

UŽITNÝ VZOR

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2007 - 19548**
(22) Přihlášeno: **31.12.2007**
(47) Zapsáno: **05.02.2008**

(11) Číslo dokumentu:

18249

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:
F23C 10/00 (2006.01)

(73) Majitel:
Mikoda Jiří Ing. CSc., Ústí nad Labem, CZ

(72) Původce:
Mikoda Jiří Ing. CSc., Ústí nad Labem, CZ

(54) Název užitého vzoru:
Cirkulační fluidní kotel na uhlí a biomasu

CZ 18249 U1

Cirkulační fluidní kotel na uhlí a biomasu

Oblast techniky

Technické řešení se týká teplotních kotlů na pevná paliva s individuálními tepelnými výkony cirkulačních fluidních kotlů na uhlí a biomasu 3 MW až 16 MW. To je výkonová oblast, která byla při spalování uhlí dříve zajišťována dnes ekologicky neakceptovatelnými roštovými kotli.

Dosavadní stav techniky

Zajištění ekologicky akceptovatelných teplotních kotlů ve výkonové řadě kotlů o tepelných výkonech 3 až 20 MW se podařilo řešením, které je předmětem českých patentů CZ 283 457 a CZ 294 451. Řešení spočívá v sérii následujících opatření:

- 10 - roštové topeniště se nahradí fluidním topeništěm se spalovací fluidní oxidační vrstvou křemičitého písku o granulometrii 1 až 1,6 mm, což je křemičitý písek filtrů pitné vody;
- fluidačním médiem je směs spalovacího vzduchu a recyklačních spalin;
- je vyřazen cyklonový odlučovač spalin a před tkaninový filtr je instalován vertikální přímý vodní chladič spalin s nástřikem vody pneumatickými vodními tryskami.
- 15 Toto řešení je dlouhodobě úspěšně ověřeno pro celé spektrum hnědých a černých uhlí, dřevní štěrku a depatogenizované kaly z čistíren odpadních vod. Při přestavbě stávajících roštových kotlů na kotle fluidní se jednalo o investičně optimální řešení ekologizace roštového kotle.

V současné době již není aktuálním problémem ekologizace stávajících roštových kotlů, ale realizace kotlů nových. Zde je nutné:

- 20 - optimalizovat konstrukční řešení topeniště fluidního kotle a jeho konvekčních výměníků;
- intenzifikovat systém tepelných výměníků kotlů využitím potenciálu tepelné vestavby instalované do spalovací fluidní oxidační vrstvy křemičitého písku;
- minimalizovat spotřebu vápence CaCO_3 k zachycování oxidu siřičitého SO_2 .

Problém je nutno řešit zcela novým pojetím teplotního kotle na pevná paliva vycházejícím z chemicko-inženýrského rozboru teplotního kotle jako fluidního spalovacího a desulfatačního reaktoru s vícestupňovou desulfatací spalin s návazným systémem intenzifikovaných tepelných výměníků.

Podstata technického řešení

Výsledkem chemicko - inženýrského rozboru fluidního spalovacího a desulfatačního reaktoru se spalovací fluidní oxidační vrstvou křemičitého písku je řešení cirkulačního fluidního kotle na uhlí a biomasu, jehož topeniště je vymezeno z boků membránovými stěnami, z čela membránovou stěnou, zezadu membránovou stěnou, shora přesazeným stropem tvořeným membránovými stěnami propojenými trubkami, zespodu je topeniště vymezeno trubkovým propadovým roštem propojeným s ventilátorem primárního spalovacího vzduchu a recyklačních spalin, membránová stěna je přes sesyp nebo sesypy propojena s dávkovačem nebo dávkovači uhlí a biomasy, sesyp nebo sesypy jsou propojeny s přívodem sekundárního vzduchu nebo sekundárního vzduchu a recyklačních spalin, topeniště obsahuje sypanou vrstvu křemičitého písku z rozmezí granulometrie 0,4 až 2 mm, v této vrstvě je instalována trubková vestavba, která je demontovatelná a vyjímatelná z topeniště, trasa spalin na začátku vymezená trubkami propojujícími membránové stěny přesazeného stropu je propojena přes systém konvekčních výměníků cirkulačního fluidního kotle na uhlí a biomasu s vodním chladičem spalin a následně s cyklonem nebo cyklony, trubkové membránové stěny jsou částečně nebo zcela vyzděny žáruvzdornou vyzdívkou. Trubková vestavba je realizována z feritické chromové žáruvzdorné oceli. Trubková vestavba je realizována jako svazek smyček trubek upevněných k nosné přírubě nebo nosným přírubám demontovatelně

spojeným s topeništěm. V systému konvekčních výměníků cirkulačního fluidního kotle na uhlí a biomasu je instalován konvekční výměník s volnou cirkulací vody, v němž trubky tvarované ohyby do trubkových smyček propojují rozvodné trubky s bubnem. Výpust' odpadů spalovacího procesu z cyklonu nebo cyklonů je spojena s výtlačným potrubím ventilátoru sekundárního spalovacího vzduchu nebo sekundárního spalovacího vzduchu a recyklačních spalin ústícím do sesypu nebo sesypů. Topeniště je po celé délce a po celé výšce rozděleno zcela nebo částečně vyzděnou membránovou stěnou na dvě paralelní samostatná topeniště. Vodní chladič spalin je osazen jednou nebo více pneumatickými vodními tryskami.

Výše uvedené řešení cirkulačního fluidního kotle na uhlí a biomasu je založeno na laboratorních a poloprovozních poznatcích získaných při výzkumu systému a při jejich dlouhodobém ověření na provozních jednotkách s tepelnými výkony 3 MW a 5 MW jak v parním, tak v horkovodním provedení fluidního kotle se spalovací fluidní oxidační vrstvou křemičitého písku.

A/ Částice paliva, která leží na fluidním roštu, není schopná fluidovat, pokud pracovní rychlost fluidačního média proudícího fluidním reaktorem je menší než prahová rychlost fluidace této částice paliva. Ta se při této rychlosti fluidačního média dostane do vzhledu v celém objemu fluidní vrstvy, a to nezávisle na teplotě systému, jestliže je do fluidního reaktoru nasypán inertní sypký materiál, pro nějž platí, že:

- měrná hmota částice paliva je menší než měrná hmota inertní fluidní vrstvy při prahu fluidace;
- měrná hmota částice paliva je větší než měrná hmota expandované inertní fluidní vrstvy.

Při poloprovozním výzkumu spalovacího procesu bylo zjištěno, že:

- při spalování kusového uhlí je optimální granulometrie křemičitého písku jako inertního materiálu fluidní vrstvy 1 až 1,6 mm;
- při spalování dřevní štěpky je optimální granulometrie křemičitého písku jako inertního materiálu fluidní vrstvy 0,6 až 0,9 mm;
- při spalování směsi uhlí a biomasy a při spalování uhlí s vysokým podílem prachových částic je optimální granulometrie křemičitého písku jako inertního materiálu fluidní vrstvy 0,4 až 2 mm.

