

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

Zveřejněná podle §31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:

2022-136

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

C10B 53/02 (2006.01)
C10B 57/02 (2006.01)
C10B 57/12 (2006.01)
C10B 57/18 (2006.01)
C10J 3/64 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLVÉHO
VLASTNICTVÍ

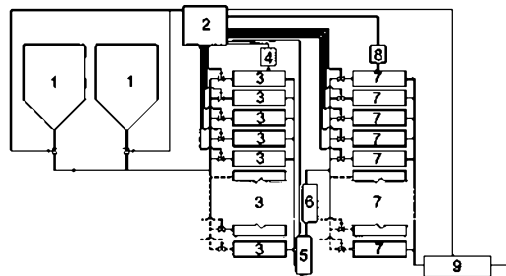
(22) Přihlášeno: **28.03.2022**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **11.10.2023**
(Věstník č. 41/2023)

(71) Přihlašovatel:
Vysoká škola báňská - Technická univerzita
Ostrava, Ostrava, Poruba, CZ

(72) Původce:
Ing. Ondřej Němček, Ph.D., Ostrava, Hrabová, CZ
Ing. Marcel Mikeska, Ph.D., Vratimov, CZ
Ing. Jan Kielar, Ph.D., Ostrava, Poruba, CZ
Ing. Tomáš Najser, Vřesina, CZ

(74) Zástupce:
INPARTNERS GROUP, Ing. Dušan Kendereški,
Tuřanka 1519/115a, 627 00 Brno, Slatina



(54) Název přihlášky vynálezu:
**Způsob obohacení plynu vzniklého torefakcí
a pyrolýzou biomasy methanem a zařízení k
provádění tohoto způsobu**

(57) Anotace:
Předmětem řešení je způsob obohacení plynu vzniklého torefakcí a pyrolýzou biomasy methanem a zařízení pro provádění uvedeného způsobu. Dle uvedeného způsobu je biomasa nejdříve zavedena do alespoň jednoho torefakčního reaktoru (3), kde je podrobena torefakci při teplotě 50 až 400 °C a tlaku -50 kPa až +100 kPa, následně je zavedena do alespoň jednoho pyrolýzního reaktoru (7), kde je podrobena pyrolýze při teplotě 400 až 800 °C a tlaku -50 kPa až +100 kPa za vzniku pyrolýzního plynu. Během pyrolýzy a/nebo torefakce je provedena aditivace biomasy katalyzátorem zvoleným ze skupiny sestávající z nanočástic niklu, mědi, kobaltu, platiny, palladia, ruthenia, rhodia, molybdenu, rtuti a rhodaminu 6G nebo jakékoliv jejich kombinace. Výsledkem aditivace je plyn obohacený methanem s obsahem methanu 10 až 60 % obj. Předmětem vynálezu je dále počítačový program [produkt], počítačem čitelné médium a signál nosiče.

Způsob obohacení plynu vzniklého torefakcí a pyrolýzou biomasy methanem a zařízení k provádění tohoto způsobu

5 Oblast techniky

Tento vynález se týká způsobu obohacení plynu vzniklého torefakcí a pyrolýzou biomasy methanem a zařízení k provádění tohoto způsobu. Tento vynález se rovněž týká použití katalyzátorů pro obohacení plynu vzniklého torefakcí a pyrolýzou biomasy methanem, počítačového programu obsluhujícího uvedené zařízení a počítačem čitelného média nebo signálu nosiče s uvedeným počítačovým programem.

Dosavadní stav techniky

15 Aktuální stav poznání v oblasti termického zpracování alternativních materiálů a biomateriálů založených na principu pyrolýzy, torefakce a zplyňování je na dobré úrovni. Tyto technologie jsou poměrně dobře známé a jsou provozovány v průmyslové výrobě i experimentálních provozech.

20 Obecně lze technologie torefakce a pyrolýzy materiálu, což je termické zpracování vstupního materiálu v inertní atmosféře, tedy zahřívání materiálu bez přístupu vzduchu, rozdělit na tři základní typy dle teploty procesu – nízkoteplotní pyrolýza, zvaná též torefakce (pražení), středněteplotní pyrolýza a vysokoteplotní pyrolýza. Každý tento typ procesu je určen k produkci tří frakcí. Dle procesní teploty je pak možné získat v různých poměrech především plynnou, 25 kapalnou a tuhou frakci.

Jsou známy postupy pro vedení procesu za účelem zisku výstupních produktů – plynné, kapalné a tuhé frakce prostřednictvím výše zmíněných procesů. Množství, kvalita a složení výstupních produktů jsou ovlivnitelné vedením procesu. Existují způsoby vedení procesu a ovlivnění 30 vlastností produktů změnou teploty procesu, dobou zdržení materiálu v torefakčním a pyrolýzním zařízení, využitím konkrétního druhu vstupní suroviny o známém složení.

V oblasti konstrukce a technologie jsou známy zařízení s různým druhem reaktoru se stacionární vrstvou (vsázkové), průběžné (kontinuální), kdy vstupní materiál je přiváděn do technologie, kde 35 dochází k průběžnému zpracování a zároveň i průběžné produkci produktů v čase. Jsou známy také různé typy zapojení do technologického procesu, kdy před samotným vstupem do technologie jsou instalovány zásobníky a násypné a dávkovací zařízení, naopak za výstupem z technologie pak následují filtrační a odlučovací kolony a zásobníky na uchování produktů plyných, kapalných a tuhých. Z pohledu konstrukčního se jedná vždy o zařízení, které je tvořeno několika hlavními 40 částmi: 1. část je násypná a zásobníková část – zde je skladován materiál a dochází k jeho transportu do samotné akční části, kde dochází k procesu torefakce – pyrolýzy. 2. část je tedy samotný reaktor, ať již vsázkový, gravitační, s nuceným posuvem pomocí roštu či šneku, ohříváný elektricky, plamenem, nebo spaliny. 3. část technologie je výstupní část za reaktorem, kde dochází k separaci tuhého zbytku a plynu, dochlazování a zkapaňování části plynu za účelem zisku kapalně 45 frakce a případná další filtrace těchto produktů.

