

UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

24582

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:
C10J 3/56 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLového
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2012 - 26461**
(22) Přihlášeno: **27.07.2012**
(47) Zapsáno: **19.11.2012**

(73) Majitel:
Ústav chemických procesů AV ČR, v. v. i., Praha - Suchbát, CZ

(72) Původce:
Pohořelý Michael Ing. Ph.D., Praha, CZ
Kameníková Petra Ing. Ph.D., Praha, CZ
Svoboda Karel Doc. Ing. CSc., Praha, CZ
Skoblia Siarhei Ing. Ph.D., Benešov, CZ
Jeremiáš Michal Ing., Praha, CZ
Šyc Michal Ing. Ph.D., Praha, CZ
Punčochář Miroslav Ing. CSc. DSc., Praha, CZ
Hartman Miloslav Doc. Ing. DrSc., Praha, CZ

(74) Zástupce:
Inventia s.r.o., RNDr. Kateřina Hartvichová, Na Bělidle 3, Praha 5, 15000

(54) Název užitého vzoru:
Zařízení pro fluidní zplyňování tuhých paliv

CZ 24582 U1

Zařízení pro fluidní zplyňování tuhých paliv

Oblast techniky

Technické řešení se týká zařízení pro fluidní zplyňování různých tuhých paliv, které umožňuje sledování vlivu typu paliva a operačních podmínek na stabilitu procesu zplyňování a kvalitu produkovaného plynu.

Dosavadní stav techniky

Zplyňování biomasy a dalších alternativních paliv představuje nový trend získávání energie. Získaný plyn lze využít pro produkci tepla a elektrické energie ve spalovacích motorech, palivových článcích nebo plynových mikroturbínách, ale také jako surovinu pro výrobu chemikálií nebo alternativních paliv pro dopravu. Během posledních let se kromě tradičně užívaného uhlí zaměřila pozornost na zplyňování obnovitelných a alternativních paliv, jakými jsou například biomasa, odpady, čistírenské kaly, případně různé směsi těchto materiálů, včetně směsí s uhlím. Problémem těchto nových druhů paliv a palivových směsí je značná rozmanitost jejich vlastností, která vyžaduje specifické reakční podmínky pro každý materiál. Proto je potřeba každý uvažovaný materiál nejprve testovat na menším zařízení, které umožňuje flexibilní nastavení operačních podmínek, a to jak z hlediska reakčních podmínek (teplota, složení zplyňovacího média, poměr zplyňovacího média k palivu), tak z hlediska hydrodynamických podmínek (rychlost proudění plynu reaktorem, doba zdržení). Současná fluidní zplyňovací zařízení jsou obvykle tvořena cylindrickými reaktory s fluidní vrstvou paliva, jejichž průřez se s výškou nemění a fluidační plyn je uváděn do vrstvy perforovaným plátovým (deskovým) distributorem, orientovaným kolmo ke stěnám reaktoru (Cousin A., Zhuo Y., George A., Paterson N., Dugwell D. R., Kandiyoti R.: Development of a Bench-Scale High-Pressure Fluidized Bed Reactor and Its Sequential Modification for Studying Diverse Aspects of Pyrolysis and Gasification of Coal and Biomass, *Energy & Fuels* 22, 2491-2503, 2008). Plyné komponenty zplyňovacího média jsou přiváděny do komory pod distributorem, kde se samovolně mísí. Reaktor pracuje ve vsádkovém režimu, nebo kontinuálně za použití šnekového podavače zrnitého (sypkého) paliva. Provoz takových zařízení je doprovázen častými problémy, obvykle vyvolávanými nevhodným hydrodynamickým režimem vrstvy, nedokonalou homogenitou zplyňovacího média, nepravidelným dávkováním tuhého paliva nebo nadměrným úletem částic z fluidní vrstvy. Dosud používaná zařízení umožňovala sledovat vliv pouze některých operačních parametrů (Turn S., Kinoshita C., Zhang Z., Ishimura D., Zhou J.: An Experimental of Hydrogen Production from Biomass Gasification, *Int. J. Hydrogen Energy* 23, 641-648, 1998., Franco C, Pinto F, Gulyurtlu I, Cabrita I. The study of Reactions Influencing the Biomass Steam Gasification Process, *Fuel* 82, 835-842, 2003 apod.), dále jsou známa zařízení, kdy při změně sledovaného parametru bylo nutné změnit jiný provozní parametr, čímž nebylo exaktně prokazatelné, zda změna daného parametru měla sledovaný vliv nebo nikoliv, anebo zařízení, kdy při změně sledovaného parametru došlo ke změně jiného, či jiných sledovaných parametrů, čímž nebylo opět exaktně prokazatelné, zda změna daného parametru měla sledovaný vliv, nebo nikoliv (Narváez I, Orio A, Aznar MP, Corella J.: Biomass Gasification with Air in an Atmospheric Bubbling Fluidized Bed. Effect of Six Operational Variables on the Quality of the Produced Raw Gas, *Ind. Eng. Chem. Res.* 35, 2110-2120, 1996., Gil J, Corella J, Aznar MP, Caballero MA. Biomass Gasification in Atmospheric and Bubbling Fluidized Bed: Effect of the Type of Gasifying Agent on the Product Distribution. *Biomass and Bioenergy* 17, 389-403, 1999. apod.). Z výše uvedeného plyne, že tato zařízení mají řadu nevýhod.