Zásadní výhodou tohoto uspořádání fluidního kotle je, že velikost dávkovaného kusového uhlí nebo biomasy je limitována volbou dávkovačů paliva do cirkulačního fluidního kotle na uhlí a biomasu. V poloprovozním spalovacím reaktoru o průměru 200 mm byla po vložení do reaktoru úspěšně spálena uhelná částice o průměru 100 mm.

B/ Hybnost hrubozrnných částic křemičitého písku je tak vysoká, že:

- křemičitý písek oddrcuje z povrchu hořícího paliva vyhořelou popelovou vrstvu;
- veškeré popeloviny opouštějí fluidní topeniště jako úletová frakce ve spalinách;
- při spalování uhlí se jedná o kinetické hoření uhlíku C na oxid uhličitý CO_2 ; je to systém, v němž je dosaženo maximálně dostupné rychlosti spalování tím, že jsou eliminovány difusní odpory průchodu kyslíku vyhořelou popelovou vrstvou; rychlost hoření uhlíku na oxid uhličitý CO_2 je určena kinetikou oxidace uhlíku C na oxid uhelnatý CO a závisí pouze na teplotě spalovacího procesu a velikosti částic uhlí;
- pokud dochází k desulfataci uhelných spalin uhlí vápencem, částice zkalcinovaného a částečně nasulfatovaného vápence opouštějí topeniště jako oddrcené prachové částice CaO/CaSO_4 společně se spalinami.

V tomto systému fluidního spalování odpadá trasa žhavých popelovin z fluidního topeniště a entalpie odpadů spalovacího procesu je využívána konvekčními výměníky.

C/ Důsledkem tohoto vícefázového fluidního systému je výrazná nehomogenost spalovací fluidní oxidační vrstvy křemičitého písku a uhelných částic a částic CaO/CaSO_4 po výšce fluidního topeniště. Při použití standardního složení inertu jako 150mm sypané výšky křemičitého

písku o granulometrii 1 až 1,6 mm, 100mm sypané výšky křemičitého písku o granulometrii 0,6 až 0,9 mm a je-li spalováno sirné uhlí o granulometrii 10 až 20 mm o výhřevnosti 17,6 MJ/kg s přívodem vápence o granulometrii 0,5 až 1 mm, je klidová výška spalovací fluidní oxidační vrstvy křemičitého písku doplněná o výšku vrstvy spalovaného uhlí a částic CaO/CaSO_4 v tope-

- 5 ništi 320 až 350 mm a vzniká následující fluidní systém:
- homogenní spalovací fluidní oxidační vrstva křemičitého písku s částicemi uhlí a CaO/CaSO_4 o stabilizovaném jen mírně se vlnícím povrchu o výšce 800 až 900 mm, v této vrstvě dochází k maximálnímu přenosu hybnosti, hmoty a tepla a tato je optimálním prostorem pro instalaci tepelné vestavby; její optické sledování umožněné konstrukcí shora otevřené poloprovozní jed-
- 10 notky prokázalo, že je velice podobná sopečné lávě s hladkým mírně se vlnícím povrchem;
- silně expandovaná spalovací fluidní oxidační vrstva křemičitého písku s částicemi uhlí a CaO/CaSO_4 s intenzivními turbulencemi o výšce dosahující od trubkového propadového roštu 2 200 až 2 300 mm; její výška je přesně indikována ukončením abraze membránových stěn tope-
- 15 niště z kotlářské uhlíkové oceli; ve výšce 900 mm nad trubkovým propadovým rostem topeniště byl za dvě topné sezóny úbytek tloušťky membránové stěny 1,4 mm, ve výšce 2 300 mm byl úbytek tloušťky membránové stěny nulový; do této části spalovací fluidní oxidační vrstvy křemičitého písku je optimální z boku přivádět palivo šnekovým dávkovačem bez osového hřídele, který svým téměř 100% plněním palivem tlakově odděluje topeniště a provozní zásobník paliva; takto je možné dávkovat palivo do části topeniště, kde je přetlak, aniž by došlo k jeho
- 20 vznícení v provozním zásobníku paliva;
- mrak fluidujících částic tvořený zejména prachovými podíly uhlí a částicemi CaO/CaSO_4 dosahující do výšky přibližně 3 500 mm; výška a složení této části fluidní vrstvy byla zjištěna při nevhodné konstrukci výšky topeniště fluidního kotle; strop topeniště byl při rekonstrukci topeniště snižen z 5 000 mm na přibližně 2 800 mm; fluidní kotel při spalování uhlí přestal plnit
- 25 emisní limity čistoty spalin v oxidu uhelnatém CO a oxidu siřičitém SO_2 ; v popílku zachyceném v tkaninovém filtru výrazně vzrostl obsah částic s vysokým nedopalem uhlíku a vysokým obsahem nezreagovaného CaO.

Dlouhodobý provoz teplárenských fluidních kotlů se spalovací fluidní oxidační vrstvou křemičitého písku prokázal následující specifika spalovacího a desulfatačního procesu, která se stala chemicko - inženýrským základem řešení cirkulačního fluidního kotle na uhlí a biomasu.

- 30 A/ Při bočním přívodu uhlí do spalovací fluidní oxidační vrstvy křemičitého písku vzniká i přes celkovou oxidační atmosféru systému silně proměnlivý profil koncentrace kyslíku O_2 v topeništi, minimální obsah O_2 je pod dávkovači uhlí v oblasti bouřlivého vývoje prchavé hořlaviny. Pří-
- 35 mým důsledkem je relativně vysoká produkce oxidu uhelnatého CO v této oblasti topeniště. Představa spalovací fluidní oxidační vrstvy křemičitého písku jako ideálně míchaného reaktoru je v případě fluidního spalování z hlediska rovnoměrnosti obsahu O_2 po délce topeniště přílišným zjednodušením problematiky.

- B/ Spalování uhlí je z hlediska kinetiky reakcí I. řádu vůči kyslíku O_2 s tím, že řídicí chemickou reakcí je oxidace uhlíku na CO. Rychlost oxidace CO na CO_2 je pokládána za natolik vysokou, že doba oxidace CO na CO_2 tvoří zanedbatelnou část doby hoření paliva. Provozní výsledky
- 40 prokázaly, že tato představa řídicích dějů spalovací reakce platí až od teploty 700 °C, pod touto teplotou je rychlost oxidace CO na CO_2 tak pomalá, že promísení spalin při obsahu O_2 ve spalinách 10 % nevede k dokončení oxidace CO na CO_2 . Řešením problému je vytvoření směšovacího prostoru v topeništi nad spalovací fluidní oxidační vrstvou křemičitého písku s teplotou
- 45 udržovanou regulací přívodu sekundárního vzduchu nad 700 °C, žádoucí obsah O_2 ve spalinách je 7,5 až 8 %.

C/ Zachycování oxidu siřičitého SO_2 oxidem vápenatým CaO je zcela odlišné, vznikají-li částice CaO dehydratací hydroxidu vápenatého $\text{Ca}(\text{OH})_2$ při teplotách 350 až 450 °C nebo kalcinací uhličitánu vápenatého CaCO_3 při teplotách 800 až 850 °C.

