

A₁

KIVONAT

Eljárás fermentáció melléktermékeként előálló szilárd anyag ártalmatlanítására és energetikai hasznosítására

Bejelentő: Dr. Szentannai Pál, Budapest
Dr. Ösz János, Telki
Bejelentés napja: 2004 július 19.

A találmány tárgya eljárás fermentáció melléktermékeként előálló szilárd anyag ártalmatlanítására és energetikai hasznosítására, amely eljárás segítségével a szennyvíziszap utóhasznosítása során előálló szilárd melléktermék nagy hatékonysággal és környezetbarát módon ártalmatlanítható.

A találmány szerinti eljárás során fermentálási maradékként előálló szilárd anyagot szárítunk, majd zárt rendszerű folyamatban tüzelünk el. Az eljárás jellemzője, hogy az eljárás során a fermentálási maradék nedvességtartalmát beállítjuk, majd - vagy ezzel együtt vagy külön fázisban - a fermentálási maradékot megfelelő szemcseméretre aprítjuk, ezt követően az előkészített fermentálási maradékot fluidizációs tüzelőberendezésbe tápláljuk, majd abban, adott esetben egy vagy több ciklusban megfelelő égési paraméterek fenntartása mellett eltüzeljük, majd a folyamat végén a keletkező gáznemű égéstermékéből, - vagy adott esetben már az égési folyamat közben a tüztérből is – energetikai hasznosításra hőt nyerünk ki.

2007.10.03. Sdypad

Jellemző ábra: 2. ábra

ELSŐBBSÉGI PÉLDANY

Eljárás fermentáció melléktermékeként előálló szilárd anyag ártalmatlanítására és energetikai hasznosítására

Bejelentő: Dr. Szentannai Pál, Budapest
Dr. Ósz János, Telki
Bejelentés napja: 2004 július 19.

A találmány tárgya eljárás fermentáció melléktermékeként előálló szilárd anyag ártalmatlanítására és energetikai hasznosítására, amely eljárás segítségével a szennyvíziszap utóhasznosítása során előálló szilárd melléktermék nagy hatékonysággal és környezetbarát módon ártalmatlanítható.

Az ismert, és egyre szélesebb körben használt fermentálási (erjesztési, rothasztási) technológia során a legkülönbözőbb szerves anyagokból megfelelő baktérium törzsek metántartalmú gázt fejlesztenek. Ez a folyamat azonban nem játszódik le tökéletesen, vagyis az erjesztő tartályban (fermentorban) nagymennyiségű szilárd anyag marad, amelyről tudni kell, hogy egyrészt éghető, másrészt elhelyezése gondot okoz.

Az elhelyezés tekintetében a kiindulási szerves anyag forrásától függően többféle lehetőség kínálkozik. A hagyományos megoldásban ez a maradék talajerő utánpótlásra használható akár nedvesen, akár szárítás után. Meg kell azonban jegyezni, hogy ez az út, amelynek lehetőségei egyre inkább beszűkülnek, amint tüzesebb vizsgálatnak kell alávetni az anyag összetételét, és amint egyre közelebb kerülünk a mezőgazdaságban felhasználásra engedélyezett anyagok Európa-szerte is folyamatosan szigorodó előírásaihoz. A fermentálási eljárás kiindulásaként használt szerves anyagok tipikus lelőhelyei ugyanis egyrészt a szennyvíztisztítók, másrészt az állattartó telepek. Az előbbi szélsőségesen változatos károsanyag tartalmát nem kell részletezni, az utóbbi nyersanyagról azt kell tudni, hogy jelentős mennyiségben tartalmaz igen veszélyes biológiai anyagokat: hormonokat, antibiotikumokat, baktériumokat, dioxinokat, furánokat stb., amelyek a mezőgazdaság táplálkozási láncába visszaforgatva nagy stabilitásuk miatt nem bomlanak, hanem épp emiatt az idő folyamán feldúsulnak. A fermentálási maradék mezőgazdasági hasznosítása tehát egyre problematikusabbá válik hazánkban is, amely nehézséget nem oldja meg a másik felmerülő lehetőség, a deponálás sem. A lerakásra szóba jöhető területek kapacitása egyre korlátozottabbá válik ugyanis a környezetet károsító, szaghatással is terhelt anyag befogadásával szembeni ellenállás miatt, és az egyre távolabbi lerakókba való szállítás egyre nagyobb költségekkel jár.

A technika állása szerint a fermentáció szilárd melléktermékét jelenleg leginkább a mezőgazdaságban hasznosítják. Ennek azonban hátránya, sőt jelentős veszélye a nagyon stabil mérgező anyagok visszakerülése a táplálkozási láncba. Ez a folyamat végső soron a növényi- és állati eredetű élelmiszereken keresztül az emberi szervezetet veszélyezteti.

A mezőgazdasági hasznosítás szűkebb, speciális területe a parkok fűvének, kertészeti virágok és más növények talajának erősítése, amely megoldás egy osztrák szennyvíztisztítóból ismert. Ezt a felhasználást ismerteti az ARA-Dornbirn-Schwarzah GmbH osztrák cég *Weitgehende Schlammbehandlung* című nyomtatott, színes kiadványa (1993 Dornbirn, Ausztria).

Ennek során a fermentációs maradékot intenzív szárítási technológiával, jelentős költség- és energia ráfordítás mellett szárítják, majd a mezőgazdaságban talajjavító szerként felhasználják. E megoldás hátránya, hogy a káros anyagok jelenlétéből adódó veszélyeket nem csökkentti, viszont az anyag gyakorlatilag tökéletes szárítására van szükség, ami tetemes energiafelhasználást jelent, és az ingyen elvitelre kínált szárított fermentálási maradék gazdasági hasznot sem produkál.