Další podstatnou podmínkou pro testování nových druhů paliv a především palivových směsí je nutnost přesného dávkování paliva požadovaného složení. Dosud používaná experimentální zařízení využívají pro dávkování paliva nejčastěji šnekové podavače (Turn S., Kinoshita C., Zhang Z., Ishimura D., Zhou J.: An Experimental of Hydrogen Production from Biomass Gasification, *Int. J. Hydrogen Energy* 23, 641-648, 1998., Gil J., Aznar M. P., Caballero M. A., Francés E., Corella J.: Biomass Gasification in Fluidized Bed at Pilot Scale with Steam-Oxygen Mixtures.

Product Distribution for Very Different Operating Conditions, Energy & Fuels 11, 1109-1118, 1997., Lv P. M., Chang J., Xiong Z. H., Huang H., Wu C. Z. Chen Y.: Biomass Air - Steam Gasification in a Fluidized Bed to Produce Hydrogen-Rich Gas, Energy & Fuels 17, 677-682, 2003. apod.). V takových případech je v jednom zásobníku paliva předem připravená palivová směs. Toto řešení ovšem nezajišťuje dostatečnou homogenitu dávkované směsi, především v případech, kdy mají použitá paliva rozdílné fyzikální či granulometrické vlastnosti, např. v případech směsi biomasy s uhlím, biomasy s plastem, uhlí s vysušenými čistírenskými kaly apod.

Podstata technického řešení

Předmětem předkládaného technického řešení je zařízení pro fluidní zplyňování tuhých paliv, vhodné zejména pro zkoumání chemizmu termochemické transformace zrnitého uhlíkatého materiálu na výhřevný generátorový plyn obsahující jako hlavní palivové složky CO, H₂, CH₄ a C_xH_y, působením zplyňovacích médií a vysoké teploty, mající vstup zplyňovacích médií, perforovaný distributor (rošt), podavač paliva a cylindrický reaktor, které odstraňuje výše uvedené nevýhody. Jeho podstata spočívá v tom, že obsahuje mísič plyných zplyňovacích médií, za nímž je zařazen nebo v němž je integrován předeřhříváč zplyňovacích médií, z něhož je předeřhřátá směs zplyňovacích médií vedena vstupem směsi zplyňovacích médií k distributoru, nad nímž je umístěn vstup zplyňované palivové směsi, oddělený od oblasti nad distributorem chladičem. Nad vstupem palivové směsi je uspořádán cylindrický reaktor obsahující tryskající fluidní vrstvu a nad ní nadvrstvý prostor, přičemž ve víku reaktoru je vstup měřiče teploty procházejícího celou konstrukci až k distributoru a umožňujícího měřit teplotu v různých výškách zařízení a popřípadě i alespoň jeden výstup pro analýzy složení a množství produktů. Za nadvrstovým prostorem je uspořádán cyklonový odlučovač, z nějž je veden alespoň jeden výstup pro analýzy složení a množství produktů.