Mezinárodní patentová přihláška WO 2017217573 A1 popisuje způsob výroby a zařízení pro výrobu karbonizovaných pelet s vysokým podílem uhlíku a vysokou výhřevností. Karbonizace je druh pyrolýzy, který zanechává především zbytek s vysokým podílem uhlíku. Uvedený způsob 50 výroby zahrnuje krok přípravy dřevěné štěpky, krok torefakce dřevěné štěpky v bezkyslíkové atmosféře, krok mletí torifikované dřevěné štěpky na práškovou formu, krok formování směsi práškové torifikované dřevěné štěpky, pojiva, roztoku nanokatalyzátorů a dalších aditiv do pelet, a krok karbonizace pelet. V torefakčním reaktoru v kroku torefakce vzniká při teplotě 180 až 400 °C a tlaku 0 až -0,1 kPa torefakční plyn, který je veden do karbonizačního reaktoru, a v karbonizačním reaktoru v kroku karbonizace při teplotě 200 až 500 °C vzniká dále karbonizační plyn, který je 55

spolu s torefakčním plynem veden do spalovací komory pro získání tepla a jeho vrácení zpátky do systému. Torefakčním plynem je směs oxidu uhelnatého, oxidu uhličitého, vodíku a uhlovodíků, zejména methanu a/nebo acetyleny. Karbonizační plyn na výstupu z karbonizačního reaktoru zahrnuje uhlovodíky, zejména methan a/nebo acetylen bez uvedení konkrétního obsahu methanu.

5 Mezi použité nanokatalyzátory patří nanočástice niklu, mědi, železa, zinku, hořčíku nebo hliníku, zejména v obsahu 0,01 až 5 hmotnostních dílů (např. 0,1 až 50 mg) vůči 100 hmotnostním dílům (např. 1 g) práškové torifikované dřevěné štěpky.

10 Čínská patentová přihláška CN 109974002 A popisuje proces zpracování odpadu s paralelně uspořádanými pyrolýzními reaktory a spalovacími komorami, přičemž vzniká pyrolýzní plyn bez obsahu dioxinu pro získání tepla a energie. Paralelní uspořádání zajišťuje větší plochu pro výměnu a rovnoměrné předávání tepla.

15 Evropská patentová přihláška EP 2428546 A1 popisuje proces generování tuhého nebo polotuhého biopaliva rychlou pyrolýzou biomasy se třemi, sériově zapojenými reaktory s tekutými loži: přehřívací, pyrolýzní a spalovací reaktor. Vzniklý pyrolýzní plyn zahrnuje zejména oxid uhelnatý, oxid uhličitý a vodík.

20 Kromě jednostupňové aditivace torifikované biomasy nanočásticemi mědi nebo niklu před karbonizací podle WO 2017217573 A1 v současnosti není známa aplikace aditiv na biomasu pro její torefakční a pyrolýzní zpracování za účelem změny složení a poměrného zastoupení finálně produkovaného plynu, s důrazem na obohacení tohoto plynu methanem.

25 V současné době rovněž není známo řešení více sekčního zapojení torefakčních či pyrolýzních reaktorů v paralelním či sériovém zapojení tak, aby bylo možné provádět dávkování stejné biomasy do všech takto zapojených reaktorů současně, a přitom využít v každém samotném reaktoru jinak působících fyzikálních či chemických podmínek a dalších parametrů. Díky tomuto zapojení a kontinuální analýze s následnou odezvou na řízení každého zapojeného reaktoru je možné provádět cílené řízení za účelem požadované změny složení finálně produkovaného plynu.

30

Podstata vynálezu

35 Prvním cílem vynálezu je poskytnout způsob obohacení plynu vzniklého torefakcí a pyrolýzou biomasy methanem na výsledný objem 10 až 60 % obj. methanu.

Uvedeného cíle je dosaženo způsobem obohacení plynu vzniklého torefakcí a pyrolýzou biomasy methanem podle nezávislých nároků 1 a 2. V uvedeném způsobu je biomasa zavedena do alespoň jednoho torefakčního reaktoru, torifikována při teplotě 50 °C až 400 °C (např. 200 °C až 250 °C pro traviny a 200 °C až 350 °C pro dřeviny) a tlaku -50 kPa až +100 kPa v torefakčním reaktoru, zavedena dále do alespoň jednoho pyrolýzního reaktoru a pyrolýzována při teplotě 400 °C až 800 °C a tlaku -50 kPa až +100 kPa v pyrolýzním reaktoru. Doba zdržení biomasy v torefakčním nebo pyrolýzním reaktoru je přibližně 30 minut až 2 hodiny. Při tlaku -50 kPa až 0 kPa nastává intenzivnější uvolňování těkavých složek a složek s nízkým bodem varu a při tlaku 0 kPa až +100 kPa naopak dochází ke štěpení komplexních uhlovodíkových sloučenin na jednodušší, např. až na methan. Při klasické pyrolýze dle podmínek výše a bez přídavku katalyzátoru vzniká v pyrolýzním plynu přibližně 10 až 20 % obj. methanu u travin, přibližně 15 až 30 % obj. methanu u dřevin a přibližně 10 až 40 % obj. methanu u ostatní odpadní produkce.