Papíripari hulladékiszap és hulladék nyomdafesték ártalmatlanítására és hasznosítására szolgáló eljárást ismerteti a HU 211 758 sz. magyar szabadalmi leírás, melynek során a fermentációs maradékot komposztálják és mezőgazdaságban hasznosítják. Az eljárásra az jellemző, hogy a 30-50% szárazanyag - tartalmú papíripari hulladékiszaphoz - előnyösen 1-10 t% mennyiségben - hulladék nyomdafestéket kevernek, majd a keverék C/N arányát - előnyösen műtrágya adagolásával - 1:20-1:100 közötti értékre állítják be. Majd a keveréket deponálják és -5...+40 °C közötti hőmérsékleten 20- 180 napig - adott esetben mesterséges levegőztetés alkalmazása mellett - aerob módon fermentálják és a kezelés után a kialakult komposztot kitermelik.

A technika állása szerint a különböző hulladékanyagok égetéssel történő megsemmisítésének egyik ismert módja a fluidizációs tüzelési technológia, amelyet kezdetben szénttüzelésre fejlesztettek ki, és később kezdtek más szilárd tüzelőanyagok elégetésére is használni. E kazántípusnak kiemelkedő tulajdonságai közé tartozik a tüzelőanyag tekintetében mutatkozó flexibilitása, valamint a kifejezetten környezetbarát energiatermelés lehetősége.

A fluidizációs tüzelési technológiában a tüztérben levő inert anyagot (általában homokot) és a szilárd tüzelőanyagot a tüztér alján befúvott levegő lebegteti (fluidizált állapotban tartja), ami lassabb, alacsonyabb hőmérsékleten történő égést tesz lehetővé. Az alkalmazott légsebesség alapvetően meghatározza a fluidizált réteg viselkedését, és így a berendezés jellegét. Kisebb légsebességet alkalmazva *nyugvó ágyas* vagy *buborékos* berendezésről beszélünk, a minimális fluidizációs sebességet meghaladó légsebesség alkalmazása esetén viszont a fluidizált ágyból kilépő levegőáram szilárd szemcséket ragad magával, amelyeket ciklonban leválasztani, majd az ágyanyagba visszavezetni (recirkuláltatni) szükséges. Ilyenkor beszélünk *cirkulációs fluidizációs* berendezésről.

Fermentált iszap fluidágyas kazánban történő égetésére szolgáló, mobil berendezést ismerteti a DE 332 5078 sz. német szabadalmi leírás, amely az iszapégetés tetszőleges, változó helyszíneken történő alkalmazását teszi lehetővé, így elkerülhető nagy, rögzített berendezések telepítése. A megoldás szerint a fluidizációs tüzelésű berendezés részegységeit szárazföldi-

vagy vízijárműre építik. A leírás a berendezés egyik lehetséges megvalósításaként ismerteti a tüzelőberendezés egyes részegységeinek hajón történő legcélszerűbb elrendezési módját is. A megoldás hátránya, hogy a járműre épített mobil fluidizációs tüzelésű berendezés csak nagyon kis mennyiségekre alkalmazható. A hivatkozott irat a fermentált iszap fluidágyas tüzelésére vonatkozóan részletes kitanítást nem tartalmaz. A mobil üzemmel az ártalmatlanítás gondját is csak időszakosan oldja meg, és nem tesz lehetővé gazdasági-, energetikai hasznosítást sem.

A ma ismert megoldásokról összefoglalóan megállapítható tehát, hogy azok mindegyike vagy csak a hasznosítás, vagy csak az ártalmatlanítás kérdéskörének egyikét oldja meg, és nem ad megoldást e két terület átfogó, eredményes és hatékony kezelésére.

A fermentációs maradék hasznosítására vállalkozó megoldások mind talajerő pótlásának útján teszik ezt, de így az élővilág táplálkozási láncába visszaforgatásra kerülnek a nagy stabilitású, az idő folyamán feldúsuló mérgező anyagok, amelyek közül a legfontosabbak a hormonok, antibiotikumok, baktériumok, dioxinok, furánok. Az elsősorban nem élelmiszertermelő mezőgazdasági hasznosítás ismert megoldásának hátránya, hogy a káros anyagok jelenlétéből adódó veszélyeket nem csökkenti, viszont az anyag gyakorlatilag tökéletes szárítására van szükség, ami tetemes energiafelhasználást követel, és az ingyen elvitelre kínált szárított fermentálási maradék gazdasági hasznot sem produkál. A hasznosítást is alkalmazó megoldások hatékonysága meglehetősen alacsony, gazdaságilag alig indokolható. Az ismert megoldásoknak ez a része tehát nem oldja meg a fermentálás szilárd melléktermékének ártalmatlanítását, a környezetet terhelő, ártalmas anyagot is tartalmazó végtermékei vannak. Emellett nem segítik elő e megújuló energiaforrás energetikai hasznosítását, sőt van olyan megoldás is, amelyik tetemes energiát fogyaszt.

A technika állása szerinti ismert, a fermentációs maradék ártalmatlanítását célzó megoldás ezzel szemben nem veszi figyelembe az anyag hasznosítható energiatartalmát, és így nem aknázza ki e megújuló (ezért kiemelten környezetkímélő) energiaforrásban rejlő környezetvédelmi- és energetikai-, gazdasági lehetőségeket

A találmány szerinti megoldás kidolgozásakor célkitűzésünk volt az emberi életre is veszélyes anyag ártalmatlanítása, a deponálni szükséges melléktermék térfogatának nagyságrendi csökkentése, valamint e megújuló energiaforrásból energia előállítása oly módon, hogy a keletkező füstgázban levő káros anyagok megkötése a technológiába integrált módon valósuljon meg, és a keletkező hamu is környezetbarát, hasznosítható legyen. Célunk továbbá egy olyan égetési mód kidolgozása, amellyel a fermentációs maradék önálló égetése megoldható, és amely technológia eredményeként energetikailag hasznosítható hő is előáll.

A találmány szerinti megoldás létrehozásakor felismertük, hogy amennyiben a fermentációs maradék ártalmatlanítását az anyag megfelelő szárítása és aprítása után egy fluidizációs égetőberendezésben, megfelelően beállított zárt égetési folyamatban végezzük, akkor a kitűzött cél elérhető. Felismertük továbbá, hogy az égetési folyamatban alkalmazott megfelelő égési hőmérséklettartomány alkalmazásával az égés során felszabaduló nitrogén-oxid még megfelelően alacsony szinten tartható, ugyanakkor a fermentációs maradék égetése során az anyag kalcium és kén tartalma nagy hatékonysággal egymással megköthető. Ezzel az égetés szilárd és gázemű végtermékeként környezetre nagyon kis mértékben ártalmas, illetve semleges hatású anyagok keletkeznek. Felismertük, hogy a fluidizációs technológia találmány

szerinti alkalmazásával a fermentációs maradék tipikus összetevőiből adódóan a környezetet szennyező, terhelő anyagok kibocsátása a minimális szinten tartható.