Účinné mísiče plyných zplyňovacích médií jsou komerčně dostupné. Předřazený mísič zplyňovacích médií zajišťuje přesné a konstantní složení zplyňovacího média skládajícího se až ze čtyř různých plynů a dále případně z vody (vodní páry).

Distributor plynu má s výhodou alespoň v části své délky tvar komolého kužele s větší podstavou na straně fluidní vrstvy a menší podstavou na straně vstupu zplyňovacích médií a s úhlem zkosení při větší podstavě v rozmezí 45° až 60°, a je opatřen roštovými otvory, které mají ve své části na straně vstupu zplyňovacích médií kónický tvar zužující se směrem k fluidní vrstvě a ve své části na straně fluidní vrstvy mají tvar válcový.

Kónické uspořádání vyměnitelného distributoru plynu s optimálním úhlem zkosení (45 až 60°) zvyšuje turbulenci suspenzní směsi plynu a částic a zabraňuje tak nežádoucímu zaléhávání vrstvy a ucpávání otvorů roštu částicemi. Kombinace kuželového a cylindrického profilu roštových otvorů - válcový na straně vrstvy a kuželový na straně vstupního plynu zabraňuje jejich ucpání a zkracuje délku gejzírů plynu ve vrstvě.

S výhodou je distributor uspořádán vyměnitelně. Do držáku distributoru lze podle potřeby vkládat různé typy distributorů, což umožňuje měnit hydrodynamické režimy fluidní vrstvy pomocí snadné výměny distributoru, kterým do reaktoru vstupuje zplyňovací médium.

Vyměnitelné uspořádání distributoru umožňuje dále modelovat různá zplyňovací zařízení. Díky tomu je možno modelovat procesy probíhající v různě konstruovaných průmyslových fluidních zplyňovacích reaktorech. (Pohořelý M.: Vliv reakčních podmínek na fluidní zplyňování uhlí, dřeva a plastů., Ph. D. Thesis., Ústav chemických procesů AV ČR, v.v.i., Praha 2010).

Účinné protiproudé vodní chlazení pneumotransportního potrubí s palivovou směsí až ke stěně reaktoru umožňuje dávkovat i paliva s nízkým bodem tání; tvarová zářezka (deflektor) uspořádaná ve výhodném provedení ve spodní části vstupu chladiče do oblasti fluidní vrstvy zamezuje žhavému materiálu pulzující fluidní vrstvy pronikat do trubičky přivádějící palivo. Rozšíření - poměr průměru horní části fluidní vrstvy: průměru spodní části fluidní vrstvy 1,5 až 3 : 1 - a náležitě vysoký nadvrstvý prostor potlačuje nežádoucí úlet jemných částic z vrstvy.

Ve výhodném provedení technického řešení je palivová směs dávkována na vstup palivové směsi pomocí suvného dávkovače, který umožňuje homogenní dávkování směsného paliva v definovaném poměru jednotlivých složek v průběhu celého experimentu s využitím jednoho transportního potrubí. Suvný dávkovač obsahuje zásobníky téhož paliva, nebo dvou různých paliv, jejichž výstupy směřují na suvnou desku. Protisměrné posuny suvné desky jsou zajištěny pneumatickou pohonnou jednotkou a dávkované palivo je unášeno do fluidní vrstvy dávkovací trati (pneumotransportem). Konstrukce výměnných suvných desek se mění dle zrnitosti a sypných vlastností dávkovaného paliva tak, že suvná deska je opatřena dávkovacími cylindrickými nebo kónickými otvory s hladkými stěnami, jejichž průměr je alespoň 5x až 10x větší než střední síťová velikost částic palivové směsi. S výhodou je suvná deska zhotovena z plastového materiálu s hladkým povrchem, jako je například poly(tetrafluorethylen). Suvný dávkovač má vysokou přesnost dávkování a trvale spolehlivý chod. Jeho konstrukce umožňuje uvádět zrnitá paliva i do fluidních vrstev o velmi vysoké teplotě. (Pohořelý M., Svoboda K., Hartman M.: Feeding Small Quantities of Particulate Solids. Powder Technol. 142, 1-6 2004, Pohořelý M., Svoboda K., Hartman M.: Komůrkový suvný dávkovač sypkých materiálů. Chem. Listy 98, 361-365 2004). S výhodou je dávkovací trať opatřena transparentním prvkem sloužícím k vizuální kontrole chodu dávkování.

