem 5 hmotn. %. Též relativně vysoký je obsah oxidu alkalického kovu K<sub>2</sub>O kolem 16 hmotn. %.

15

Takto získaná směs popela rozetřena v achátové misce po dobu 15 minut do získání částic popela cca pod 0,1 mm, a poté bylo provedeno měření impedance na zařízení podle tohoto vynálezu, uvedeného v příkladu 1. Impedance byla naměřena v zařízení podle tohoto vynálezu.

20

Pevná směs popela 3 byla zahřívána konstantní rychlostí 3 °C za minutu. Hodnoty impedance při frekvenci 1kHz byly měřeny PtRh elektrodami 4 zasunutými do popela 3.

25

Odečtené a vypočtené hodnoty teplotní závislosti absolutní hodnoty impedance  $|Z|$  v kΩ, a teplotní závislosti první derivace absolutní hodnoty impedance na teplotě  $d|Z|/dT$  vyjádřené v kΩ.°C<sup>-1</sup> jsou uvedeny v následující tabulce 5.

30

Tabulka 5

Naměřené a vypočtené hodnoty absolutní hodnoty impedance  $|Z|$  a teplotní závislosti první derivace absolutní hodnoty impedance  $d|Z|/dT$  na teplotě  $T$  pro popel z rostliny *Miscanthus Giganteus*:

$T$ [°C]	$ Z $ [kΩ]	$d Z /dT$ [kΩ.°C <sup>-1</sup> ]
22	163	0,000
25	163	0,000
67	163	0,000
146	163	0,000
238	163	0,000
322	163	0,000
400	163	0,000

$T$ [°C]	$ Z $ [kΩ]	$d Z /dT$ [kΩ.°C <sup>-1</sup> ]
457	163	0,000
513	163	0,000
563	163	0,000
615	163	0,000
637	163	0,000
662	163	-0,033
698	161	-0,145
717	15	-0,359
737	147	-0,444
762	135	-0,500
783	124	-0,556
807	110	-0,609
829	96	-0,622
852	82	-0,609
875	68	-0,574
899	55	-0,574
922	41	-0,532
946	30	-0,442
965	22	-0,307
990	16	-0,192
1016	12,2	-0,148
1038	9,4	-0,090
1064	7,9	-0,066
1082	6,5	-0,074
1103	5	-0,060
1127	3,8	-0,047
1150	2,8	-0,048
1167	1,9	-0,040
1190	1,2	-0,032
1214	0,4	-0,033

Z hodnot v Tabulce 5 je zřejmé, kdy nastává eutektická teplota  $T_E$  a kdy kritická teplota  $T_K$ . Pro větší názornost byly tyto hodnoty zpracovány graficky a jsou vyobrazeny na obrázcích 5 a6.

5

Na obrázku 5, znázorňujícím teplotní závislost absolutní hodnoty impedance  $|Z|$  představuje teplota  $T_E$  eutektickou teplotu 662 °C, při níž nastává vznik eutektické taveniny. Eutektická teplota  $T_E$  se odečte z tohoto grafu jako průsečík lineární části křivky a prvního odklonu od ní.

10 Teplota  $T_K$ , která je průsečíkem dvou v podstatě lineárních větví křivky, představuje určitou kritickou teplotu  $T_K$ , odpovídající 717 °C, jež představuje významné kritické množství biomasové taveniny z nadzemní části rostliny *Miscanthus giganteus*, při níž může nastávat vznik nežádoucích nápeků.

15 Odečtení těchto teplot  $T_K$ ,  $T_E$  z této závislosti představuje poměrně rychlé a přesné hodnocení.

Na obrázku 6 je zpracována teplotní závislost první derivace absolutní hodnoty impedance  $d|Z|/dT$  vyjádřená v kΩ.°C<sup>-1</sup> podle teploty  $T$  ve °C pro popel z nadzemní části rostliny *Miscanthus Giganteus*. První odklon derivace této křivky od lineárního vodorovného průběhu představuje určitou signální teplotu  $T_s$ , odpovídající teplotě 637 °C, která indikuje, že se blíží eutektická teplota  $T_E$ . Eutektická teplota  $T_E$  se určí jako průsečík lineární větve křivky blízké nulové hodnotě a první lineární větve klesající křivky první derivace. Eutektická hodnota  $T_E$  odpovídá 662 °C před-

20

stavuje průsečík lineární větve křivky blízké nulové hodnotě a druhé lineární části klesající křivky první derivace. Kritická teplota  $T_K$  odpovídá hodnotě 698 °C.