- 50 Při laboratorních testech s pevnou vrstvou hydroxidu vápenatého $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bylo zjištěno, že:

- rovnovážná koncentrace systému SO_2/CaO při vzniku CaO z Ca(OH)_2 představuje přibližně 94% konverzi CaO na CaSO_4 a nezávisí na kvalitě vápence, z něhož byl Ca(OH)_2 vyroben; k 90% zachycování SO_2 by teoreticky stačilo přivádět Ca(OH)_2 s molárním poměrem Ca/S 0,85;
- tyto výsledky v rozsahu teplot 750 až 850 °C jsou jen minimálně závislé na teplotě.
- 5 Při laboratorních testech vápence na shodném laboratorním reaktoru a poloprovozních testech bylo zjištěno, že:
 - rovnovážná koncentrace systému SO_2/CaO je 25 až 45 %; jde o důsledek přítomnosti oxidu uhličitýho CO_2 při vzniku krystalů CaSO_4 , které při souběžné kalcinaci vápence a jeho sulfataci mají 4 až 6× větší velikost než krystaly CaSO_4 vznikající při sulfataci dehydratovaného Ca(OH)_2 ; krystaly CaSO_4 ucpou na povrchu CaO částice její póry, které se vytvořily uvolněním oxidu uhličitýho CO_2 při kalcinaci vápence; sulfatace se zastavuje na povrchu CaO částice, protože ucpané póry znemožňují sulfataci uvnitř CaO částice; laboratorní testy prokázaly, že rovnovážná sulfatace vápencové částice je výrazně závislá na struktuře CaCO_3 částice, a tedy na lokalitě její těžby;
 - 15 - poloprovozní testování spalovací fluidní oxidační vrstvy, kde inertem byl vápenec a nikoliv křemičitý písek, při kterém bylo spalováno sirné uhlí, prokázalo zásadní vliv teploty procesu na rychlost kalcinace vápence a následně na jeho sulfataci; při 790 °C doba zkalcinování 1 až 2mm částic vápence na úroveň 95 % vzniku CaO byla 105 min; při 815 °C byla tato doba 40 min, při 850 °C byla tato doba 30 min;
 - 20 - poloprovozní testy spalovací fluidní oxidační vrstvy křemičitýho písku prokázaly jako optimální teplotu desulfatace spalin teploty 820 až 840 °C;
 - ve spalinách nad směsí CaSO_4 a oxidu křemičitýho SO_2 byl již od 940 °C indikován disociační tlak SO_2 ; to znamená, že nad teplotou 940 °C nemůže z CaO a SO_2 vzniknout CaSO_4 a že od této teploty se CaSO_4 rozkládá na CaO a SO_2 ; oxid křemičitý SiO_2 je základní složkou popelovin;
 - 25 - provozní zkoušky desulfatace spalin na 5MW fluidním kotli se spalovací fluidní oxidační vrstvou křemičitýho písku prokázaly podstatně nižší konverzi CaO částice na CaSO_4 , než která byla při laboratorních testech; navíc tyto provozní zkoušky prokázaly, že dosažená sulfatace CaO jen minimálně závisí na lokalitě těžby vápence; reálná sulfatace CaO částice, která při laboratorních testech vykazovala konverzi na CaSO_4 44 %, byla 20 až 25 %; při poloprovozních zkouškách byla sledována doba zdržení uhlí v topeništi; tato doba je stanovitelná jako podíl hmoty uhlí v topeništi dělený rychlostí přívodu hmoty uhlí do topeniště; takto stanovená doba hoření uhlí o velikosti částic do 40 mm je 20 až 25 minut.

Z naměřených údajů vyplývá, že:

- 35 - doba zdržení CaO/CaSO_4 částice v topeništi je určena rychlostí oddrcování této částice na velikost úletové frakce spalin;
- z relativně shodného obsahu CaO ve všech granulometrických frakcích odpadů spalovacího procesu na poloprovozní jednotce se spalovací fluidní oxidační vrstvou křemičitýho písku vyplývá, že doba zdržení v topeništi je pro uhelné částice o velikosti 10 až 40 mm a vápencové částice o velikosti 0,5 až 1 mm velice blízká;
- 40 - zjištěná doba zdržení CaO/CaSO_4 částic v topeništi je kratší než doba úplného zkalcinování CaCO_3 částice na CaO a je určujícím parametrem konverze CaO/CaSO_4 částice.

Při srovnání stupně konverze CaO na CaSO_4 částice vzniklé z Ca(OH)_2 a z CaCO_3 je nutno konstatovat, že nižší rovnovážná i provozně dosažitelná sulfatace CaO částice vzniklé z vápence je 45 systémovým problémem fluidní spalovací techniky a prakticky není ovlivnitelná technickým řešením fluidního spalovacího reaktoru. Jde o neočekávatelný a zásadní poznatek, že při zachycování SO_2 vápencem platí, že sulfatace CaO částice ve fluidním spalovacím reaktoru není řízena

kinetikou procesu ani není řízena difusními odpory trasy SO_2 v CaO částici, ale podmínkami kalcinace vápence a jeho oddrcování v topeništi.

Zásadním poznatkem výše uvedeného výzkumu je, že k dosažení 80% zachycení SO_2 je nutno dávkovat CaCO_3 pro sirné hnědé uhlí s molárním poměrem vápna a síry Ca/S 3 až 4, což představuje hmotově 15 až 20 % hmoty uhlí. Proces je nezbytně nutné intenzifikovat.

Výsledky dosažené v desulfataci spalin na provozních cirkulačních fluidních kotlích s popelovou redukční fluidní spalovací vrstvou a žárovými cyklony jsou obdobně neuspokojivé. K 90% zachycení SO_2 je nutno dávkovat do topeniště vápence s molárním poměrem Ca/S přibližně 3, přičemž závislost zachycení SO_2 na teplotě redukční popelové vrstvy je analogická jako u spalovací fluidní oxidační vrstvy křemičitého písku.

Do popelových oxidačních i redukčních vrstev jsou obvykle dákovány uhelné částice nadrcené na velikost do 10 mm. Je zřejmé, že hybnost těchto částic, a tedy jejich oddrcovací efekt je poněkud nižší než u částic křemičitého písku o granulometrii 1 až 1,6 mm. Pozitivní efekt na snížení spotřeby vápence je ale velice malý. Za teoreticky zcela zásadní poznatek lze označit poznání, že ani oxidační atmosféra fluidní spalovací vrstvy, ani redukční atmosféra fluidní spalovací vrstvy nemají žádný významný vliv na desulfataci spalin, přitom v redukční fluidní vrstvě sulfatace CaO částice probíhá tak, že nejdříve vzniká sirník vápenatý CaS , který až v oxidační atmosféře druhého stupně topeniště přechází na CaSO_4 . Jako spalovací fluidní oxidační vrstvy jsou označovány spalovací fluidní vrstvy, do nichž je ve fluidačním médiu přiváděn do roštu fluidního topeniště dostatek kyslíku, který je potřebný pro úplnou oxidaci C na CO_2 . Jako spalovací fluidní redukční vrstvy jsou označovány spalovací fluidní vrstvy, do nichž je ve fluidačním médiu přiváděno do roštu fluidního topeniště méně kyslíku, než je zapotřebí k úplné oxidaci uhlíku na CO_2 . Doplňkový kyslík se přivádí do topeniště nad spalovací fluidní redukční vrstvou.