50 V jednom provedení podle nároku 1 je aditivace biomasy katalyzátorem zvoleným ze skupiny sestávající z nanočástic niklu, nanočástic mědi, nanočástic kobaltu, nanočástic platiny, nanočástic palladia, nanočástic ruthenia, nanočástic rhodia, nanočástic molybdenu, nanočástic rtuti a rhodaminu 6G, nebo jakékoliv jejich kombinace provedena během pyrolýzy v pyrolýzním reaktoru za vzniku pyrolýzního plynu obohaceného methanem s obsahem methanu 10 až 60 % obj.

55 Aditivace až během pyrolýzy, tj. během probíhajícího pyrolytického zpracování biomasy, zajišťuje

vyšší účinnost katalyzátorů, kterých katalytická aktivita se může při expozici podmínkám torefakce nebo pyrolýzy v celé délce výrazně snižovat. Tento efekt zahlcení lze pozorovat zejména u katalyzátorů obsahujících vzácné kovy, tj. měď, platinu, palladium, rhodium, ruthenium a rtuť. Z ekonomických důvodů je vhodné tyto katalyzátory používat až během pyrolýzy.

5

V jiném provedení podle nároku 2 je aditivace biomasy katalyzátorem zvoleným ze skupiny sestávající z nanočástic kobaltu, nanočástic platiny, nanočástic palladia, nanočástic ruthenia, nanočástic rhodia, nanočástic molybdenu, nanočástic rtuti, rhodaminu 6G a kombinace nanočástic niklu a kobaltu, nebo jakékoliv jejich kombinace provedena již před pyrolýzou, s výhodou během torefakce a/nebo po torefakci mimo torefakčního reaktoru, za vzniku pyrolýzního plynu obohaceného methanem s obsahem methanu 10 až 60 % obj. Aditivace již během torefakce, tj. během probíhajícího torefakčního zpracování biomasy, a/nebo mezi torefakcí a pyrolýzou umožňuje delší dobu kontaktu biomasy a katalyzátoru po celou nebo téměř celou délku procesu torefakce a pyrolýzy, a tudíž rovněž obohacení vznikajícího plynu methanem i navzdory snížení katalytické aktivity u některých katalyzátorů či ekonomickým nevýhodám uvedeným výše.

10

Primárním účelem těchto katalyzátorů je přeměna CO_2 a H_2 vzniklých při torefakčním a/nebo pyrolýzním zpracování biomasy na větší celkový podíl methanu ve výsledném pyrolýzním plynu. CO_2 je nehořlavý plyn, který je navíc nežádoucí z pohledu emisí a uhlíkové stopy, a H_2 je sice hořlavý, ale způsobuje detonace a nestabilní spalování, tedy v běžném energetickém cyklu či dalším procesu je nežádoucí. Bez použití katalyzátoru by byl výsledný obsah methanu v pyrolýzním plynu závislý pouze od vstupního materiálu a tento plyn by nemohl být dále obohacen.

20

Výhodu obou způsobů lze kombinovat a aditivaci provést katalyzátorem jak před pyrolýzou, tak během pyrolýzy.

25

Ve výhodném provedení je katalyzátor deponován na povrchu nosiče zvoleného ze skupiny sestávající z hlinitokřemičitanu, oxidu hlinitého, oxidu hořečnatého, oxidu titaničitého, oxidu ceričitého, oxidu zirkoničitého nebo jakékoliv jejich kombinace. Katalyzátor může být na povrch nosiče nanesen pomocí mokré impregnační metody.

30

Konkrétní příkladní formulace A-G katalyzátorů a jejich výhody jsou uvedeny níže:

35

- A: směs 12,0 až 13,0 % hmotn. nanočástic niklu a 1,5 až 2,5 % hmotn. nanočástic kobaltu vzhledem k nosiči, s výhodou směs 12,5 % hmotn. nanočástic niklu a 2,0 % hmotn. nanočástic kobaltu vzhledem k nosiči - výhodou je nízká cena, využitelnost před i během pyrolýzy a obohacení vzniklého plynu o přibližně 1 až 5 % obj. methanu při použití jakékoliv biomasy;

40

- B: směs 7,0 až 8,0 % hmotn. nanočástic niklu, 7,0 až 8,0 % hmotn. nanočástic kobaltu a 0,1 až 0,5 % hmotn. nanočástic ruthenia vzhledem k nosiči, s výhodou směs 7,5 % hmotn. nanočástic niklu, 7,5 % hmotn. nanočástic kobaltu a 0,25 % hmotn. nanočástic ruthenia vzhledem k nosiči - výhodou je obohacení vzniklého plynu o přibližně 10 až 15 % obj. methanu při použití jakékoliv biomasy;

45

- C: směs 10,0 až 11,0 % hmotn. nanočástic molybdenu a 1,0 až 2,0 % hmotn. nanočástic rtuti vzhledem k nosiči, s výhodou směs 10,5 % hmotn. nanočástic molybdenu a 1,5 % hmotn. nanočástic rtuti vzhledem k nosiči - výhodou je obohacení vzniklého plynu o přibližně 1 až 5 % obj. methanu při použití jakékoliv biomasy;

50

- D: 0,1 až 1,0 % hmotn. nanočástic platiny vzhledem k nosiči, např. 0,5 % hmotn. nanočástic platiny vzhledem k nosiči - výhodou je obohacení vzniklého plynu o přibližně 10 až 20 % obj. methanu při použití jakékoliv biomasy;