5 Odečtené teploty  $T_s$ ,  $T_K$ ,  $T_E$  pomocí vyhodnocení teplotní závislosti první derivace absolutní hodnoty impedance  $d|Z|/dT$  na teplotě, jsou v důsledku vyšší citlivosti vyhodnocování přesnější na přítomnost taveniny popela.

10 Srovnáním odečtených hodnot kritické teploty  $T_K$  a eutektické teploty  $T_E$  z obrázku 5 a 6, je zřejmé, že jsou tyto hodnoty v podstatě shodné, jak vyhodnocením teplotní závislosti absolutní hodnoty impedance  $|Z|$ , tak vyhodnocením vyhodnocení teplotní závislosti první derivace absolutní hodnoty impedance  $d|Z|/dT$  na teplotě.

### 15 Průmyslová využitelnost

Řešení je určeno pro měření eutektické teploty  $T_E$  a/nebo kritické teploty  $T_K$  biomasového popela pomocí měření komplexní impedance biomasového popela v závislosti na teplotě.

20 I když uvedený způsob stanovení eutektické teploty  $T_E$  a/nebo kritické teploty  $T_K$  byl stanoven a vyhodnocen pro rostlinnou a dřevní biomasu, je zřejmé, že tento způsob a zařízení lze aplikovat na jakékoliv popely získané biomasy.

25

## P A T E N T O V É   N Á R O K Y

30 1. Způsob stanovení eutektické a/nebo kritické teploty biomasového popela elektrickými prostředky, pomocí nichž se zjišťují teploty vzniku taveniny a teplota formování kritického množství taveniny, která vytváří nežádoucí nápeky z biomasového popela, vznikajícího jako odpad při spalování biomasy, a které se usazují na vnitřních exponovaných plochách zařízení na spalování biomasy, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že u biomasového popela (3) se měří jeho komplexní elektrická impedance elektrodami (4), která se vyhodnocuje buď jako absolutní hodnota impedance  $|Z|$  a/nebo fázový úhel.  $\Phi$  mezi vektorem elektrického napětí a vektorem elektrického proudu a/nebo jako reálná složka  $Z_{Re}$  impedance a/nebo imaginární složka  $Z_{Im}$  impedance, a/nebo jako teplotní závislost první derivace absolutní hodnoty impedance podle teploty  $T$ , v závislosti na zvyšující se teplotě  $T$  a při dané frekvenci střídavého elektrického pole, a z těchto naměřených, vypočtených či odečtených hodnot se určí eutektická teplota  $T_E$  vzniku první taveniny biomasového popela (3) a/nebo kritická teplota  $T_K$  formování kritického množství taveniny biomasového popela (3), přičemž

eutektická teplota  $T_E$  se projeví odklonem od v podstatě lineárního průběhu teplotních závislostí měřených veličin při zahřívání biomasového popela (3) a

45 kritická teplota  $T_K$  se projeví prudkým poklesem průběhu teplotních závislostí měřených veličin při zahřívání biomasového popela (3).

2. Způsob podle nároku 1, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že komplexní impedance se měří mezi dvěma elektrodami (4).

50 3. Způsob podle nároku 1, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že komplexní impedance se měří v závislosti na zvyšující se teplotě  $T$ , s výhodou řízenou rychlostí.

4. Způsob podle nároku 1, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že biomasový popel (3) pro měření komplexní impedance se připraví spálením biomasy, následným rozdrčením na částičky menší než 1 mm, s výhodou menších než 0,1 mm.