V konfrontaci s těmito údaji je nutno konstatovat, že v mokré vypírce CaCO_3 za granulačním kotlem na uhlí dochází k 90% zachycení SO_2 při dákování vápence s molárním poměrem Ca/S rovným 1,05. Vzniká CaSO_4 , který je využitelný ve stavebnictví.

Z výše uvedených poznatků vyplývá, že řešením intenzifikace desulfatace spalin cirkulačního fluidního kotle na uhlí a biomasu je převod nezreagovaného CaO v částicích CaO/CaSO_4 ve spalinách nástřikem vody na částice $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{CaSO}_4$ a jejich využití k další desulfataci spalin. Vzhledem k reaktivitě CaO z $\text{Ca}(\text{OH})_2$ s SO_2 při teplotách nad 400°C a přímé reaktivitě $\text{Ca}(\text{OH})_2$ s SO_2 při teplotách pod 400°C lze intenzifikaci desulfatace provést:

- zchlazením spalin do oblasti blízké rosnému bodu spalin, stupeň konverze $\text{Ca}(\text{OH})_2$ na CaSO_4 zásadním způsobem závisí na parciálním tlaku vody ve spalinách a stupni sycení spalin vodní parou;
- recyklem částic CaO/CaSO_4 po převedení na částice $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{CaSO}_4$ zpět do topeniště.

Zásadním problémem je skutečnost, že po nástřiku vody do spalin se musí navlhlý popílek a částice $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{CaSO}_4$ v trase spalin usušit, tak aby nedošlo k zalepení spalinové trasy a k porušení tkaninového filtru. Hnací silou sušení odpadů spalovacího procesu je rozdíl parciálního tlaku vodní páry na povrchu sušené částice a parciálního tlaku vodní páry ve spalinách. Podstatná část sušení probíhá v oblasti s rychlostí sušení řízenou rychlostí odparu vody. Nutnost snížit teplotu spalin za kotlem do úrovně 160 až 170°C s ohledem na tepelnou účinnost kotle prodlužuje délku sušící trasy u řešení podle čs. patentu č. 294 451 nad 10 m. Recyklem popelovin zpět do fluidního topeniště nároky na délku sušící trasy dále rostou.

Intenzifikace desulfatace spalin při přívodu vápence do topeniště vyžaduje:

- urychlení odsušení vlhkosti odpadů spalovacího procesu instalací cyklonového odlučovače, kde oproti potrubní trase podstatně vzrůstá intenzita přenosu vlhkosti s ohledem na hydrodynamické podmínky v cyklonu oproti hydrodynamickým podmínkám v potrubní trase, důsledkem adiabatických podmínek sušení je pokles teploty spalin;

- instalaci recyklační trasy popelovin do expandované části spalovací fluidní oxidační vrstvy křemičitého písku s využitím vzniklého $\text{Ca}(\text{OH})_2$ k další vysokoteplotní desulfataci spalin v topeništi;

5 - realizaci nástřiku vody do spalin s intenzitou zajišťující teplotu spalin za tkaninovým filtrem blízkou teplotě rosného bodu spalin pro požadovanou koncentraci SO_2 ve spalinách.

Při ověřování intenzifikace desulfatace uhelných spalin na fluidním kotli 5 MW se spalovací fluidní oxidační vrstvou křemičitého písku byla zjištěna konverze CaO/CaSO_4 částice v úrovni 41,6 %. Teplota spalin za tkaninovým filtrem byla 102 °C. K 80% zachycení SO_2 stačí dávkovat vápenec o granulometrii 0,5 až 1 mm s molárním poměrem Ca/S rovným 1,92. Takto se podařilo
10 dosáhnout nezbytného snížení spotřeby vápence.

Intenzifikací desulfatace spalin na provozním fluidním kotli 5 MW se spalovací fluidní oxidační vrstvou křemičitého písku se podařilo snížit spotřebu vápence do úrovně, v jaké je dodáván u tzv. aditivovaných hnědých uhlí. Tato uhlí zajišťují dosažení emisního limitu SO_2 2 500 mg/m^3 při referenčních podmínkách zákona o ovzduší ČR č. 352/2002 Sb. (6 % O_2 , NTP podmínky, suché spaliny.) Tento emisní limit platí pro roštové kotle ekologizované prvky fluidní techniky. Cirkulační fluidní kotel na uhlí a biomasu podle prezentovaného technického řešení při takovémto přidávání vápence k uhlí plní řádově přísnější limity čistoty spalin pro nové uhelné fluidní kotle s tepelným výkonem 5 až 50 MW, kdy je nutné buď 75% zachycení SO_2 ze spalin nebo snížení obsahu SO_2 ve spalinách na 800 mg/m^3 za referenčních podmínek.

20 Problémy se spotřebou vápence omezují využití fluidního spalování uhlí na teplárenství, kde instalace granulárního kotle s mokrou nebo semisuchou vápencovou vypírkou je investičně neúnosně nákladná. V teplárenství je cirkulační fluidní kotel na uhlí a biomasu investičně výhodný, protože k desulfataci spalin dochází bez instalování samostatné desulfatační stanice a nároky na stupeň zachycení SO_2 jsou v teplárenství podstatně nižší než v energetice s kotli s tepelnými
25 výkony nad 50 MW.

D/ Při instalaci tepelné vestavby do spalovací fluidní oxidační vrstvy křemičitého písku je součinitel přenosu tepla přibližně 280 $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ a teoreticky je nezávislý na pracovní rychlosti fluidace. S ohledem na teplotní spád v topeništi je intenzita přenosu tepla na tepelné vestavbě instalované v homogenní části spalovací fluidní oxidační vrstvy křemičitého písku řádově větší,
30 než je intenzita přenosu tepla na konvekčních výměnících cirkulačního fluidního kotle na uhlí a biomasu. Navíc se jedná o transport tepla se 100% tepelnou účinností, kterým lze odvést až 48 % tepla, které je předáváno vznikající vodní páře nebo ohříváné teplé vodě. Zcela zásadním problémem je volba materiálu tepelné vestavby s ohledem na okysličující a sírné prostředí v topeništi. Navíc je tepelná vestavba vystavena silné abrazi hrubozrnnými částicemi křemičitého písku. Provozně bylo ověřeno použití austenitické chromniklové a feritické chromové žáruvzdorné oceli a uhlíkové kotlářské oceli. Zásadním poznatkem je výrazně odlišná životnost výše uvedených ocelí, žádná však nesplňuje nároky na životnost konvekčních výměníků parního či horkovodního kotle. Proto je nutno tepelnou vestavbu realizovat jako vyměnitelnou část cirkulačního fluidního kotle na uhlí a biomasu.