- E: 0,1 až 2,0 % hmotn. nanočástic mědi vzhledem k nosiči, např. 0,5 až 1,5 % hmotn. nebo 1,0 % hmotn. nanočástic mědi vzhledem k nosiči - výhodou je obohacení vzniklého plynu o přibližně 1 až 5 % obj. methanu při použití jakékoliv biomasy;
- 5 • F: 0,1 až 2,0 % hmotn. nanočástic palladia vzhledem k nosiči, např. 0,5 až 1,5 % hmotn. nebo 1,0 % hmotn. nanočástic palladia vzhledem k nosiči - výhodou je
 - obohacení vzniklého plynu o přibližně 10 až 20 % obj. methanu při použití jakékoliv biomasy;
- 10 • G: 0,1 až 2,0 % hmotn. nanočástic rhodia vzhledem k nosiči, např. 0,5 až 1,5 % hmotn. nebo 1,0 % hmotn. nanočástic rhodia vzhledem k nosiči - výhodou je obohacení vzniklého plynu o přibližně 10 až 20 % obj. methanu při použití jakékoliv biomasy;
- 15 • H: 0,05 až 0,30 % hmotn. rhodaminu 6G vzhledem k nosiči, např. 0,10 až 0,20 % hmotn. rhodaminu 6G vzhledem k nosiči, s výhodou i v kombinaci s experimentálními podmínkami ionizujícího záření, ultrazvuku a magnetického pole - výhodou je obohacení vzniklého plynu o přibližně 2 až 5 % obj. methanu při použití jakékoliv biomasy.

20 U formulací B-H je výhodná jejich aditivace až během pyrolýzy, protože rhodaminu 6G nebo kovy obsažené v těchto katalyzátorech se můžou vlivem pyrolýzního procesu částečně znehodnotit a ztratit svou katalytickou aktivitu (přítomnost různých dehtů způsobuje vytvoření povlaku na jejich povrchu a zabránění přístupu plynu ke katalyzátoru), což sníží výsledný obsah methanu v pyrolýzním plynu. Během pyrolýzy může znamenat např. v první třetině nebo první polovině pyrolýzního reaktoru vzhledem k toku materiálu reaktorem. Pokud jsou tyto formulace přidány i
25 před pyrolýzou pro další obohacení methanem, např. během torefakce a/nebo mezi torefakcí a pyrolýzou, z výše uvedených důvodů je vhodné je doplnit i během pyrolýzy.

30 U formulace A lze pozorovat podobný jev jako u jiných formulací, ale kombinace nanočástic niklu a kobaltu není tak ekonomicky nákladná pro její opakované doplnění jako u vzácných kovů, a proto lze tuto formulaci používat v kterémkoliv bodu způsobu.

35 U všech formulací A-H, a zejména u formulace C je po aditivaci nutné zajistit likvidaci pyrolýzního zbytku jako nebezpečného odpadu. U všech formulací A-H můžou být katalyzátory rozpuštěny ve vodném roztoku.

40 Množství katalyzátoru deponovaného na nosiči je 0,1 až 5 mg na 1 g biomasy, přičemž referenční hmotnost biomasy je hmotnost biomasy před vstupem do torefakčního reaktoru pro aditivaci před pyrolýzou a hmotnost biomasy před vstupem do pyrolýzního reaktoru pro aditivaci během pyrolýzy.

45 Ve výhodném provedení může probíhat torefakce biomasy v alespoň dvou torefakčních reaktorech uspořádaných navzájem sériově nebo paralelně nebo sériově-paralelně.

50 Podobně, pyrolýza torifikované biomasy může probíhat v alespoň dvou pyrolýzních reaktorech uspořádaných navzájem sériově nebo paralelně nebo sériově-paralelně. V každém reaktoru je možné kontrolovaným způsobem nastavit individuální procesní podmínky za účelem termického zpracování biomasy a obohacení pyrolýzního plynu methanem. Jednotlivé reaktory jsou propojeny pomocí čidel a snímačů s řídicí jednotkou.

55 Ve výhodném provedení může biomasa obsahovat traviny, dřeviny, seno, slámu, otruby, slupky, listí a/nebo odpad zemědělské produkce.

Ve výhodném provedení lze v pyrolýzním plynu, případně rovněž v plynu vzniklém během torefakce, analyzovat obsah methanu kontinuálně v reálném čase pomocí analyzátoru (např. plynového chromatografu, nedisperzního infračerveného senzoru, tepelně vodivostního detektoru,

plamenového ionizačního detektoru, infračerveného senzoru pro střední infračervenou oblast nebo jejich kombinace nebo jiného vhodného senzoru pro analýzu složení plynu obsahujícího methan) za vzniku vstupních dat, která jsou vyhodnocena řídicí jednotkou. Řídicí jednotka následně zpětně-vazebně modifikuje kterýkoliv procesní parametr, tj. teplotu a/nebo tlak a/nebo dobu zdržení biomasy a/nebo množství zavedené biomasy a/nebo poměr jednotlivých složek biomasy v alespoň jednom torefakčním reaktoru a/nebo v alespoň jednom pyrolýzním reaktoru a/nebo množství přidaného katalyzátoru.

Řídicí jednotka tedy reguluje provozní veličiny u každého torefakčního a pyrolýzního reaktoru zvlášť na základě analýzy výstupního plynu a jeho složení. Celý proces lze tedy řídit a lze ovlivnit složení plynu na požadovanou hodnotu, např. odpojením některého z více reaktorů, změnou teplot a dílčích provozních parametrů u jednotlivých reaktorů apod., provádět injekci katalyzátorů, aditiv a dalších chemických reagentů a substancí v průběhu procesu v přesně stanoveném čase a místě. Zapojením více reaktorů lze pak stabilizovat či ovlivnit výstupní produkty a jejich parametry, především pak finálně produkovaný plyn za účelem změny poměrového složení a tvorby složek methanu na úkor CO_2 a H_2 .