5. Zařízení ke způsobu stanovení eutektické a/nebo kritické teploty biomasového popela elektrickými prostředky, pomocí nichž se zjišťují teploty vzniku první taveniny a formování kritického množství taveniny, která vytváří nežádoucí nápeky popela (3), vznikajícího jako odpad při spalování biomasy, a které se usazují na vnitřních exponovaných plochách zařízení na spalování biomasy, podle nároků 1 až 4, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**,

že zahrnuje uzavřenou a tepelně odizolovanou měřicí píčku, vybavenou prostředky pro kontinuální ohřev biomasového popela (3), a mající uzavřený vyhřívaný prostor, v níž je umístěna žáruvzdorná měřicí nádoba s biomasovým popelem (3), do něhož jsou zasunuty elektrody (4) napojené na měřicí přístroj, generující střídavé elektrické pole k měření komplexní impedance biomasového popela (3) v závislosti na jeho teplotě.

6. Zařízení podle nároku 5, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že měřicí píčka je elektrická odporová.

7. Zařízení podle nároku 5, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že jsou použity dvě kovové elektrody (3), s výhodou zhotoveny Pt-Rh slitiny nebo z kanthalu.

8. Zařízení podle některého z nároků 5 až 7, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že vyhřívaný prostor je vytvořen jako žáruvzdorná svísele orientovaná trubka (1) na obou koncích uzavřená, v níž je umístěn žáruvzdorný kelímek (2) s biomasovým popelem (3), do něhož jsou zasunuty dvě elektrody (4), které jsou do píčky zavedeny ochranným žáruvzdorným pouzdrem, s výhodou dvoukapilárou (5), přičemž trubka (1), žáruvzdorný kelímek (2) a dvoukapilára (5) jsou zhotoveny z materiálu chemicky a teplotně odolného a mechanicky stabilního do teploty 1500 °C.

9. Zařízení podle některého z nároků 5 až 8, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že žáruvzdorný kelímek (2) je uložen na vratně suvném podstavci (6) v žáruvzdorné trubce (1).

10. Zařízení podle některého z nároků 5 až 9, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že žáruvzdorná trubka (1) je obklopená na bočních stěnách tepelně izolačním pláštěm (7), jehož dno je uloženo na žáruvzdorné podložce (8).