40 Při použití tepelné vestavby při stejném průřezu fluidního a pasového roštu došlo k nárůstu tepelného výkonu kotlové jednotky o 25 %, třebaže vstupní teplota spalin do konvekčních výměníků v cirkulačním fluidním kotli na uhlí a biomasu je výrazně nižší než teplota spalin za pasovým roštem.

E/ Od teplárenského kotle je obvykle požadován regulační rozsah tepelných výkonů 40 % až
45 100 % maxima tepelného výkonu kotle. Fluidní kotel podle čs. patentu č. 283 457 tyto nároky splňuje, protože pracovní rychlost fluidace fluidačního média tvořeného primárním spalovacím vzduchem a recyklačními spalinami při použití granulometrie křemičitého písku 1 až 1,6 mm může být v rozsahu 0,45 až 0,95 Nm/s . Situace se zásadně mění při použití křemičitého písku granulometrie 0,4 až 2 mm a instalaci tepelné vestavby v topeništi. Rozsah regulace tepelného výkonu kotle se snižuje na 70 až 100 % maxima tepelného výkonu kotle. Rozšíření regulačního
50

rozsahu tepelného výkonu kotle je možné pouze sekcováním fluidního topeniště na samostatné reaktorové celky s tím, že podstatná část konvekčních výměníků a trasa spalín kotle je společná pro celý cirkulační fluidní kotel na uhlí a biomasu.

- F/ Řízení tepelného výkonu cirkulačního fluidního kotle na uhlí a biomasu samozřejmě vychází z požadavku na konstantní teplotu spalovací fluidní oxidační vrstvy křemičitého písku. Při změně požadavku na tepelný výkon dojde ke změně dávkování paliva a následně ke změně průtoku fluidačního média, což je systém řízení použitý již u prvních fluidních kotlů na uhlí. Při snížení pracovní rychlosti fluidace do úrovně 0,45 Nm/s je teplotní difference mezi teplotou spalovací fluidní oxidační vrstvy křemičitého písku ve výšce 150 mm nad trubkovým propadovým roštem a teplotou ve výšce 300 mm nad trubkovým propadovým roštem přibližně 220 °C. Při pracovní rychlosti fluidace 0,8 Nm/s je tato teplotní difference 2 °C. S ohledem na nutnost horkého nájezdu sekcovaného topeniště bez použití pomocného startovacího paliva nesmí teplota klidové spalovací fluidní oxidační vrstvy křemičitého písku jejím samovolným chlazením poklesnout pod 400 °C. S ohledem na klidovou výšku této vrstvy zhruba 320 mm musí být v topeništi o výšce přibližně 5 000 mm řídicí teploměr instalován ve výšce 200 až 300 mm nad trubkovým propadovým roštem topeniště. Dalšími hlavními řídicími okruhy cirkulačního fluidního kotle na uhlí a biomasu je řízení teploty ve směšovací prostoru topeniště přívodem sekundárního vzduchu a řízení obsahu O₂ ve spalínách změnou poměru primárního spalovacího vzduchu a recyklážních spalín na vstupu do trubkového propadového roštu topeniště.
- G/ V parních a horkovodních kotlích je standardním konvekčním výměníkem svislý svazek velkopříměrových trubek v trase volné cirkulace vody přes buben. Intenzita přenosu tepla mezi spalínami a tímto svazkem trubek je minimální. Zásadní výhodou tohoto uspořádání je, že intenzita cirkulace vody je úměrná tepelnému výkonu parního a horkovodního kotle. S ohledem na regulaci cirkulačního fluidního kotle na uhlí a biomasu je žádoucí tento výměníkový systém zachovat. Je však nutno intenzifikovat přenos tepla mezi spalínami a vodou vhodným tvarováním svazku trubek při minimalizaci tlakové ztráty na straně volné cirkulace vody.

Přehled obrázků na výkresech

Technické řešení cirkulačního fluidního kotle na uhlí a biomasu je podrobněji znázorněno na obrázcích 1, 2 a 3. Obrázek 1 je strojně - technologické schéma cirkulačního fluidního kotle na uhlí a biomasu. Obrázek 2 je řez B-B cirkulačního fluidního kotle na uhlí a biomasu. Obrázek 3 je řez A-A cirkulačního fluidního kotle na uhlí a biomasu. V symbolice číselného označení obrázků samotná čísla označují aparáty cirkulačního fluidního kotle na uhlí a biomasu a čísla za tečkou označují jednotlivé části těchto aparátů.

Příklad provedení technického řešení

Cirkulační fluidní kotel na uhlí a biomasu produkuje energetickou páru pro souběžnou výrobu elektrické energie a teplárenské páry.

Trasu paliva tvoří zastřešená skládka uhlí, zastřešený sklad dřevní štěpky, silo vápence, dávkovače jednotlivých paliv a zavážecí dopravník, který palivovou směs zaváží do dávkovače 14 paliva. Tento dávkovač 14 paliva je tvořen provozním zásobníkem 14.1 paliva a šnekovými dávkovači 14.2 bez osového hřídele, které palivo přivádějí přes sesypy 1.10 do topeniště 1. V sesypech 1.10 jsou instalovány skluzy paliva 1.11 a výkyvné klapky 1.12.

Fluidační médium tvořené primárním spalovacím vzduchem a recyklážními spalínami je do topeniště 1 přiváděno přes trubkový propadový rošt 2 ventilátorem 11. Ve výtlačné trase ventilátoru 11 je i hořák 12 a startovací spalovací komora 13. V topeništi 1 je instalována trubková vestavba 3, která je demontovatelná a přes dno topeniště 1 vyjímatelná z topeniště 1. V topeništi 1 jsou instalovány řídicí termočlánky 28 a 29. Termočlánek 28 je součástí okruhu řízení tepelného výkonu cirkulačního fluidního kotle na uhlí a biomasu. Termočlánek 29 je součástí okruhu řízení přívodu sekundárního vzduchu do topeniště 1.

5 Spaliny, které opouštějí spalovací fluidní oxidační vrstvu křemičitého písku, procházejí přes trubky 1.8 do přehřívače páry 6, vařáku 5, ekonomizéru 7, vodního chladiče 8, cyklonů 16 a tkaninového filtru 21 a kouřovým ventilátorem 26 jsou odváděny do komína 27. V trase spalin je instalován automatický analyzátor 30 obsahu O_2 ve spalinách, který ovládá regulační klapku 31 v trase recyklu spalin.

Nucenou cirkulaci vroucí vody přes trubkovou vestavbu 3 zajišťuje vodní cirkulační čerpadlo 10. Parovodní směs z trubkové vestavby 3 je zaváděna do bubnu 4. Na buben 4 je napojen i systém samovolné cirkulace vody přes vařák 5 a membránové stěny 1.1, 1.2 a 1.3 topeniště 1. Přívod napájecí vody do ekonomizéru 7 zajišťuje napájecí čerpadlo 9.