V dalším výhodném provedení technického řešení jsou fluidní vrstva a nadvrstvý prostor opatřeny alespoň v části své délky topnými tělesy o regulovatelném tepelném příkonu, která zajišťují ohřev reakční zóny, s nezávislou regulací teploty jednotlivých otopných těles, která umožňuje variabilitu reakčních podmínek. Díky tomu je možné nastavit zvlášť teplotu ve fluidní vrstvě a v prostoru nad fluidní vrstvou. Vzhledem ke snadné a přesné regulovatelnosti příkonu mohou být otopná tělesa s výhodou též využita jako náhrada tepelné izolace reaktoru. V ještě dalším výhodném provedení je ve víku reaktoru dále zabudován uzavíratelný manipulační prostor alespoň se dvěma uzávěry pro uvádění nebo doplňování materiálu fluidní vrstvy.

Zařízení podle předkládaného technického řešení umožňuje ve čtvrtprovozním měřítku separátně vyšetřovat vliv jednotlivých pracovních parametrů procesu, jako teplota, stechiometrický poměr O_2 /palivo, H_2O /palivo, CO_2 /palivo, složení a výška i režim vrstvy, na proces zplyňování s ohledem na kvalitu (složení, čistotu, výtěžek a výhřevnost) generátorového plynu, přičemž všechny ostatní operační parametry zůstávají nezměněny. Předkládané technické řešení je dále osvětleno s pomocí obrázků a příkladu provedení, aniž by jimi byl rozsah ochrany omezen.

Přehled obrázků na výkresech

Obr. 1 schematicky znázorňuje zařízení pro fluidní zplyňování tuhých paliv podle předkládaného technického řešení a suvný dávkovač.

Obr. 2 schematicky znázorňuje distributor zplyňovacího média podle předkládaného technického řešení v bokorysu (A) a půdorysu (B).

Obr. 3 schematicky znázorňuje detail roštového otvoru v distributoru (roštu) podle předkládaného technického řešení.

Obr. 4 schematicky znázorňuje detail dávkovací trati na vstupu paliva do reaktoru podle předkládaného technického řešení.

Příklady provedení technického řešení

Příklad 1

Obr. 1 znázorňuje zařízení pro fluidní zplyňování tuhých paliv. Zařízení obsahuje účinný, komerčně dostupný mísič a předehříváč plyných zplyňovacích médií (nezobrazen, např. od firmy Bronkhorst High-Tech B. V., The Netherlands), od něž je předehřátá směs zplyňovacích médií vedena vstupem 7 směsi zplyňovacích médií k distributoru 9, nad nímž je umístěn vstup 4 palivové směsi, oddělený od oblasti nad distributorem 9 chladičem 6. Pod distributorem 9 je výstup 8 pro ložový popel. Nad vstupem 4 palivové směsi je uspořádán reaktor obsahující tryskající

fluidní vrstvu 11 a nad ní nadvrstvý prostor 12, přičemž ve víku reaktoru je uspořádán vstup 13 měřiče pro měření teploty a odvod 15 pro analýzu plynu a obsahu dehtu. Ve víku reaktoru je dále zabudován uzavíratelný manipulační prostor 14 pro uvádění nebo doplňování materiálu fluidní vrstvy.

- 5 Za nadvrstvovým prostorem 12 je uspořádán cyklonový odlučovač 16, v jehož horní části je odvod 19 pro analýzu plynu a obsahu ulétavého popílku a stopových prvků, komín 17 pro odvod ulétavého popílku, a ve spodní části cyklonového odlučovače 16 je odvod cyklonového popílku do popelníku 20.