A találmány tehát eljárás fermentáció melléktermékeként előálló szilárd anyag ártalmatlanítására és energetikai hasznosítására, melynek során fermentálási maradékként előálló szilárd anyagot szárítunk, majd zárt rendszerű folyamatban eltüzelünk. Az eljárás jellemzője, hogy az eljárás során a fermentálási maradék nedvességtartalmát beállítjuk, majd - vagy ezzel együtt vagy külön fázisban - a fermentálási maradékot megfelelő szemcseméretre aprítjuk, ezt követően az előkészített fermentálási maradékot fluidizációs tüzelőberendezésbe tápláljuk, majd abban, adott esetben egy vagy több ciklusban megfelelő égési paraméterek fenntartása mellett eltüzeljük, majd a folyamat végén a keletkező gáznemű égéstermékéből, - vagy adott esetben már az égési folyamat közben a tüztérből is – energetikai hasznosításra hőt nyerünk ki.

A találmány szerinti eljárás egy előnyös foganatosítása esetén a fermentálási maradékként előálló szilárd anyag nedvességtartalmát oly módon állítjuk be, hogy egy vagy több lépésben szárítjuk, melynek során a nedvességtartalmat előnyösen 2-30 %-ra, adott esetben 60 %-ra, de legfeljebb 68 %-ra állítjuk be.

A találmány szerinti eljárás további előnyös foganatosítása esetén a fermentálási maradékként előálló szilárd anyagot előnyösen őrléssel vagy darabolással egy vagy több lépésben 0,1-50 mm szemcseméretűre, előnyösen 4-5 mm szemcseméretűre aprítjuk.

A találmány szerinti eljárás további előnyös foganatosítása esetén a fluidizációs tüzelés során alkalmazott égési hőmérséklet tartomány 500-950 °C, előnyösen 800-850 °C.

A találmány szerinti eljárás további előnyös foganatosítása esetén a fermentálási maradékként előálló szilárd anyagot az előkészítés során egy vagy több lépésben szolárisan szárítjuk.

A találmány szerinti eljárás további előnyös foganatosítása esetén a kinyert hőenergia továbbítása ismert módon, víz munkaközeg felhasználásával előnyösen kondenzációs hőcserélő segítségével történik a hőkiadó felület felé.

A találmány szerinti eljárás további előnyös foganatosítása esetén a tüzelési folyamat során a tüzelésre kerülő fermentációs maradékhoz időszakosan vagy folyamatosan a tüzelést vagy az égési folyamatot segítő adalékanyagot vagy kiegészítő tüzelőanyagot adagolunk.

A találmány szerinti eljárás további előnyös foganatosítása esetén a tüzelési folyamat során a tüzelésre kerülő fermentációs maradékhoz időszakosan vagy folyamatosan további éghető vagy nem éghető anyagot, adott esetben hulladékot és/vagy más tüzelőanyagot és/vagy katalizátort adagolunk.

A találmány szerinti eljárást a továbbiakban egy előnyös konkrét foganatosítási mód alapján ismertetjük:

A találmány szerinti eljárás egy előnyös célszerű foganatosítása esetén a fermentáció szilárd melléktermékét ártalmatlanítjuk és energetikailag hasznosítjuk. Ezen célok megvalósítása érdekében első lépésként a fermentálási maradék víztelenítésére van szükség. Ennek módja lehet mechanikus, termikus vagy szoláris, amely megoldások közül az utóbbi a leginkább célszerű. A víztelenítés után keletkező anyag nedvességtartalma kisebb, mint 60%, de célszerűen a 30%-os értéket is el lehet érni. A tüzelőanyag önálló égethetősége érdekében a víztelenítés mértékének abszolút határaként a következő feltétel adható:

$$H_u^* = H_o - h_v^* \cdot \mu_{\text{HOH,B}} - \lambda \cdot h_L^* \cdot \mu_{\text{LoT}} > 0 ,$$

ahol a H_u^* -gal jelölt jellemző mennyiség számításához szükséges változók a következők:

H_o	a fermentálási maradék égéshője
h_v^*	a víz 850 °C-on és a tüzelőanyag belépési hőmérsékletén (tipikusan 25 °C-on) érvényes fajlagos entalpiájának különbsége (tipikusan 4,1735 MJ/kg),
$\mu_{\text{HOH,B}}$	a fermentálási maradék égetése során távozó, a fermentálási maradékra vetített relatív vízgőztömeg
λ	légfelesleg tényező (tipikusan 1,3).
h_L^*	a tüztérbe lépő (előmelegített) levegő 850 °C-ra történő felmelegítéséhez szükséges fajlagos energia (400 °C levegő előmelegítést feltételezve $h_L^* = 0,490$ MJ/kg),
μ_{LoT}	a fermentálási maradék sztöchiometrikus égetéséhez szükséges, a fermentálási maradékra vetített relatív levegőtömeg.

E feltétel teljesülése egy adott, de tipikusnak tekinthető, vizsgált fermentációs maradék esetében gyakorlatilag csak két jellemzőtől függ, az alkalmazott légfelesleg tényezőtől és a levegő belépési hőmérsékletétől.

A fentieknek megfelelő mértékben víztelenített fermentálási szilárd mellékterméket aprítani kell. Ezen művelet megvalósítható a szokásos eszközökkel (légszér, malom), de esetünkben célszerű a víztelenítéssel egy egységben, annak folyamán elvégezni. Így ugyanis a kezdetben laza anyag a víztelenítés folyamán nem áll össze rögökké, amelyek utólagos őrlése jóval nehezebb, igényesebb feladat.