10 Trasa odpadů spalovacího procesu je v zásobníku 17 cyklonů 16 rozdělena na dva proudy. Recyklační proud odpadů je dopravován trasou sekundárního vzduchu výtlačku ventilátoru 15 přes sesypy 1.10 do topeniště 1. Odpady spalovacího procesu jsou do výtlačné trasy ventilátoru 15 zaváděny přes turnikety 19 a 20. Nerecyklované odpady jsou šnekovým dopravníkem 18 dopravovány do zásobníku 23 pod tkaninovým filtrem 21. Do zásobníku 23 jsou šnekovým dopravníkem 22 přiváděny dále odpady spalovacího procesu, zachycené v tkaninovém filtru 21. Odpady spalovacího procesu ze zásobníku 23 jsou přes turniket 24 dopravovány tlakovou pseudopravou 25 do centrálního zásobníku odpadů. Odtud jsou odváženy autocisternou k jejich stavebnímu využití.

20 Topeniště 1 je vymezeno z boků membránovými stěnami 1.1, z čela membránovou stěnou 1.3 a zezadu membránovou stěnou 1.2. Po celé výšce je topeniště 1 vyzděno žáruvzdornou vyzdívkou 1.4. Vodní cirkulaci přes membránové stěny topeniště 1 zajišťuje buben 4, zavodňovací trubky 5.1, podélné vodní trávce 1.5 a příčné vodní trávce 1.6. Cirkulaci vody přes zadní membránovou stěnu 1.2 umožňuje trubka 1.7 a trubky 1.8, napojené přes trubku 1.9 stropem topeniště 1 do bubnu 4. V čelní membránové stěně 1.3 jsou instalovány sesypy 1.10 paliva. Vypuštění obsahu topeniště 1 umožňuje výpusť 1.14. Topeniště 1 je instalováno na stojanech 1.15. Membránové stěny 1.1 jsou napojeny do bubnu 4 přes trubky 1.13.

Trubkový propadový rošt 2 je tvořen centrálními trubkami 2.1, příčnými trubkami 2.2 a nátrubky 2.3, které jsou shora uzavřené, a fluidační médium proudí přes otvory v bocích nátrubků 2.3.

30 Trubková vestavba 3 je tvořena U smyčkami 3.1. Tyto jsou přes příruby 3.6 spojeny s trubkovým rozvodem 3.3. Trubkový rozvod 3.3 je přes přírubové spoje 3.2 spojen se dnem topeniště 1. Trubkový rozvod 3.3 je napojen na trubky 3.5 přívodu cirkulační vody z čerpadla 10 a trubky 3.4 odvodu parovodní směsi do bubnu 4. Smyčky 3.1 jsou instalovány mezi rozvodnými trubkami 2.2, tak aby celé tyto svazky mohly být z topeniště 1 spodem vyjímatelné.

35 Okruh samovolné cirkulace vody v cirkulačním fluidním kotli na uhlí a biomasu je realizován v úseku vařáku 5 propojením bubnu 4 se zavodňovacími trubkami 5.1, podélnými vodními trávci 1.5, příčnými vodními trávci 1.6, rozvodnými trubkami 5.2 a 5.3 a svazkem pravoúhle tvarovaných trubek 5.4. V bubnu 4 je instalován odlučovač páry z parovodní směsi.

40 Přehřívač páry 6 je realizován ze zdvojených trubkových svazků 6.1 propojených trubkovou komorou 6.2, do které je z napájecího čerpadla 9 přiváděna voda k regulaci teploty přehřáté vodní páry.

Ekonomizér 7 je tvořen pláštěm 7.1 a zdvojenými trubkovými svazky 7.2. Ekonomizér 7 je s vařákem 5 propojen dnem 7.3, které je na straně odpadů spalovacího procesu napojeno na turniket 20.

Vodní chladič 8 spalin tvoří plášť 8.1 a pneumatické vodní trysky 8.2.

45 Technická specifikace cirkulačního fluidního kotle na uhlí a biomasu:

Produkce páry:	20 t/h
Pára:	330 °C / 2,5 MPa
Teplný výkon:	14,9 MW

Teplota napájecí vody: 105 °C

Minimální produkce páry: 7,0 t/h

Palivo: směs uhlí PS 1 a dřevní štěpky v poměru 1 : 1 hmotnostně

Uhlí: průmyslová směs PS 1 výhřevnost: 14,5 MJ/kg

Síra: 1,6 %

Granulometrie: 10 až 40 mm

Dřevní štěpka: částečně předsušená

Výhřevnost: 10 MJ/kg

Střední velikost částic: 50 × 50 × 50 mm

Piliny: do 10 %

Granulometrie: 1 až 10 mm

Vápenec: Granulometrie: 0,5 až 1 mm

Čistota spalin při referenčních podmínkách NTP, 6 % O₂, suché spaliny

CO: 250 mg/m³

NO_x jako NO₂: 400 mg/m³

SO₂: 800 mg/m³

Tuhé látky: 100 mg/m³

Tepelná účinnost cirkulačního fluidního kotle na uhlí a biomasu: 86 %

Průtok spalin: 12,2 Nm³/s

Teplota spalovací fluidní oxidační vrstvy křemičitého písku: 830 °C

Teplota spalin na vstupu do přehřívače páry 6: 740 °C

Obsah O₂ ve spalinách: 7,6 %

Teplota spalin vstupujících do komína 27: 100 °C

Teplota spalin za ekonomizérem 7: 180 °C

Průřez cirkulačního fluidního kotle na uhlí a biomasu: 6 000 × 6 000 mm

Výška cirkulačního fluidního kotle na uhlí a biomasu: 12 800 mm

Průměr šneků bez osového hřídele: Ø 240 mm

Počet: 4

Cyklony 16:

Průměr: Ø 1 600 mm

Počet: 4

Nástrik vody do spalin: 12 pneumatických trysek 8.2

Startovací spalovací komora 13:

Tepelný výkon: 3 MW

Palivo: lehký topný olej

Teplota spalin: 600 °C

Tkaninový filtr 21:

Plocha: 1040 m²

Profuk tlakovým vzduchem.