- 10 Do držáku distributoru 9 lze podle potřeby vkládat různé typy distributorů, což umožňuje měnit hydrodynamické režimy pomocí snadné výměny distributoru, kterým do fluidní vrstvy vstupuje zplyňovací médium. Díky tomu je možno modelovat procesy probíhající v různě konstruovaných průmyslových fluidních zplyňovacích reaktorech.

- 15 Reaktor obsahující fluidní vrstvu 11 a nadvrstvý prostor 12 je opatřen otopnými tělesy elektrickým ohřevem 10, která zajišťují ohřev reakční zóny, s výhodou s nezávislou regulací teploty jednotlivých otopných těles 10, která umožňuje variabilitu reakčních podmínek. Díky tomu je možné nastavit zvlášť teplotu ve fluidní vrstvě 11 a v prostoru nad fluidní vrstvou 12. Palivová směs je dávkována ze dvou zásobníků 1 na vstup 4 palivové směsi pomocí suvného dávkovače, znázorněného rovněž na obr. 1. Chod suvného dávkovače, tedy střídavý posun suvné desky 3 je zajišťován pneumatickou pohonnou jednotkou 2, palivo je unášeno pneumotransportem 5 k vstupu palivové směsi 4. V jednom zásobníku 1 je uhlí, v druhém zásobníku 1 biomasa.

- 25 Obr. 2 znázorňuje schematicky distributor 9 plynu, který má v části své délky tvar komolého kužele s větší podstavou na straně fluidní vrstvy 11 a menší podstavou na straně vstupu 7 zplyňovacích médií a s úhlem zkosení při větší podstavě v rozmezí 45° až 60°. Obr. 3 znázorňuje schematicky roštový otvor distributoru 9, který má ve své části na straně vstupu 7 zplyňovacích médií kónický tvar zužující se směrem k fluidní vrstvě 11 a ve své části na straně fluidní vrstvy 11 má tvar válcový.

- 30 Obr. 4 schematicky znázorňuje oblast vstupu paliva do reaktoru na konci dávkovací trati 5. Ve spodní části vstupu chladiče 6 do oblasti fluidní vrstvy 11 je uspořádána tvarová zářezka 22 (deflektor), která zamezuje žhavému materiálu pulzující fluidní vrstvy 11 pronikat do trubičky přivádějící palivo.

V popsaném zařízení byla provedena série měření, během níž bylo postupně měněno složení zplyňovacího média a materiálu fluidní vrstvy. Měření byla také prováděna za různých teplot fluidní vrstvy a prostoru nad fluidní vrstvou. Z vyhodnocených výsledků složení produkovaného plynu byly identifikovány optimální podmínky zplyňování dané palivové směsi.