Az így előálló anyag átmeneti tárolóba, hombárba helyezhető, ahonnan megfelelően kialakított adagolóval a fluidizációs tüzelésű kazán tüztérébe adagolható. Mivel tapasztalataink szerint a bunkerben tárolt anyag boltozódásra igen hajlamos, a hombár-adagoló berendezést úgy kell kialakítani, hogy az a felboltozódást megakadályozza. Ennek egyik lehetséges megoldása az adagolóval együtt működtetett, a hombár tartalmának jelentős részére kiterjedő keverő beépítése.

A fluidizációs tüzelésű kazán tüztérében inert anyag, tipikusan homok található, amelynek mennyisége a tüztér térfogatának 0,5–5%-át tölti ki. Ezen ágyanyaggal ellátott tüztérbe az égési levegőt alulról fújják be, amely befúvás hatására a szilárd inert ágyanyag lebegni kezd, vagyis fluidizált réteget alkot. A fluid ágy előzetes felmelegítése után – amely pl. gázégő segítségével történhet – be lehet vezetni a víztelenített, aprított fermentálási maradékot. Erre akkor kerülhet sor, ha az ágyhőmérséklet (azaz a tüztér hőmérséklet) elérte a fermentálási maradék gyulladási hőmérsékletét. A felfűtést az üzemi hőmérséklet eléréséig kell ezután folytatni, amelynek tipikus értéke 850 °C.

Ezen a hőmérsékleten ugyanis a levegőben levő nitrogén termikus- és prompt oxidációja még nem játszódik le, a kénmegkötés szempontjából fontos reakciók viszont már lejátszódnak.

A szilárd tüzelőanyagok, így a fermentálás szilárd mellékterméke is nem elhanyagolható mértékben tartalmaz ként, ami más, ismert tüzelési módok esetében a kiemelkedően káros kén-oxidokként távozik a tüztérből. A fluidizációs tüzelési mód lassú kiegészi folyamatai azonban lehetővé teszik, hogy ezek az anyagok még a tüztérben megkötődjenek pl. kalcium jelenléte esetén. Gyakori megoldás ezért a fluidizációs tüzelési technikában mészkő adalékolása. Erre azonban a szennyvíztisztítóból származó fermentálási maradék esetében nincs szükség, mert ez az anyag maga tartalmaz elegendő mennyiségű kalciumot a benne levő kén megkötéséhez.

A tüztérből távozó füstgázból cirkulációs fluidizációs berendezés esetén ciklon segítségével választjuk le és a tüztérbe visszakeringetjük (recirkuláltatjuk) a szilárd szemcséket, amelyek nemcsak inert anyagot, hanem éghetőt is tartalmaznak.

A kiindulási szemcseméret az égés során jelentős aprózódáson megy keresztül. A ciklonból távozó szemcsék finomabbak, mint a ciklon előtti bemenő por, ami az égésben (és kéntelenítésben) részt vesz. A durvább frakciók nyilván többször keringenek, mint a finomabbak.

A tüztérből (tipikusan ciklonon át) távozó füstgáz a fermentálási maradék eltüzelése esetén még jelentős megelőző víztelenítés mellett is nagy mennyiségben tartalmaz vízgőzt, amelynek párologáshője tetemes energiatartalmat képvisel. Ennek hasznosítása érdekében alkalmazunk kondenzációs kazánt az égetés során felszabaduló energia kinyerésére.

A találmány szerinti megoldást a továbbiakban a mellékelt ábrák alapján ismertetjük:

Az 1. ábra a találmány szerinti eljárás megvalósításához előnyösen felhasznált berendezés egy lehetséges elvi elrendezését mutatja.

A 2. ábra a találmány szerinti eljárás legáltalánosabb menetének folyamatábráját mutatja.

A 3. ábra a találmány szerinti eljárás során alkalmazott szárítási folyamat víztelenítési határgörbéit mutatja.

A 4. ábra táblázata a kísérletek során vizsgált fermentálási maradékra, annak különböző mértékben víztelenített eseteire vonatkozó jellemzőket foglalja össze.

Az 5. ábrán a fermentálási maradék hamujának elemzése során kapott értékek találhatók.

A 6. ábra az inert atmoszférában végzett TG-MS vizsgálat eredményeit foglalja össze.

A 7. ábrán az oxidatív atmoszférában végzett TG vizsgálat eredményeit mutatjuk be.

A 8. ábrán a fermentálási maradék tüzelése során, valamint az azt közvetlenül megelőző időszakban kialakult legfontosabb hőmérsékletek időbeli alakulása látható.

A 9. ábrán a tüztér alsó részében levő portömegre jellemző nyomáskülönbséget ábrázoló diagram látható.

A 10. ábra a tüztérbe lépő gázáramok és a hozzájuk tartozó szelepek pozíciójának időfüggvényét mutatják.

A 11. ábrán a fermentálási maradék kísérleti tüzeléséből származó hamu néhány szénkémiail jellemzőjét foglaltuk össze.

Az 1. ábra a találmány szerinti eljárás megvalósításához előnyösen felhasznált berendezés egy lehetséges elvi elrendezését mutatja. Az ábrán látható az 1 fluidizációs tüzelő berendezés, amelynek a fermentációs melléktermék tüzelésére szolgáló függőlegesen kiképzett, hosszúka, 2 tüztere van. A 2 tüztér felső részéhez oldalirányú csatornán csatlakozik az alul szűkülettel

rendelkező 3 ciklon. A 3 ciklon felső részébe csatlakozik a függőlegesen induló 8 füstgáz csatorna, amely a 6 hőcserélőket tartalmazó 4 füstgáz hőhasznosítóhoz csatlakozik. A 4 füstgáz hőhasznosítón található 5 füstgáz kivezetés az eljárás végtermékeként keletkező gáz égéstermék kivezető nyílása.

A 3 ciklon aljában a 19 szifon levegő bevezetéssel és 13 levegő elosztóval rendelkező 7 szifon van, amelyből egy lejtős kiképzésű 11 surrantó vezet az 1 fluidizációs tüzelő berendezés 2 tüztérének aljába. A 2 tüztér aljában a 15 primer levegő bevezetés és 12 levegő elosztó van kialakítva. A 2 tüztér alsó részébe nyúlik be továbbá a 14 indító égő. A 2 tüztér oldalában egymás fölött van kialakítva a tüzelési folyamat megfelelő égési viszonyainak beállítására és szabályzására szolgáló 16 szekunder levegő bevezetés és 17 tercier levegő bevezetés is. A 2 tüztér legalsó részéből vezet ki továbbá a 18 salak ürítő, amely az égés során összegyűlő szilárd anyag eltávolítására szolgál.