#### 4 výkresy

#### Vztahové značky:

1 trubka

2 kelímek

3 popel

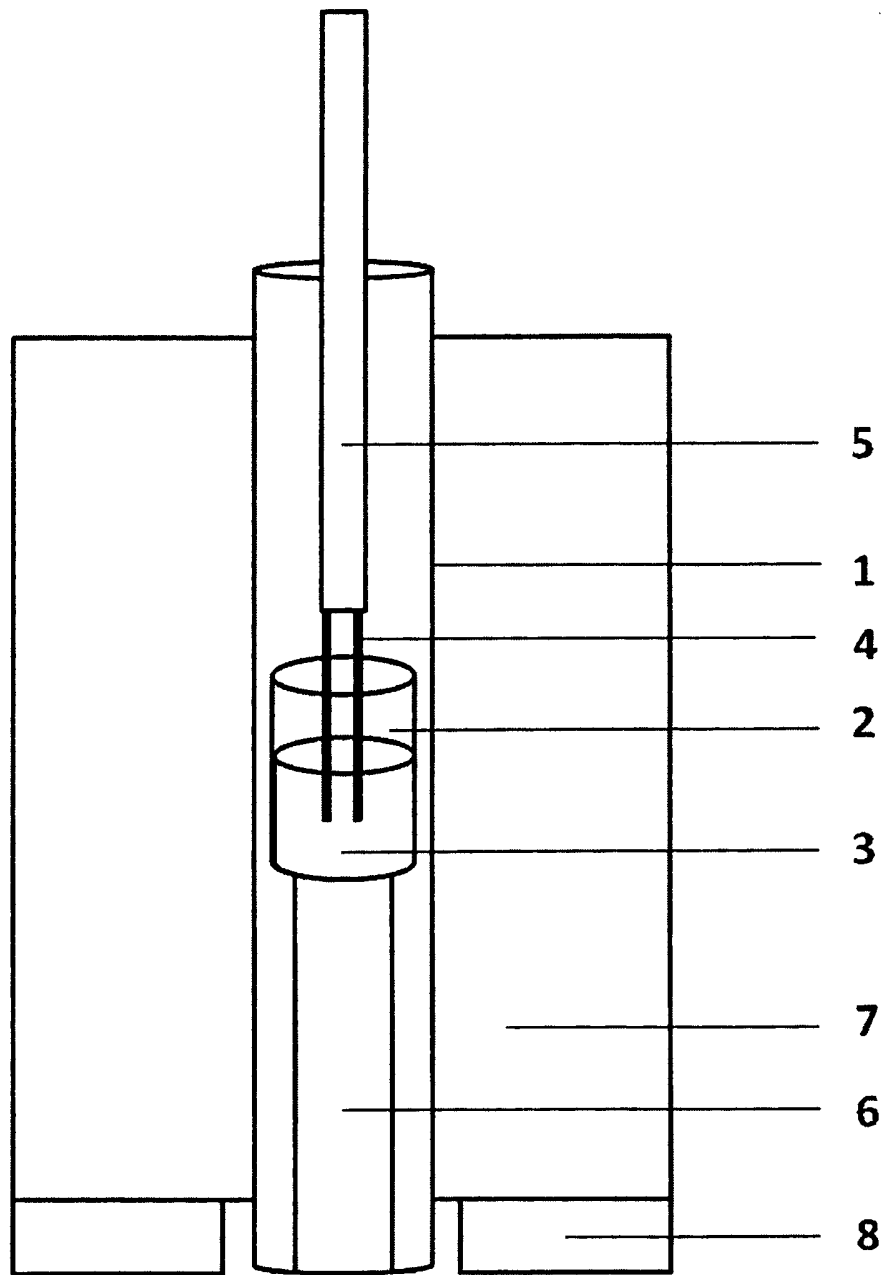