Druhým cílem vynálezu je poskytnout zařízení pro provádění způsobu obohacení plynu vzniklého torefakcí a pyrolýzou biomasy methanem na výsledný objem 10 až 60 % obj. methanu.

Uvedeného cíle je dosaženo zařízením pro provádění výše uvedeného způsobu, obsahujícím:

- a. alespoň jeden torefakční reaktor se vstupem biomasy a výstupem torifikované biomasy,
- b. alespoň jeden pyrolýzní reaktor se vstupem torifikované biomasy, výstupem pyrolýzního zbytku a výstupem pyrolýzního plynu obohaceného methanem,
- c. aditivační zařízení pro aditivaci biomasy katalyzátorem, přičemž aditivační zařízení je uspořádáno v torefakčním reaktoru jako injekční zařízení (např. jako alespoň jedna tryska uvnitř torefakčního reaktoru) a/nebo v pyrolýzním reaktoru jako injekční zařízení (např. jako alespoň jedna tryska uvnitř pyrolýzního reaktoru) a/nebo mezi torefakčním a pyrolýzním reaktorem mimo obou reaktorů (např. jako rozprašovací zařízení nebo míchací zařízení),
- d. analyzátor pro analýzu obsahu methanu v plynu vzniklém torefakcí a/nebo pro analýzu obsahu methanu v pyrolýzním plynu za vzniku vstupních dat, a
- e. řídicí jednotku uzpůsobenou k vyhodnocení vstupních dat a zpětně-vazebné modifikaci podmínek v torefakčním reaktoru, aditivačním zařízení a/nebo pyrolýzním reaktoru.

Torefační i pyrolýzní reaktor může s výhodou být reaktor s obecně známým šnekovým podavačem. Regulací otáček závitů lze modifikovat dobu zdržení biomasy v reaktoru, která je obvykle 30 minut až 2 hodiny. Tyto reaktory mohou být opatřeny zpětnými klapkami a řídicími ventily za účelem dosažení požadovaných tlaků. V reaktorech je během torefakce a pyrolýzy atmosféra v podstatě bez přítomnosti kyslíku.

Injekční trysky v reaktorech lze uspořádat pravidelně v odstupu po celé délce reaktoru a vhodně jimi zkrápět nebo poprašovat biomasu při jejím průchodu reaktorem. V průběhu procesu torefakce i pyrolýzy dochází k termálně degradačním jevům postupně, tedy s rostoucí teplotou a časem zdržení v reaktoru. Na základě měření lze konstatovat, že nejdříve dochází k sušení materiálu a jeho prvotnímu prohřívání po celém objemu, následně odpaření lehce prchavých látek a poté následuje narušení složitějších vazeb materiálu a jejich štěpení, kdy vznikající plynné substance mohou také dále ovlivnit následný termický degradační proces (rozklad materiálu). Díky injekci katalyzátorů v určitém bodě a čase v reaktoru lze tedy ovlivnit proces termické degradace, a tím opět změnit výsledné složení produkovaného plynu.

Ve výhodném provedení může zařízení obsahovat alespoň dva torefakční reaktory uspořádané navzájem paralelně nebo sériově. Podobně, zařízení může obsahovat alespoň dva pyrolýzní reaktory uspořádané navzájem paralelně nebo sériově.

- 5 Třetím cílem vynálezu je poskytnout nové použití kteréhokoliv z katalyzátorů dle formulací A-G pro obohacení plynu vzniklého torefakcí a pyrolýzou biomasy methanem.

- Čtvrtým cílem vynálezu je poskytnout počítačový program [produkt] obsahující instrukce, které způsobí, že výše uvedené zařízení obsahující řídicí jednotku provede kroky způsobu zahrnujícího
10 zpětně-vazební modifikaci alespoň jednoho procesního parametru na základě analýzy obsahu methanu v plynu vzniklém torefakcí a/nebo pyrolýzou.

- Pátým cílem vynálezu je poskytnout počítačem čitelné médium, na kterém je uložen výše uvedený počítačový program [produkt], nebo signál nosiče nesoucí výše uvedený počítačový program
15 [produkt].

Objasnění výkresů

- 20 Podstata vynálezu je dále objasněna na příkladech jeho uskutečnění, které jsou popsány s využitím připojených výkresů, kde:

- Obr. 1 schematicky znázorňuje příkladné zařízení pro obohacení plynu vzniklého torefakcí a pyrolýzou biomasy methanem.
25

Příklady uskutečnění vynálezu

- Uvedená uskutečnění znázorňují příkladné varianty provedení vynálezu, která však nemají z
30 hlediska rozsahu ochrany žádný omezující vliv.

- Jedním příkladem uskutečnění je způsob podle nároku 3 s kombinovanou aditivací během torefakce, mezi torefakcí a pyrolýzou a během pyrolýzy, což je znázorněno na obr. 1. Odborník v oboru však uzná, že jednotlivé kroky aditivace lze použít i pouze během torefakce nebo pouze
35 mezi torefakcí a pyrolýzou (viz nárok 2) nebo pouze během pyrolýzy (viz nárok 1), případně je různě kombinovat, např. jako aditivaci během torefakce a mezi torefakcí a pyrolýzou, nebo jako aditivaci během torefakce a během pyrolýzy, nebo jako aditivaci mezi torefakcí a pyrolýzou a během pyrolýzy.

- 40 V tomto příkladu uskutečnění, obr. 1 rovněž znázorňuje zařízení pro provádění tohoto způsobu s paralelně uspořádanými torefakčními reaktory 3 a pyrolýzními reaktory 7. Odborník v oboru však uzná, že pro podstatu vynálezu postačuje pouze alespoň jeden torefakční reaktor 3 a alespoň jeden pyrolýzní reaktor 7. Rovněž lze kteréhokoliv dva torefakční a/nebo pyrolýzní reaktory 3, 7 zařadit za sebou do sériového zapojení.