35 Průmyslová využitelnost

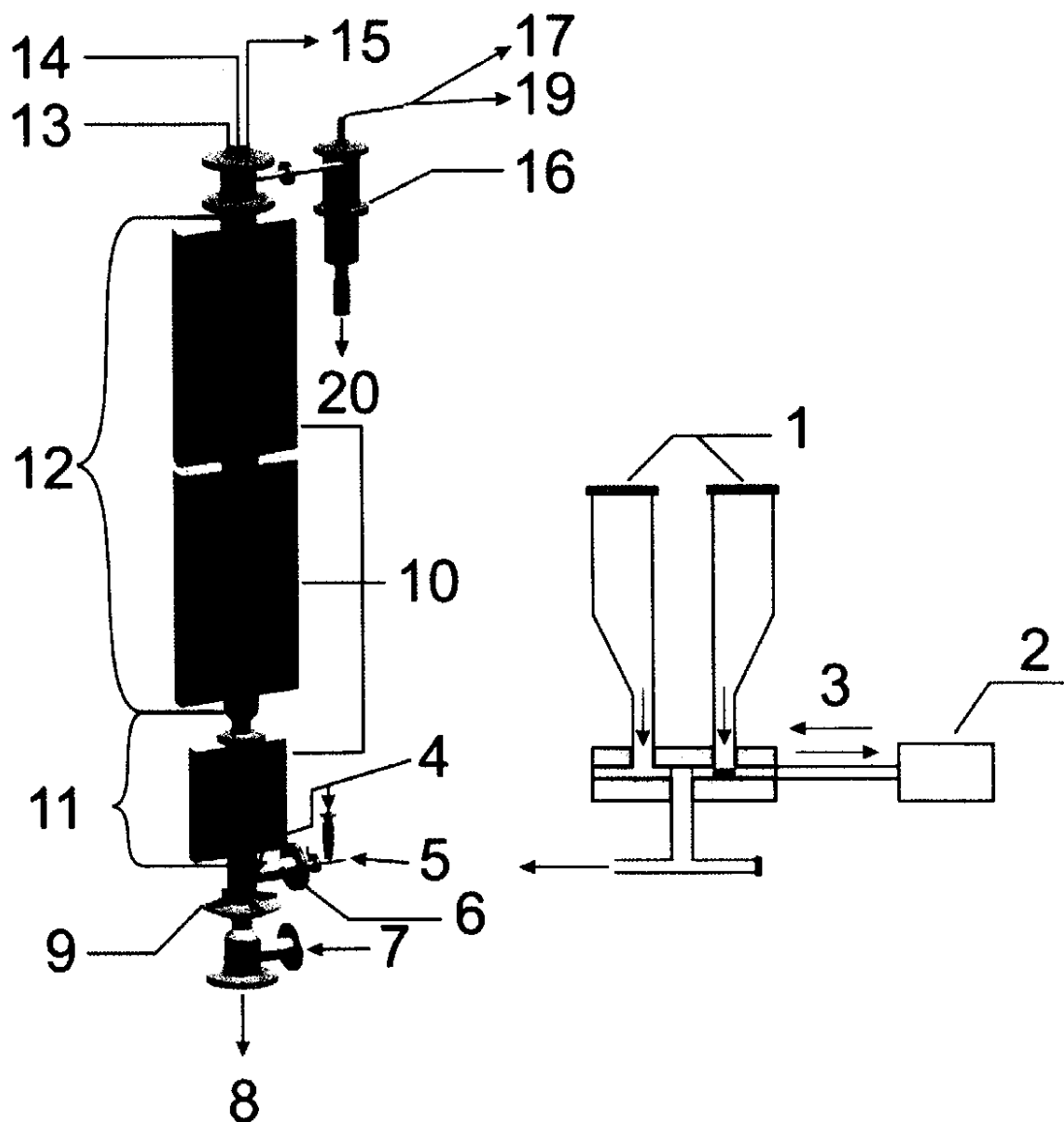
Zařízení podle předkládaného technického řešení je vhodné zejména pro zkoumání chemizmu termochemické transformace zrnitého uhlíkatého materiálu na výhřevný generátorový plyn obsahující jako hlavní palivové složky CO, H₂, CH₄ a C_xH_y působením zplyňovacích médií a vysoké teploty, ve čtvrtprovozním měřítku.

- 40 Zařízení podle technického řešení lze využít zejména v případech, kdy je plánována stavba fluidní zplyňovací jednotky v průmyslovém měřítku a je potřeba předem otestovat různé operační podmínky, na jejichž základě je možno navrhnout konstrukci daného zařízení. Dále je možné zařízení využít při uvažované změně paliva v již existujících jednotkách pro testování konkrétní palivové směsi za daných operačních podmínek.