4 elektrody

5 dvoukapilára

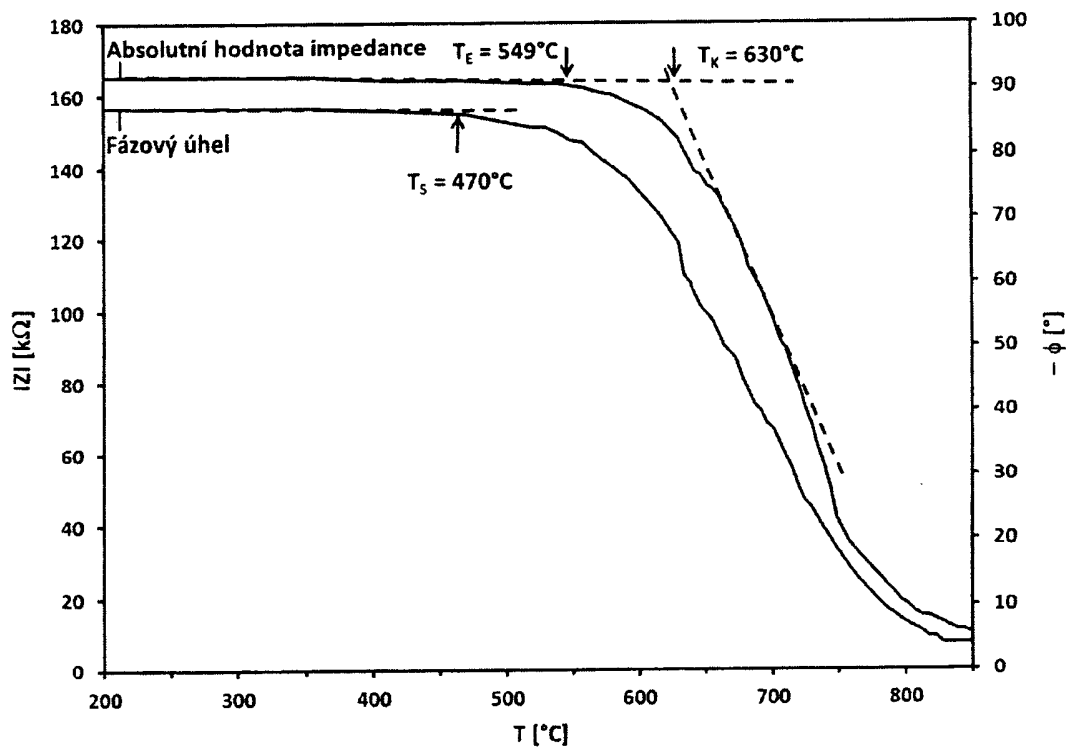
6 podstavec

7 plášť

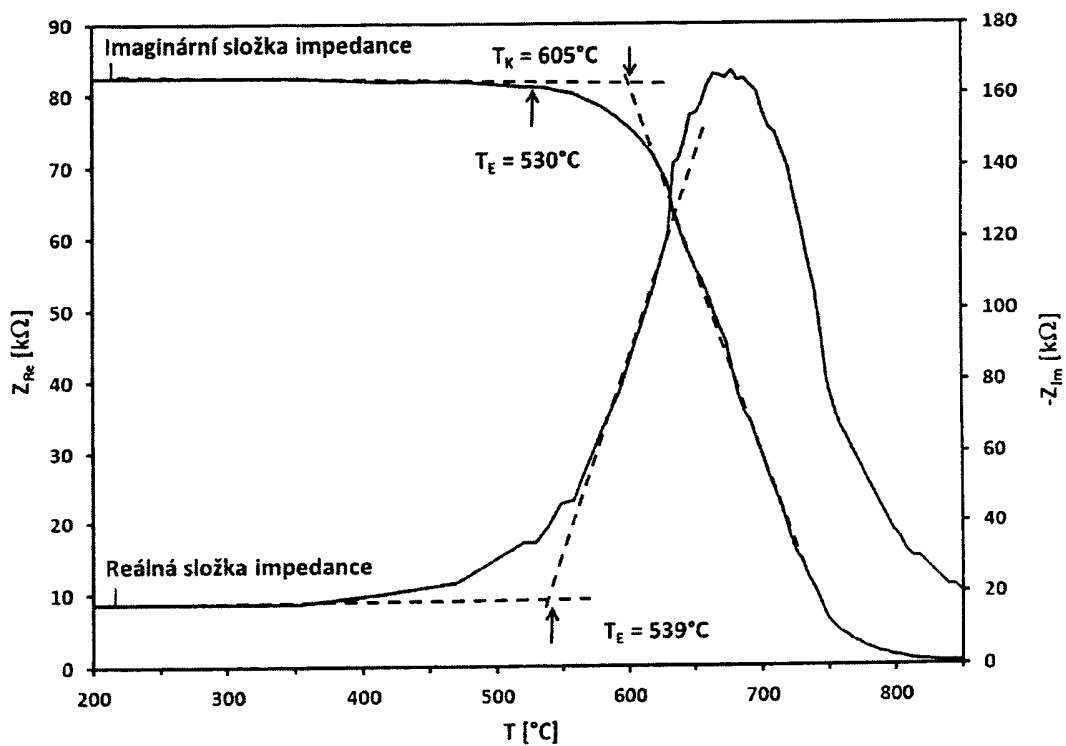