A tüzelési folyamat hőmérsékleti paramétereinek követésére a 2 tüztér megfelelő részein a T1 tüztér alsó hőmérséklet mérő, T2 tüztér középső hőmérséklet mérő, T3 tüztér felső hőmérséklet mérő, valamint a 4 füstgáz hőhasznosító 5 füstgáz kivezetésében a T4 kilépő füstgáz hőmérséklet mérő van elhelyezve. A tüzelési folyamat nyomás paramétereinek követésére pedig a 2 tüztér megfelelő részein a P1 tüztér alsó nyomásmérő és P2 tüztér középső nyomás mérő van elhelyezve.

Az 1. ábrán bemutatott berendezés esetében a tüzelésre kerülő megfelelően szárított és aprított fermentációs melléktermék az ejtő rendszerű 9 lombárba kerül. A bevitt mennyiség szabályozása a 9 lombár aljában levő 10 adagoló segítségével történik. Az adagolóból a tüzelésre kerülő fermentációs melléktermék a lejtős kialakítású 11 surrantón keresztül az 1 fluidizációs tüzelő berendezés 2 tüztérének aljába jut, ahonnan az ott bevezetett primer levegő segítségével bekerül a 2 tüztér belsejében zajló fluidizációs folyamatba, melynek során folyamatosan kiég. A tüzelési folyamat során a betáplált tüzelőanyag a megfelelő égetési paraméterek betartása mellett folyamatosan önállóan ég. A fluidizációs tüzelési folyamat során keletkező gáznemű égéstermék, és a részben a még el nem égett szilárd anyag a 2 tüztér felső részéhez csatlakozó csatornán át a 3 ciklon felső részébe kerül. A 3 ciklonban megtörténik a gáznemű égéstermék és a 2 tüztérből kikerült szilárd anyag szétválasztása, és a felülről benyúló 8 füstgáz csatorna segítségével a gáznemű égéstermék a 4 füstgáz hőhasznosítóba kerül. Itt a gáznemű égéstermék hője a 6 hőcserélők segítségével kerül kinyerésre és további hasznosításra. A 3 ciklonban leválasztott szilárd anyag a 3 ciklon aljában levő 7 szifonba kerül, ahonnan a lejtős kialakítású 11 surrantón keresztül visszakerül a 2 tüztér aljába. Ezzel a még nem teljesen elégett szemcsés szilárd anyag újra visszakerül az égetési folyamatba. A 7 szifonban levő 13 levegő elosztó és az oda vezetett szifon levegő a szilárd szemcsék visszaáramlást segíti illetve szabályozza.

A 2. ábra a találmány szerinti eljárás legáltalánosabb menetének folyamatábráját mutatja. A találmány szerinti eljárás fő lépései a következők. Először a fermentálási maradék víztelenítése, nedvességtartalmának beállítása történik meg, majd vagy ezzel együtt vagy külön fázisban a megfelelő szemcseméretre aprítás. Ezt követi a tüzelő berendezésbe történő adagolás, majd az abban történő égetés, adott esetben több ciklusban történő recikkuláció. A folyamat végén a keletkező gáznemű égéstermékéből történik meg a hőhasznosítás, de adott



esetben ez már az égési folyamat közben a tüztérből is megkezdődik. A kinyert hőenergia továbbítása ismert módon, víz hőhordozó felhasználásával történik a hőkiadó felület felé.

Az eljárás során alkalmazott kiinduló anyag, a fermentáció szilárd mellékterméke először a víztelenítő, aprító berendezésbe kerül, ahonnan a fluidizációs tüzelésű kazán adagolójának gyűjtő hombjába. Az adagoló a tüztérben fluidizált állapotban lévő, magas hőmérsékletű ágyanyagba juttatja a víztelenített, aprított szilárd anyagot, ahol az égni kezd. Az ágyanyagot az éghető szilárd anyaggal együtt az alulról befűjt (primer) levegő tartja fluidizált állapotban, és ez biztosítja az égéshez szükséges oxigén egy részét is. További levegő bevezetés lehetséges szekunder- és terciér levegőként a tüztér magasabb szintjein. Az égés során keletkező füstgáz a tüztér felső részénél távozik. Nagyobb fluidizáló légsebességet alkalmazó, ún. cirkulációs fluidizációs kazánok esetében a füstgáz áram szilárd szemcséket (inert port és éghető anyagot) is magával ragad, amelyek leválasztása a ciklonban lehetséges. A leválasztott szilárd anyag azután a tüztérbe lép vissza. A szilárd anyagtól (jórészt) megtisztított füstgáz a füstgáz hőhasznosítóba lép, amelynek feladata a füstgáz lehűtése révén a benne levő energiatartalom hasznosítása. A találmányban szereplő megoldásban itt a füstgázban lévő, jelentős mennyiségű vízgőz lekondenzálása történik a párolgáshő energetikai hasznosítása céljából.

A találmány szerinti eljárás során előnyösen alkalmazott, tipikusan 850°C körüli tüztérhőmérsékleten a levegő nitrogénjének termikus- és prompt oxidációja még nem játszódik le, ami pedig más tüzelési megoldásokban az NO_x képződésének meghatározó részét adja; a nitrogénoxid-kibocsátás további csökkentését pedig a levegő megosztott bevezetése szolgálja. A fluid ágy alkalmazása emellett lehetőséget ad az égés során a tüzelőanyagból felszabaduló kén hatékony megkötésére is, amit tipikusan mészkő adalékolásával érnek el. Ekkor a már oxidált kén a beadott mészkővel közvetlenül vagy közvetve gipsszé alakul, azaz megkötődik magában a tüztérben – ahelyett, hogy SO_2 vagy SO_3 formájában a környezetbe távoznék. Az így keletkezett gipsz – tisztítás után – ipari célokra még fel is használható.