- 45 Dle obr. 1, vstupním materiálem na začátku uvedeného způsobu je např. odpadní materiál, který by byl dále jinak nevyužitelný (plasty, papír, dřevotříska), palivo s nízkou výhřevností, které není výhodné přímo spalovat či jinak přímo energeticky využít (nízkoenergetické uhlí/hlušina, zbytky z výroby paliv a průmyslových provozů) nebo biomasa s nízkou výhřevností (zbytky zemědělské produkce, dřevní odpad, kůra, potravinářské zbytky, kaly, seno, sláma, otruby, rýžové slupky, listí apod.). Tento vstupní materiál je vložen do zásobníku 1, který je možné uzavřít (např. vrchem plněná nádoba, silo). Materiál je postupně odebírán, nejlépe ze spodní části, pomocí dopravníku v požadovaném množství a je dopraven do torefakčního reaktoru 3. Zásobník 1 je možno naplnit inertním plynem, aby bylo zaručeno, že není v procesu od zásobníku 1 až po konečný výstup
55 přítomen kyslík a nedošlo tak k hoření materiálu po celou dobu jeho zpracování. Materiál tedy

postupuje torefakčním reaktorem 3, kde podstoupí proces torefakce s aditivací katalyzátorem pomocí prvního aditivačního zařízení 4 a dojde k změně jeho fyzikálně-chemických vlastností. Materiál je vysušen a dojde k uvolnění části materiálu ve formě plynu o určitém složení, které závisí na parametrech procesu a složení vstupního materiálu. Obecně se jedná převážně o CO, CO₂, menší množství CH₄ a H₂, a případně další nepatrné množství dalších plynů a uhlovodíků. Na výstupu z torefakčního reaktoru 3 je tedy možné separovat tuhý zbytek a plynnou frakci, která se procesem torefakce z materiálu uvolnila a kterou lze odvést k dalšímu zpracování.

Tuhý zbytek je vstupním materiálem pro následné pyrolýzní zpracování, který díky torefakci získal nové vlastnosti a byl energeticky zhodnocen. Zhodnocení spočívá v tzv. karbonizaci, kdy došlo ke zvýšení celkového podílu uhlíku ve složení materiálu, došlo k jeho vysušení a částečné změně struktury materiálu, který tak např. získává hydrofobní vlastnosti. Celková energetická hodnota takto zpracovaného materiálu je vyšší než u materiálu vstupního. Takto torifikovaný materiál může být podroben další aditivaci v mezikroku pomocí druhého aditivačního zařízení 6, což může probíhat formou zkrápění materiálu katalyzátorem v tekuté formě, případně fyzikálním míšením torifikovaného materiálu s katalyzátorem. Následně je možné torifikovaný materiál ještě zpracovat např. do formy pelet, nebo briket pro jejich lepší transport a manipulaci.

Torifikovaný materiál dále postupuje do procesu pyrolýzy, kde na materiál působí jiné procesní podmínky než během torefakce – především pak vyšší teplota např. v kombinaci s regulovatelnou dobou zdržení materiálu v pyrolýzním reaktoru 7, kde podstoupí proces pyrolýzy s aditivací katalyzátorem pomocí třetího aditivačního zařízení 8. Dochází znovu k energetickému zhodnocení materiálu za vzniku pyrolýzního tuhého zbytku, pyrolýzní kapaliny a pyrolýzního plynu s obsahem CO, CO₂, H₂ a CH₄ a jiných plynů. Úkolem katalyzátoru je obohatit pyrolýzní plyn o methan na úkor vznikajícího CO₂ a H₂.

Po výstupu jak z torefakčního reaktoru 3, tak z pyrolýzního reaktoru 7 je složení plynu vzniklého torefakcí, resp. pyrolýzního plynu v reálném čase analyzováno pomocí prvního, resp. druhého analyzátoru 5, 9, např. analyzátoru Syngas analyzer 3100, Siemens FIDAMAT 6, Siemens CALOMAT 6, Siemens ULTRAMAT 6 a/nebo Master GC). Vzniklá vstupní data jsou vyhodnocena řídicí jednotkou 2, která následně zpětně-vazebně modifikuje kterýkoliv procesní parametr v kroku torefakce, v kroku pyrolýzy nebo v mezikroku mezi torefakcí a pyrolýzou.

35 Průmyslová využitelnost

Výše popsáný způsob, zařízení, použití, počítačový program [produkt] a počítačem čitelné médium či signál nosiče lze využít při energetickém zhodnocování biomasy a různých odpadních produktů.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob obohacení plynu vzniklého torefakcí a pyrolýzou biomasy methanem, obsahující následující kroky:

- a. zavedení biomasy do alespoň jednoho torefakčního reaktoru (3);
- b. torefakce biomasy při teplotě 50 °C až 400 °C a tlaku -50 kPa až +100 kPa v torefakčním reaktoru (3);
- c. zavedení torifikované biomasy do alespoň jednoho pyrolýzního reaktoru (7); a
- d. pyrolýza torifikované biomasy při teplotě 400 °C až 800 °C a tlaku -50 kPa až +100 kPa v pyrolýzním reaktoru (7) za vzniku pyrolýzního plynu obohaceného methanem s obsahem methanu 10 až 60 % obj.,

vyznačující se tím, že během pyrolýzy v kroku d. je provedena aditivace biomasy katalyzátorem zvoleným ze skupiny sestávající z nanočástic niklu, nanočástic mědi, nanočástic kobaltu, nanočástic platiny, nanočástic palladia, nanočástic ruthenia, nanočástic rhodia, nanočástic molybdenu, nanočástic rtuti a rhodaminu 6G, nebo jakékoliv jejich kombinace.