Průmyslová využitelnost

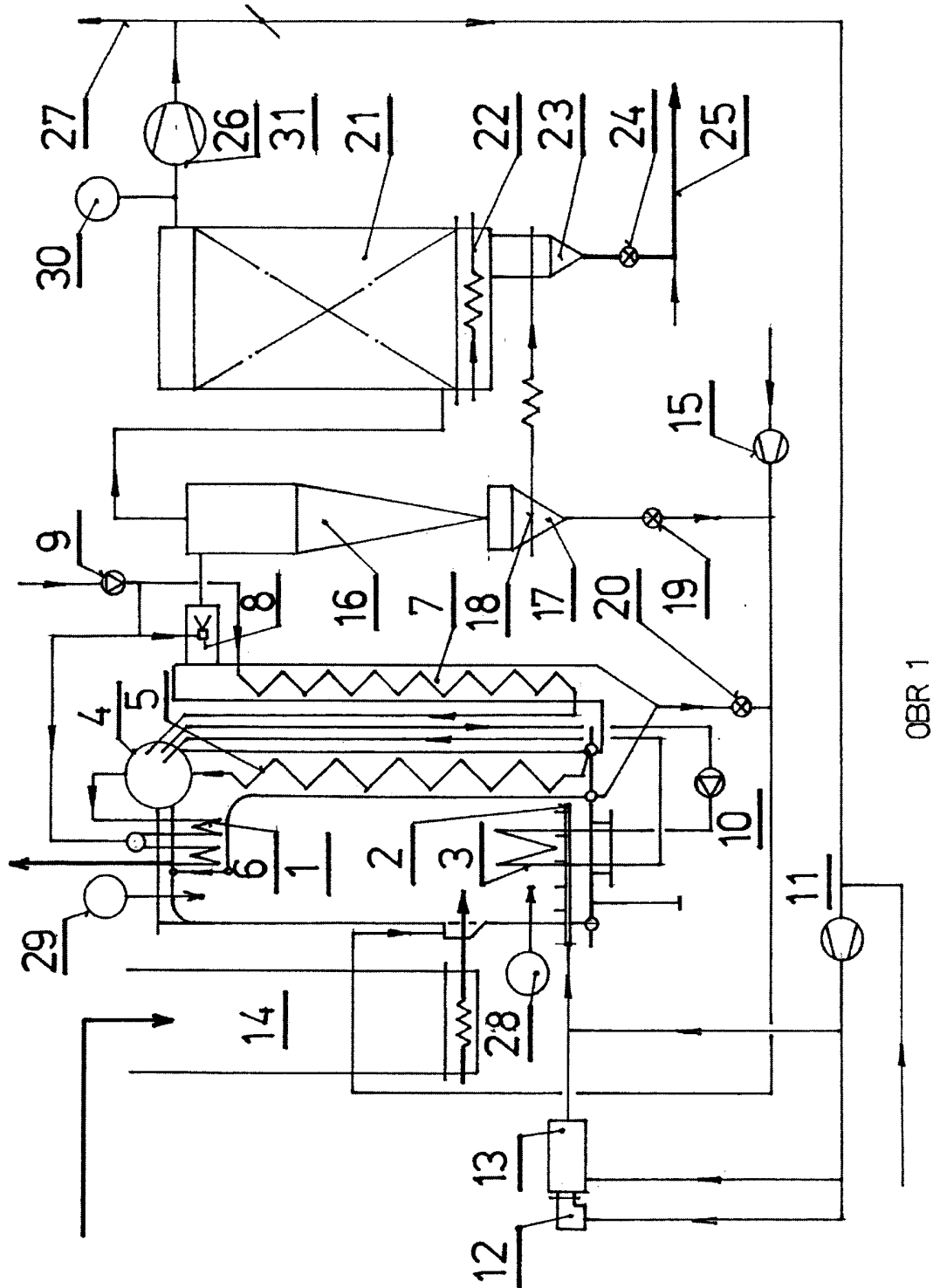
Prezentované řešení kromě plnění své základní deklarované funkce je vhodné k spalování kalů z čistíren odpadních vod a granulovaných odpadů.

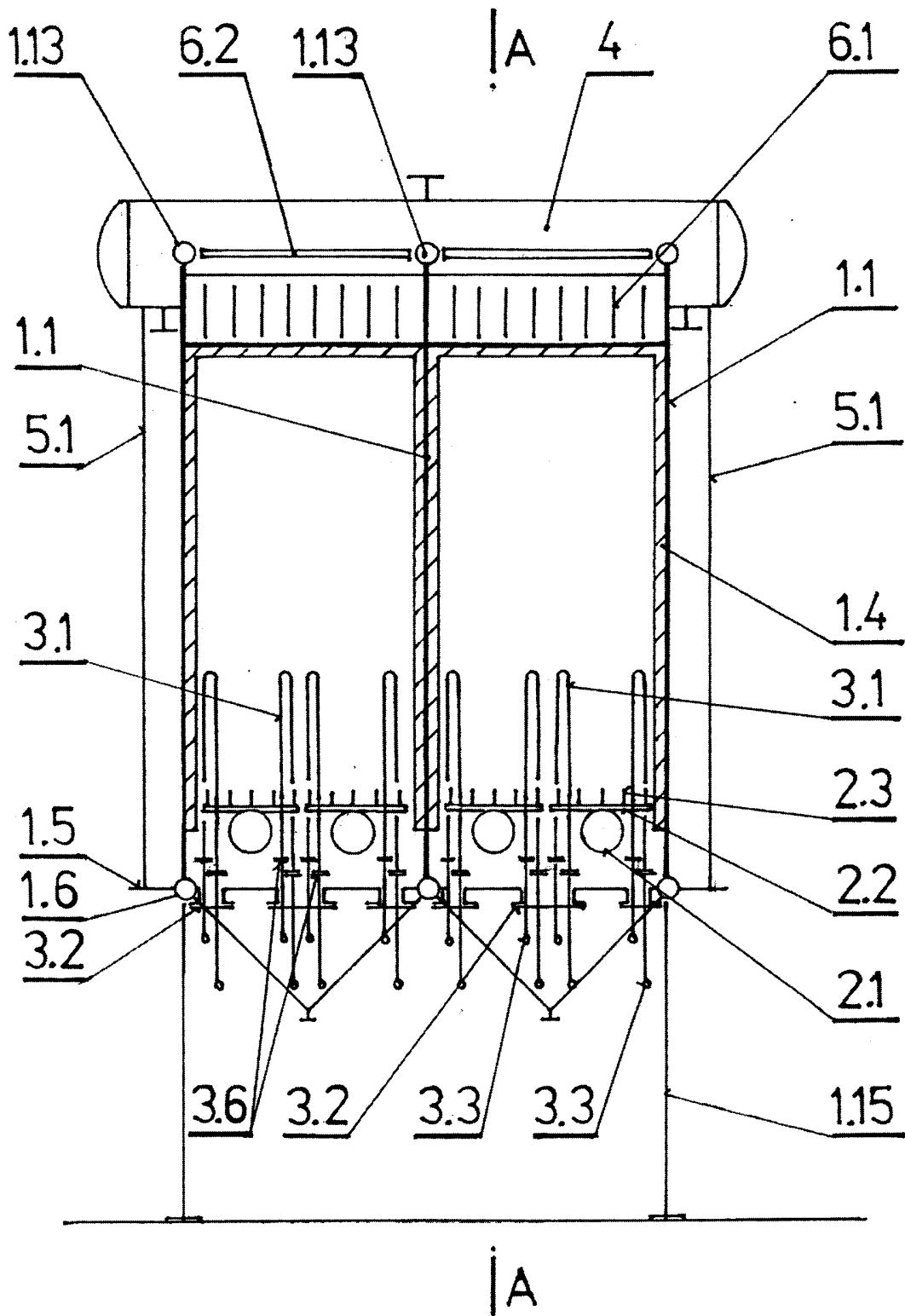
Cirkulační fluidní kotel na uhlí a biomasu lze provozovat i se samostatným dávkováním uhlí s vápencem a samotné dřevní štěpky.