A hőmérsékleteket, nyomásokat és gázáramokat számítógépes adatgyűjtőhöz csatlakozó távadókkal mérjük. A füstgázban levő CO_2 , O_2 , SO_2 , NO , NO_2 , CO , THC (éghető szénhidrogén) összetevőket egy digitális elemző-adatgyűjtő rögzíti. Az együttes értékelés a kiegészítő műszerek, mintavételek és egyéb információk alapján történik.

A 3. ábra a találmány szerinti eljárás során alkalmazott szárítási folyamat víztelenítési határgörbéit mutatja. A diagram megadja, hogy adott körülmények között legfeljebb mekkora nedvességtartalommal rendelkezhet az önálló tüzelésre szánt fermentációs maradék. Így például (1) $\lambda=1,3$ légszükséglet tényező és $\theta_{\text{Lev,be}}=400^{\circ}\text{C}$ levegő előmelegítési hőmérséklet esetén a fluidizációs tüzelés 850°C -os tipikus tüztérhőmérsékletén történő önálló égetéshez legfeljebb $\gamma_{\text{HOH}} < 67,9\%$ nedvességtartalom engedhető meg.

A diagram továbbá mutatja, hogy például (2) $\lambda = 1,3$ légszükséglet tényező és $\gamma_{\text{HOH}} = 70\%$ nedvességtartalom mellett a tüztérbe lépő levegőnek legalább $\theta_{\text{Lev,be}} > 580^{\circ}\text{C}$ (előmelegítési) hőmérséklettel kell rendelkezni.

A találmány szerinti eljárást, továbbá az eljárás próbaüzeme során végzett mérések eredményeit a továbbiakban a következő *kísérleti példa alapján* ismertetjük:

Az eljárás során a kísérleti vizsgálat előkészítéseként meghatároztuk a tüzelőanyagként alkalmazott fermentációs melléktermék összetételét:

A tüzelőanyag szénkémiái jellemzői Brandt (1981) könyve alapján kerülnek tárgyalásra, amely a jelölések és a metodika vonatkozásában teljesen megegyezik a DIN 1942 jelű szabványban rögzítettekkel.

A kiindulás a tüzelőanyag elemi összetétele, amely az egyes alkotók tömegarányát adja meg a nyers tüzelőanyagra vonatkoztatva. A mértékegység minden esetben kg/kg:

γ_{HOH}	nedvességtartalom,
γ_{A}	hamutartalom,
γ_{C}	karbontartalom,
γ_{H}	hidrogéntartalom,
γ_{S}	kéntartalom,
γ_{N}	nitrogéntartalom,
γ_{O}	oxigéntartalom.

A fentiek közül csak az első hatot szokás laboratóriumban kimérni, az oxigéntartalom ezekből számítandó, mivel a tüzelőanyag alkotóinak összege ismert:

$$\gamma_{\text{HOH}} + \gamma_{\text{A}} + \gamma_{\text{C}} + \gamma_{\text{H}} + \gamma_{\text{S}} + \gamma_{\text{N}} + \gamma_{\text{O}} = 1 \quad ,$$

amiből az is látszik, hogy pl. a nedvességtartalomban levő hidrogén nem számít bele a γ_{H} -val jelölt külön hidrogéntartalomba.

A mérés előkészítése, valamint a további feladatok szempontjából fontos ezen jellemzők átszámítása más nedvességtartalomra a következő összefüggés szerint:

$$\gamma_i'' = \gamma_i' \cdot \frac{1 - \gamma_{\text{HOH}}''}{1 - \gamma_{\text{HOH}}'} \quad ,$$

ahol i index az átszámított összetevőre (A, C, H, S, N, O); egy- ill. két vessző (' ill. '') pedig a kiindulási- ill. az átszámított állapotra utal.

A számítások szempontjából meghatározó fontosságú stöchiometrikus égési alapmenyiségek, és azok kifejezése a tüzelőanyag elemi összetétele alapján – szintén a tüzelőanyag tömegére vonatkoztatva, kg/kg dimenzióval – a következők.

Elméleti száraz égési relatív levegőtömeg:

$$\mu_{\text{LoT}} = 11,5122 \cdot \gamma_{\text{C}} + 34,2974 \cdot \gamma_{\text{H}} + 4,3129 \cdot \gamma_{\text{S}} - 4,3212 \cdot \gamma_{\text{O}} \quad .$$

Elméleti száraz relatív füstgáztömeg:

$$\mu_{\text{GoT}} = 12,5122 \cdot \gamma_{\text{C}} + 26,3604 \cdot \gamma_{\text{H}} + 5,3129 \cdot \gamma_{\text{S}} - 3,3212 \cdot \gamma_{\text{O}} + 1,0 \cdot \gamma_{\text{N}} \quad .$$

Elméleti száraz relatív füstgáztérfogat normál állapotban:

$$V_{\text{GoT}} = 8,8930 \cdot \gamma_{\text{C}} + 20,9724 \cdot \gamma_{\text{H}} + 3,3190 \cdot \gamma_{\text{S}} - 2,6424 \cdot \gamma_{\text{O}} + 0,7997 \cdot \gamma_{\text{N}} \quad .$$

Elméleti égési relatív vízgőztömeg:

$$\mu_{\text{HOH,B}} = 8,9370 \cdot \gamma_{\text{H}} + 1,0 \cdot \gamma_{\text{HOH}} \quad .$$

A tüzelőanyag fontos jellemzője még H_o égéshője, amely nem más, mint az égés során felszabaduló fajlagos energia (figyelembe véve, hogy a víz égéstermék folyadék halmazállapotú). Értéke laboratóriumban szintén kimérhető.