2. Způsob obohacení plynu vzniklého torefakcí a pyrolýzou biomasy methanem, obsahující následující kroky:

- a. zavedení biomasy do alespoň jednoho torefakčního reaktoru (3);
- b. torefakce biomasy při teplotě 50 až 400 °C a tlaku -50 kPa až +100 kPa v torefakčním reaktoru (3);
- c. zavedení torifikované biomasy do alespoň jednoho pyrolýzního reaktoru (7); a
- d. pyrolýza torifikované biomasy při teplotě 400 až 800 °C a tlaku -50 kPa až +100 kPa v pyrolýzním reaktoru (7) za vzniku pyrolýzního plynu obohaceného methanem s obsahem methanu 10 až 60 % obj., **vyznačující se tím**, že před pyrolýzou v kroku d., s výhodou během torefakce v kroku b. a/nebo po torefakci v kroku b. mimo torefakčního reaktoru (3), je provedena aditivace biomasy katalyzátorem zvoleným ze skupiny sestávající z nanočástic kobaltu, nanočástic platiny, nanočástic palladia, nanočástic ruthenia, nanočástic rhodia, nanočástic molybdenu, nanočástic rtuti, rhodaminu 6G a kombinace nanočástic niklu a kobaltu, nebo jakékoliv jejich kombinace.

3. Způsob podle nároku 1 a 2, **vyznačující se tím**, že aditivace biomasy katalyzátorem je provedena před pyrolýzou v kroku d. podle nároku 2 i během pyrolýzy v kroku d. podle nároku 1.

4. Způsob podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že katalyzátor je deponován na povrchu nosiče zvoleného ze skupiny sestávající z hlinitokřemičitanu, oxidu hlinitého, oxidu hořečnatého, oxidu titaničitého, oxidu ceričitého, oxidu zirkoničitého nebo jakékoliv jejich kombinace.

5. Způsob podle nároku 4, **vyznačující se tím**, že katalyzátor obsahuje směs 12,0 až 13,0 % hmotn. nanočástic niklu a 1,5 až 2,5 % hmotn. nanočástic kobaltu vzhledem k nosiči.

6. Způsob podle nároku 4, **vyznačující se tím**, že katalyzátor obsahuje směs 7,0 až 8,0 % hmotn. nanočástic niklu, 7,0 až 8,0 % hmotn. nanočástic kobaltu a 0,1 až 0,5 % hmotn. nanočástic ruthenia vzhledem k nosiči.

7. Způsob podle nároku 4, **vyznačující se tím**, že katalyzátor obsahuje směs 10,0 až 11,0 % hmotn. nanočástic molybdenu a 1,0 až 2,0 % hmotn. nanočástic rtuti vzhledem k nosiči.

8. Způsob podle nároku 4, **vyznačující se tím**, že katalyzátor obsahuje 0,1 až 1,0 % hmotn. nanočástic platiny vzhledem k nosiči.

9. Způsob podle nároku 4, **vyznačující se tím**, že katalyzátor obsahuje 0,1 až 2,0 % hmotn. nanočástic mědi nebo palladia nebo rhodia vzhledem k nosiči.

10. Způsob podle nároku 4, **vyznačující se tím**, že katalyzátor obsahuje 0,05 až 0,30 % hmotn. rhodaminu 6G vzhledem k nosiči.

11. Způsob podle kteréhokoli z nároků 4 až 10, **vyznačující se tím**, že množství katalyzátoru deponovaného na nosiči je 0,1 až 5 mg na 1 g biomasy.

5 12. Způsob podle kteréhokoli z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že torefakce biomasy v kroku b. nároku 1 nebo 2 probíhá v alespoň dvou torefakčních reaktorech (3) uspořádaných navzájem sériově nebo paralelně.

10 13. Způsob podle kteréhokoli z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že pyrolýza torifikované biomasy v kroku d. nároku 1 nebo 2 probíhá v alespoň dvou pyrolýzních reaktorech (7) uspořádaných navzájem sériově nebo paralelně.

14. Způsob podle kteréhokoli z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že biomasa obsahuje traviny, dřeviny, seno, slámu, otruby, slupky, listí a/nebo odpad zemědělské produkce.

15 15. Způsob podle kteréhokoli z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že v pyrolýzním plynu vzniklým v kroku d., případně rovněž v plynu vzniklém během torefakce v kroku b., je analyzován obsah methanu pomocí analyzátoru (5, 9) za vzniku vstupních dat, která jsou vyhodnocena řídicí jednotkou (2), přičemž řídicí jednotka (2) následně zpětně-vazebně modifikuje teplotu a/nebo tlak a/nebo dobu zdržení biomasy a/nebo množství zavedené biomasy a/nebo poměr jednotlivých složek biomasy v alespoň jednom torefakčním reaktoru (3) a/nebo v alespoň jednom pyrolýzním reaktoru (7) a/nebo množství přidaného katalyzátoru.