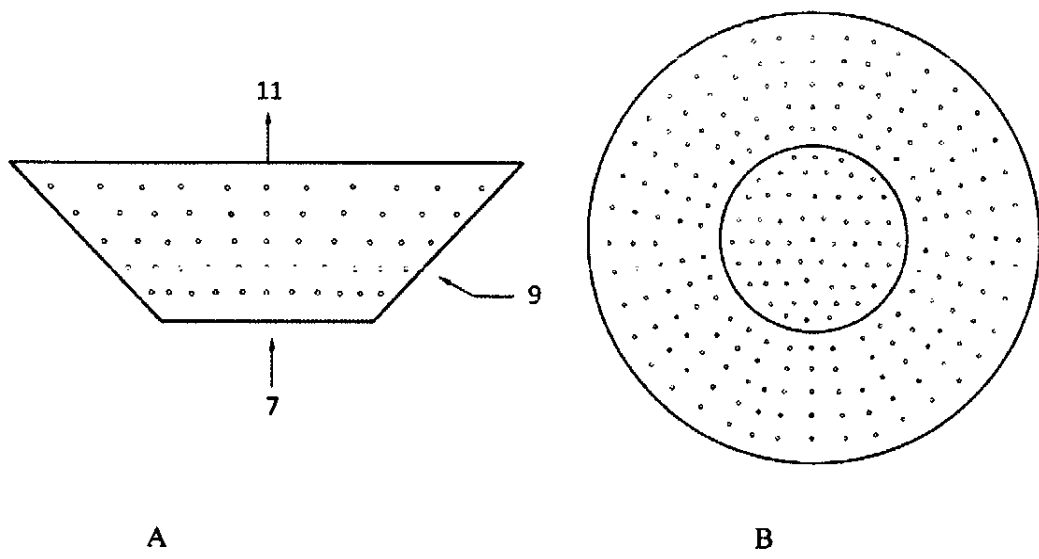
N Á R O K Y N A O C H R A N U

1. Zařízení pro fluidní zplyňování tuhých paliv, mající vstup (7) zplyňovacích médií, perforovaný distributor (9), podavač paliva a cylindrický reaktor, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že obsahuje mísič plyných zplyňovacích médií, za nímž je zařazen nebo v němž je integrován přede-
 5 dehřivač zplyňovacích médií, z něhož je předeřtá směs zplyňovacích médií vedena vstupem (7) směsí zplyňovacích médií k distributoru (9), nad nímž je umístěn vstup (4) zplyňované palivové směsi, oddělený od oblasti nad distributorem (9) chladičem (6), přičemž nad vstupem (4) palivo-
 10 vé směsi je uspořádán cylindrický reaktor obsahující tryskající fluidní vrstvu (11) a nad ní nad-
 vrstvý prostor (12), přičemž ve víku reaktoru je vstup (13) měřiče teploty procházejícího celou
 konstrukcí až k distributoru a popřípadě i alespoň jeden výstup (15) pro analýzy složení a množ-
 ství produktů, za nadvrstvýým prostorem (12) je uspořádán cyklonový odlučovač (16), z něž je
 veden alespoň jeden výstup (19) pro analýzy složení a množství produktů.
2. Zařízení podle nároku 1, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že distributor (9) má alespoň
 15 v části své délky tvar komolého kužele s větší podstavou na straně fluidní vrstvy (11) a menší
 podstavou na straně vstupu (7) zplyňovacích médií a s úhlem zkosení při větší podstavě v rozme-
 zí 45° až 60°, a je opatřen roštovými otvory, které mají ve své části na straně vstupu (7) zplyňo-
 vacích médií kónický tvar zužující se směrem k fluidní vrstvě (11) a ve své části na straně fluidní
 vrstvy (11) mají tvar válcový.
3. Zařízení podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že
 20 distributor (9) je uspořádán vyměnitelně.
4. Zařízení podle kteréhokoliv z přecházejících nároků, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že ve
 spodní části vstupu chladiče (6) do oblasti fluidní vrstvy (11) je uspořádán deflektor (22).
5. Zařízení podle kteréhokoliv z přecházejících nároků, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že po-
 měr průměru horní části fluidní vrstvy : průměru spodní části fluidní vrstvy je 1,5 až 3 : 1.
- 25 6. Zařízení podle kteréhokoliv z přecházejících nároků, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že po-
 měr výšky nadvrstvého prostoru : průměru horní části fluidní vrstvy je 20 až 30 : 1.
7. Zařízení podle kteréhokoliv z přecházejících nároků, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že
 před vstupem (4) palivové směsi je předřazen suvný dávkovač obsahující dva zásobníky (1) pali-
 30 va, jejichž výstupy směřují na suvnou desku (3), dále obsahující pneumatickou pohonnou jednot-
 ku (2) zajišťující protisměrné posuny suvné desky (3) a pneumotransport (5) zajišťující unášení
 paliva dávkovací trati.
8. Zařízení podle nároku 7, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že suvná deska (3) je opatřena
 dávkovacími cylindrickými nebo kónickými otvory s hladkými stěnami, jejichž průměr je ales-
 poň 5x až 10x větší než střední síťová velikost částic palivové směsi.
- 35 9. Zařízení podle nároku 7, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že suvná deska (3) je z plastového
 materiálu s hladkým povrchem, s výhodou z poly(tetrafluorethylen)u.
10. Zařízení podle nároku 7, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že dávkovací trať (5) je opatřena
 transparentním prvem.
- 40 11. Zařízení podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že
 reaktor je opatřen několika samostatnými polocylindrickými topnými tělesy (10), s výhodou s ne-
 závislou regulací teploty jednotlivých topných těles (10).