Ebből kiszámítható a H_u -val jelölt fűtőérték, amely az égés során felszabaduló fajlagos energia – figyelembe véve, hogy a víz égéstermék gőzfázisú:

$$H_u = H_o - h_r \cdot \mu_{\text{HOH,B}} ,$$

ahol a szabvány szerint $h_r = 2,4425 \text{ MJ / kg}$, vagyis a víz párolgáshője 25°C -on. A fűtőérték tehát figyelembe veszi, hogy az égés során felszabaduló energiát csökkenti a keletkező víz égéstermék elpárolgtatásához szükséges hő. Nem veszi azonban figyelembe a keletkező vízgőz túlhevítéséhez szintén szükséges hőt, valamint a levegő felmelegítéséhez szükséges hőt. Mivel a fluidizációs tüzelés tűztérhőmérséklete jól definiált (tipikusan 850°C), meg lehet határozni azt a relatív hőmennyiséget, amely az égés során felszabadul – figyelembe véve a keletkező víz égéstermék ezen hőmérsékletre történő túlhevítése és az égési levegő felmelegítése során elvont hőt is. Ez az a jellemző, amit fentebb H_u^* -gal jelölve vezettünk be.

Megjegyzendő, hogy éppen a nagy nedvességtartalom miatt szerepel a találmányban kondenzációs kazán, amelyből végül kinyerhető fajlagos hő H_u^* -nál, sőt H_u -nál is magasabb (H_o -t közelítő) lesz, de az önálló tüzelés fenntarthatósága érdekében H_u^* -nak ekkor is határozottan pozitívnak kell lennie.

A kondenzációs kazán belsejében összességében hasznosítható fajlagos hő is meghatározható a következő formula segítségével:

$$H_k = H_o - h_v^{**} \cdot \mu_{\text{HOH,B}} - \lambda \cdot h_L^{**} \cdot \mu_{\text{LoT}} ,$$

ahol 70°C -os kilépő füstgáz hőmérsékletet feltételezve

h_v^{**} a víz 25°C -on és 70°C -on érvényes entalpiájának különbsége: $188,17 \text{ kJ/kg}$,
 h_L^{**} a környezeti levegő kazánba lépésének- és onnan füstgázként való távozásának helyén érvényes fajlagos entalpiájának a különbsége: $49,01 \text{ kJ/kg}$ (25°C -os belépés és 70°C -os távozás esetén).

A valóban munkaközeg melegítésére hasznosuló hő ennél kevesebb, mert H_k -t csökkentik az átalakítás veszteségei (pl. a környezet melegítése), de a füstgáz veszteség nem csökkenti, mert azt a fenti formula már figyelembe vette.

Ezen jellemzőket foglalja össze a 4. ábra táblázata a kísérletek során vizsgált fermentálási maradékra, annak különböző mértékben víztelenített eseteire. Ezen ábra kiindulási adatai tehát az adott fermentációs maradék szénkémiail tulajdonságainak laboratóriumi elemzése (Adatok: Takács, 2004 a).

Látható, hogy a fermentációs maradék az eredeti állapotában a fluidizációs tüzelési technológiával nem tüzelhető, hiszen $H_u^* = -0,36 \text{ MJ / kg} < 0$. (Más technológiával sem, mert ezek hőmérséklete általában magasabb, mint az itt figyelembe vett 850°C .) Valamilyen víztelenítésre tehát feltétlenül szükség van.

A gyakorlatban alkalmazott egyik technológia során a fermentálási maradék ezen állapotát ($70,7\%$ -os nedvességtartalmát) centrifugálással érik el. Ennél eredményesebb technológia is létezik azonban (az igen energiaigényes termikus szárítást nem említve), melynek során préses víztelenítőket alkalmaznak, amelyek elhanyagolható teljesítménnyel mellett $\gamma_{\text{HOH}} = 60\%$

nedvességtartalmat érnek el. A továbbiakban ezt az értéket tekintjük referenciának mint reálisan biztosan megvalósítható megoldás eredményét.

A vizsgált fermentálási maradék szénkémiail jellemzőinek összefoglalását mutatja különböző nedvességtartalmú állapotok elérése esetén a 4. ábra, amely a laboratóriumi adatok alapján a fenti egyenletek felhasználásával készült.

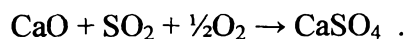
Látható, hogy a vizsgált fermentálási maradék már az egyszerű préses víztelenítési eljárás mellett is stabilan égethető fluidizációs tüzelésű kazánban: $H_u^* (\gamma_{\text{HOH}}=60\%) = 1,03 \text{ MJ / kg} > 0$. A hasznosítható fajlagos hő kondenzációs fluidizációs kazánban $4,47 \text{ MJ / kg}$.

Az kísérleti égetési folyamat során kapott hamu összetételének vizsgálata:

Elsősorban a kénmegkötés szempontjából fontos tudni, hogy miből áll a kiizzított szilárd tüzelőanyag (fermentálási maradék) hamuja. Ennek feltárása érdekében laboratóriumi vizsgálatot végeztünk (Adatok: Várhegyi et al. 2004 a). Az 5. ábrán a fermentálási maradék (laboratóriumban izzított) hamujának elemzése során kapott értékek találhatók.

Már itt látszik, de a fluidizációs kísérlet eredményeként méginkább szembeötlő volt a vas(III)-oxid jelenléte, ami a pernye határozottan barnás színét adja. A kommunális szennyvízben fellelhető egyes komponensek eredetének tanulmányozása külön vizsgálatot is megérne. A legjelentősebb összetevő a homok (SiO_2), a jelentős foszfortartalom pedig nyilván a mosószerekből származik.

Természetesen a kalcium mennyisége a legfontosabb a fluidizációs tüzelésű kazán tűzterében (technológiába integráltan) lejátszódó kénmegkötés szempontjából, amely folyamat eredő egyenlete



Láthatóan a stöchiometrikus viszony az $n_{\text{Ca/S}} = 1$ kalcium/kén mól arány esetében áll fenn. Ezen jellemző konkrét értéke a megismert összetételi adatok alapján

$$n_{\text{Ca/S}} = \frac{\frac{\gamma_{\text{CaO}}}{M_{\text{CaO}}}}{\frac{\gamma_{\text{S}}}{M_{\text{S}}}} = 4,11$$

értékre adódik, ahol M_{CaO} és M_{S} a két anyag moláris tömege ($56,079 \text{ mg/mol}$ ill. $32,064 \text{ mg/mol}$). Ez azt jelenti, hogy a fermentálási maradékban bő négyszer annyi kalcium van, mint amennyi a benne levő kén megkötéséhez – stöchiometrikus viszonyokat feltételezve – szükséges, sőt a kénlekötő képességet a további bázikus alkotók (MgO , K_2O , Na_2O) tovább növelik. A többlet fedezi a tökéletlen folyamatok igényét, vagyis ez a tüzelőanyag jól illeszkedik a fluidizációs tüzelési technológiához, hiszen annak integrált kénmegkötési tulajdonsága külön mészke adalékolás nélkül, magára a tüzelőanyagban meglévő kalciumra alapozva lejátszódik. Ennek hatására igen alacsony SO_x -kibocsátásra lehet számítani minden külön beavatkozás nélkül.