8 podložka



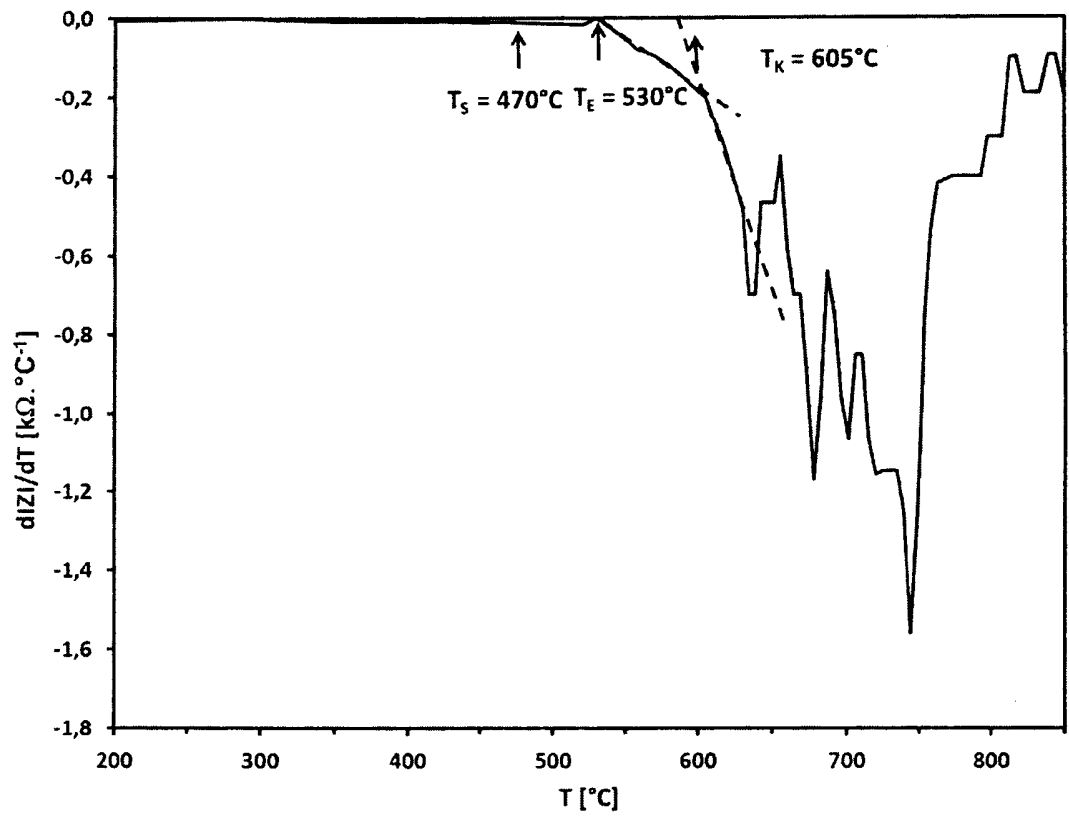
Obr. 1



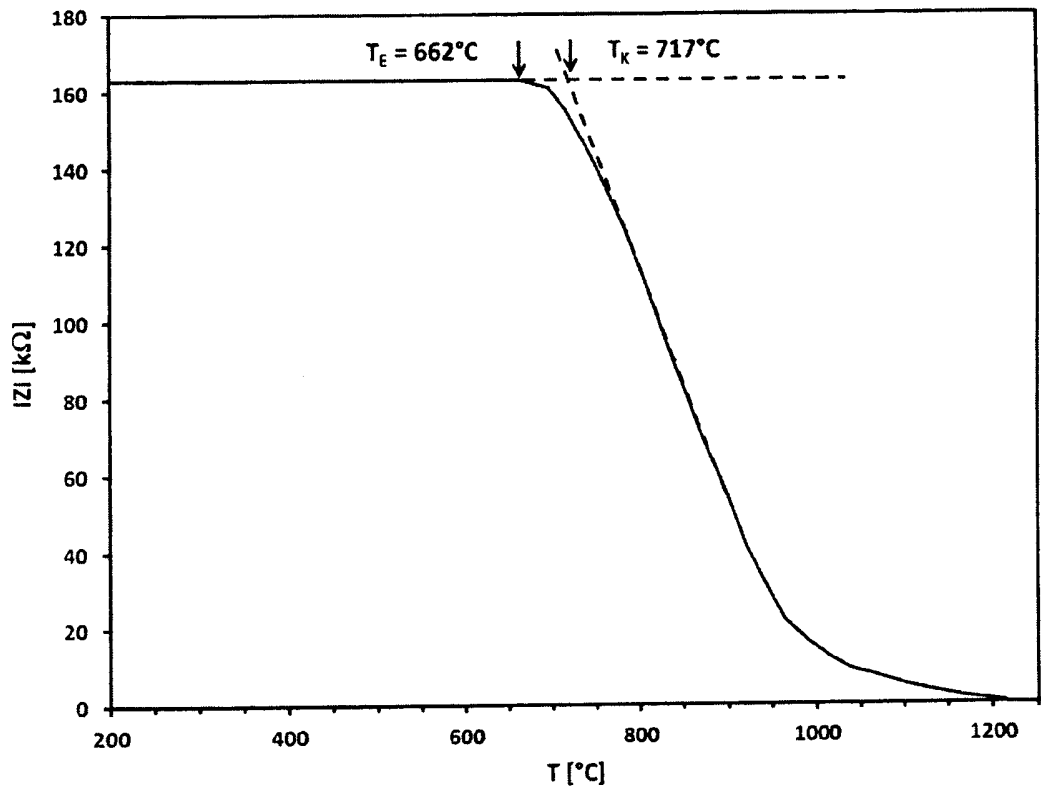