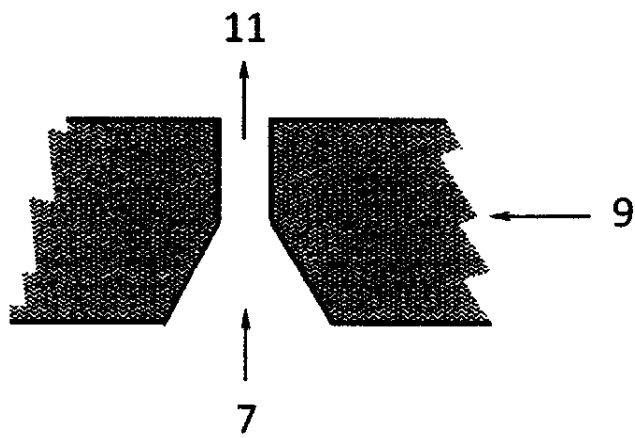
12. Zařízení podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že ve víku reaktoru je dále zabudován uzavíratelný manipulační prostor alespoň se dvěma uzávěry (14) pro uvádění nebo doplňování materiálu fluidní vrstvy.



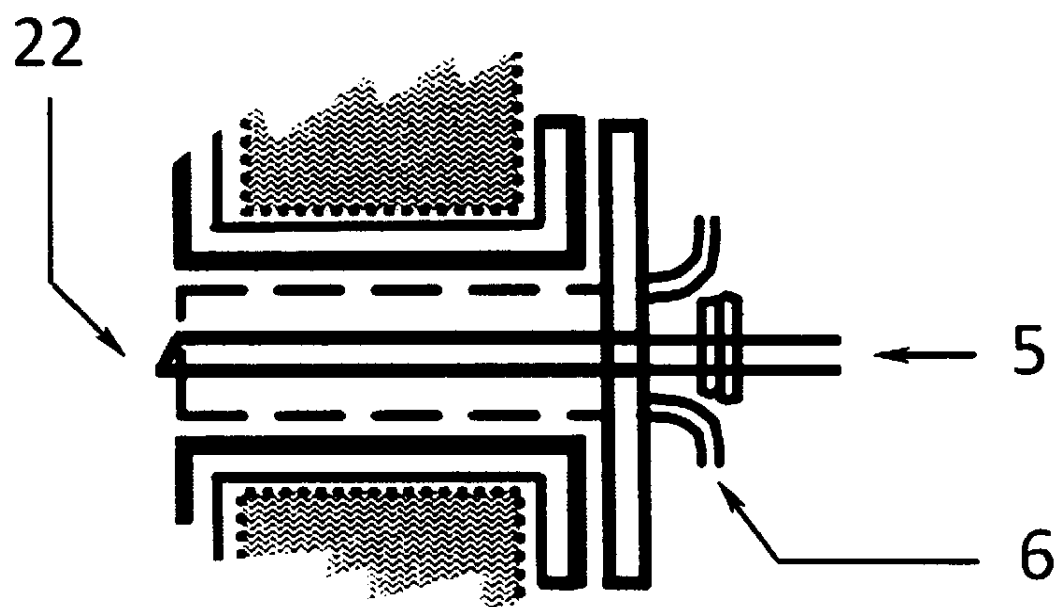
Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3



Obr. 4

Konec dokumentu