20 16. Zařízení pro provádění způsobu podle kteréhokoli z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že obsahuje
 a. alespoň jeden torefakční reaktor (3) se vstupem biomasy a výstupem torifikované biomasy,
 b. alespoň jeden pyrolýzní reaktor (7) se vstupem torifikované biomasy, výstupem pyrolýzního zbytku a výstupem pyrolýzního plynu obohaceného methanem,
 25 c. aditivační zařízení (4, 6, 8) pro aditivaci biomasy katalyzátorem, přičemž aditivační zařízení je uspořádáno v torefakčním reaktoru (3) jako injektážní zařízení (4) a/nebo v pyrolýzním reaktoru (7) jako injektážní zařízení (8) a/nebo mezi torefakčním a pyrolýzním reaktorem (3, 7) mimo obou reaktorů,
 d. analyzátor (5, 9) pro analýzu obsahu methanu v plynu vzniklém torefakcí a/nebo pro analýzu
 30 obsahu methanu v pyrolýzním plynu za vzniku vstupních dat, a
 e. řídicí jednotku (2) uzpůsobenou k vyhodnocení vstupních dat a zpětně-vazebně modifikaci podmínek v torefakčním reaktoru (3), aditivačním zařízení (4, 6, 8) a/nebo pyrolýzním reaktoru (7).

35 17. Zařízení podle nároku 16, **vyznačující se tím**, že obsahuje alespoň dva torefakční reaktory (3) uspořádané navzájem paralelně nebo sériově.

18. Zařízení podle nároku 16 nebo 17, **vyznačující se tím**, že obsahuje alespoň dva pyrolýzní reaktory (7) uspořádané navzájem paralelně nebo sériově.

40 19. Zařízení podle kteréhokoliv z nároků 16 až 18, **vyznačující se tím**, že aditivační zařízení (6) uspořádané mezi torefakčním a pyrolýzním reaktorem (3, 7) mimo obou reaktorů je rozprašovací zařízení nebo míchací zařízení.

20. Použití katalyzátoru ze kteréhokoliv z nároků 5 až 10 pro obohacení plynu vzniklého torefakcí a pyrolýzou biomasy methanem.

21. Počítačový program [produkt] obsahující instrukce, které způsobí, že zařízení podle kteréhokoliv z nároků 16 až 19 provede kroky způsobu podle nároku 15.

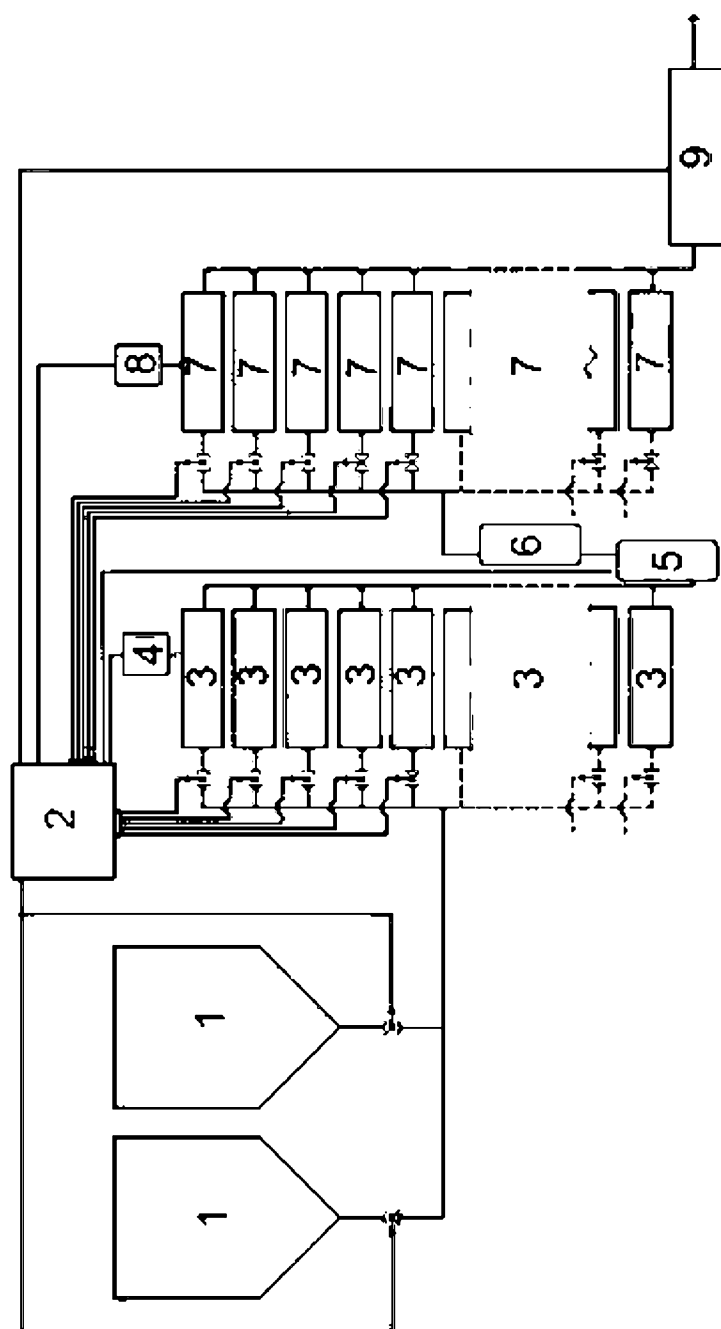
22. Počítačem čitelné médium, na kterém je uložen počítačový program [produkt] podle nároku 21, nebo signál nosiče nesoucí počítačový program [produkt] podle nároku 21.

1 výkres

5

Seznam vztahových značek:

- 1 zásobník
- 2 řídicí jednotka
- 3 torefakční reaktor
- 4 první aditivační zařízení jako injektážní zařízení torefakčního reaktoru 3
- 5 první analyzátor
- 6 druhé aditivační zařízení mezi torefakčním reaktorem 3 a pyrolýzním reaktorem 7
- 7 pyrolýzní reaktor
- 8 třetí aditivační zařízení jako injektážní zařízení pyrolýzního reaktoru 7
- 9 druhý analyzátor



Obr. 1