NÁROKY NA OCHRANU

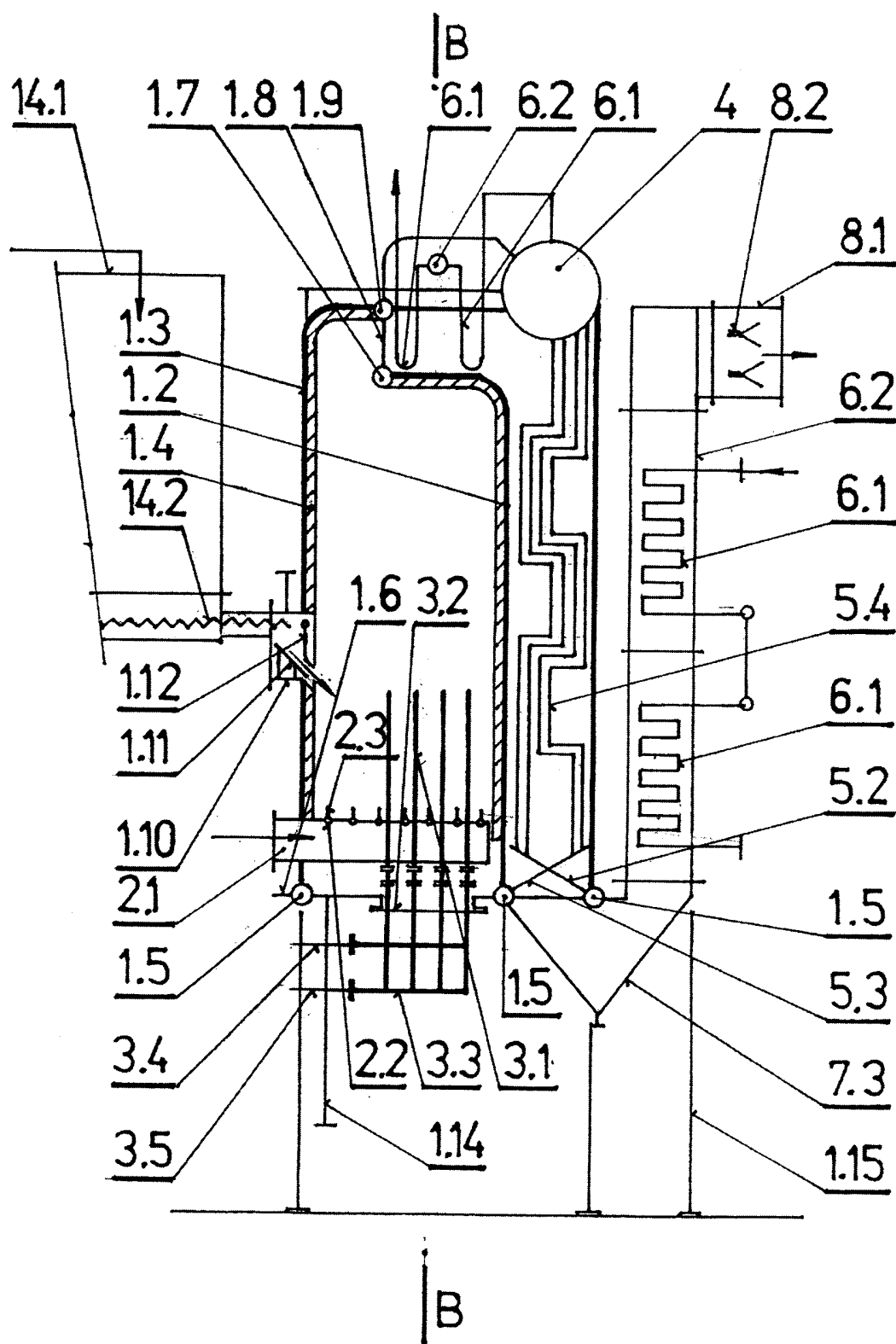
1. Cirkulační fluidní kotel na uhlí a biomasu, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že jeho topeniště (1) je vymezeno z boků membránovými stěnami (1.1), z čela membránovou stěnou (1.3), zezadu membránovou stěnou (1.2), shora přesazeným stropem tvořeným membránovými stěnami (1.2) a (1.3) propojenými trubkami (1.8), zespodu je topeniště (1) vymezeno trubkovým propadovým roštem (2) propojeným s ventilátorem (11) primárního spalovacího vzduchu a recyklážních spalin, membránová stěna (1.3) je přes sesyp nebo sesypy (1.10) propojena s dávkovačem nebo dávkovači (14) uhlí a biomasy, sesyp nebo sesypy (1.10) jsou propojeny s přívodem sekundárního vzduchu nebo sekundárního vzduchu a recyklážních spalin, v topeništi (1) je obsažena sypaná vrstva křemičitého písku z rozmezí granulometrie 0,4 až 2 mm, v této vrstvě je instalována trubková vestavba (3), která je demontovatelná a vyjímatelná z topeniště (1), trasa spalin na začátku vymezená trubkami (1.8) je propojena přes systém konvekčních výměníků cirkulačního fluidního kotle na uhlí a biomasu s vodním chladičem spalin (8) a následně s cyklonem či cyklony (16), trubkové membránové stěny (1.1), (1.2) a (1.3) jsou částečně nebo zcela vyžděny žáruvzdornou vyzdívkou (1.4).
2. Zařízení podle nároku 1, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že trubková vestavba (3) je realizována z feritické chromové žáruvzdorné oceli.
3. Zařízení podle nároku 1, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že trubková vestavba (3) je realizována jako svazek smyček trubek (3.1) upevněných k nosné přírubě nebo nosným přírubám (3.2) demontovatelně spojeným s topeništěm (1).
4. Zařízení podle nároku 1, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že v systému konvekčních výměníků cirkulačního fluidního kotle na uhlí a biomasu je instalován konvekční výměník s volnou cirkulací vody, v němž trubky (5.5) tvarované ohyby do trubkových smyček, propojují rozvodné trubky (5.2) a (5.3) s bubnem (4).
5. Zařízení podle nároku 1, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že výpuště odpadů spalovacího procesu z cyklonu nebo cyklonů (16) je spojena s výtlačným potrubím ventilátoru (15) sekundárního spalovacího vzduchu nebo sekundárního vzduchu a recyklážních spalin ústícím do sesypu nebo sesypů (1.10).
6. Zařízení podle nároku 1, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že topeniště (1) je po celé délce a po celé výšce rozděleno zcela nebo částečně vyžděnou membránovou stěnou (1.1) na dvě paralelní samostatná topeniště.
7. Zařízení podle nároku 1, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že vodní chladič spalin (8) je osazen jednou nebo více pneumatickými vodními tryskami (8.2).

3 výkresy





OBR 2



OBR 3

Konec dokumentu