Obr. 2



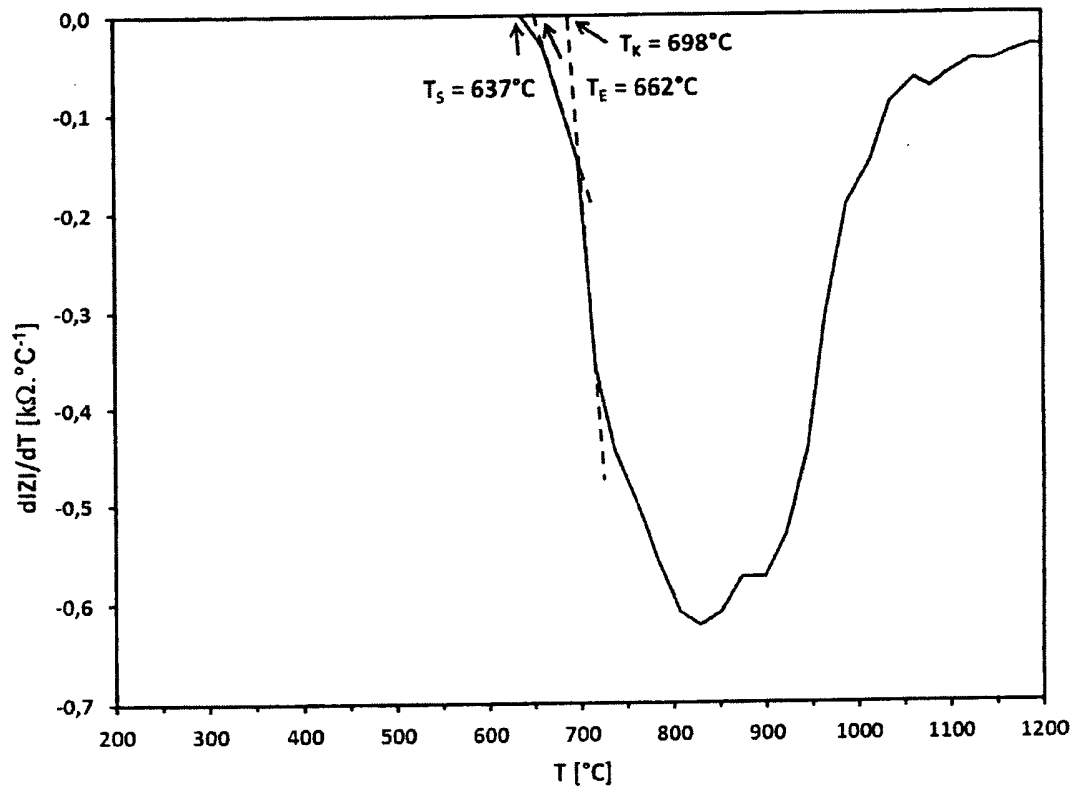
Obr. 3



Obr. 4



Obr. 5



Obr. 6

Konec dokumentu