A fentiek alapján levonható következtetések:

- A fermentálási maradék laboratóriumi vizsgálataiból kiderült többek között, hogy szokványos víztelenítési technológiát (prézelést) alkalmazva stabilan égethető,
- 4,47 MJ / kg fajlagos hővel lehet kalkulálni a fenti víztelenítésen átesett (azaz 60% nedvességtartalmú) állapotban,
- kalciumtartalma alapján fluidizációs tüzelésű kazánban égetve külön kénleválasztóra, sőt külön mészke adagolásra sincs szükség,
- a tüzelő berendezés méretezéséhez szükséges stöchiometrikus alapmennyiségek meghatározásra kerültek.

A találmány szerinti eljárás menetének vizsgálatára és a tüzelésre kerülő anyag tulajdonságainak elemzésére további mérések történtek:

Ennek során az úgynevezett TG-MS vizsgálati eljárást alkalmaztuk, amely két rész-eljárás összekapcsolásából áll. Az első ezek közül a „TG”, amelynek jelentése: „thermogravimetry”. Ennek során a vizsgált anyag súlyát regisztrálják, miközben meghatározott hőmérsékleti programnak vetik alá. Tüzelőanyagok esetében a szokásos hőmérsékleti program a hőmérséklet emelése pl. 40 °C/min gyorsasággal egészen 850 °C-ig, majd ennek elérése után néhány percig ezen hőmérséklet változatlan értéken tartása. Az anyagot körülvevő gáz összetételét szabályozzák, ami tipikusan lehet inert (argon) vagy oxidáló (oxigén, levegő). A hőmérsékleti program lefutása közben (pl. az illók távozása miatt) a vizsgált tüzelőanyag fokozatosan veszít súlyából, és a súly regisztrált változását szokás a TG vizsgálat G görbéjének nevezni. A számítógéppel rögzített időfüggvény (numerikus) deriválása természetesen nem okoz gondot, és az így adódó görbe még szemléletesebben mutatja a súlycsökkenés szempontjából leginkább intenzív hőmérsékleti tartományokat (DTG görbe).

Annak érdekében, hogy az égési-, izzítási folyamatról még több információt szerezzünk, a távozó gázokat vizsgálni érdemes azok molekulatömeg szerinti szétválogatása útján. Erre, a TG berendezéshez kapcsolt második eszközre utal az eljárás nevében szereplő második rövidítés, az „MS” jelentése ugyanis „mass spectrometer”. Kimenő jelei tehát az adott hőmérsékleten, adott molekulatömeggel távozó anyagok relatív mennyisége.

Az inert atmoszférában végzett TG-MS vizsgálat eredményeit a mellékelt 6. ábra foglalja össze. Az oxidatív atmoszférában végzett TG vizsgálat eredményeit pedig a 7. ábrán mutatjuk be.

A fenti vizsgálatokból levonható következtetések:

A 105 °C-os előszárítás, majd öblítés során a vizsgált fermentálási maradék elveszítette 68,5%-át, amely adat jól megfelel az elemi összetétel vizsgálata során kapott 70,7%-os nedvességtartalomnak.

Argon atmoszférában a 850 °C-os hőmérséklet eléréseig távozik a száraz anyag kereken 50%-a, de a súlycsökkenés legnagyobb része már a 250–500 °C-os tartományban megtörténik.

A félkokszerű maradvány (char) 20% O₂-tartalmú gázban történő égetése gyakorlatilag teljes mértékben lejártszódik a 350–500 °C-os tartományban.

Ezek alapján a fermentálási maradékról mint könnyen gyulladó, alacsony hőmérsékleten égő anyag képe bontakozik ki, vagyis amely kifejezetten jól illeszkedik a fluidizációs tüzelésű technológia jellegzetességeihez.

A vizsgálatok megmutatták azt is, hogy a légszennyezés legfontosabb komponensei (S, N) elsődlegesen milyen vegyületek formájában távoznak az anyagból. Ezek közül fontos, hogy nitrogén (gyakorlatilag) csak ammóniaként szabadul fel, amely pedig a fluidizációs tüzelés körülményei között gyakorlatilag csak N_2 -né és vízzé alakul át.

A továbbiakban a találmány szerinti eljárás alapján egy fluidizációs kísérleti berendezésben végzett konkrét tüzelési folyamatot mutatunk be.

A tüzelőanyag előkészítése a kísérlethez:

A fermentálási maradékból kb. 150 kg-ot a szennyvíztisztítóban zsákokba lapátoltuk majd személygépkocsi csomagtartójában szállítottuk a kísérleti berendezésnek is helyet adó csarnokba. A kísérleti berendezés korlátai miatt (kötelező ciklon hűtés, kis adagolási kapacitás) vált szükségessé az anyag nagymértékű szárítása. Ezt egy olyan helységben végeztük, ahol átlagosan 28 °C léghőmérséklet uralkodott megfelelő légmozgás mellett. Itt adott esetben egyszerre 10 kg tüzelőanyagot terítettünk ki. Az eredményes szárítást ezekben a mennyiségi egységekben 5–7 nap alatt lehetett elérni, amikor nedvességtartalma a kiindulási 70,7%-ról 27,9%-ra csökkent. A szárításnak ez a módja mellesleg felveti valós berendezés esetében is az alacsony hőmérsékletű víztelenítést pl. szoláris megoldásban, amelynek energetikai hatását és határait a 3.-4. ábrák mutatják be.

A szárítás folyamán a fermentálási maradék nemcsak jelentős tömegcsökkenésen ment át, hanem meglehetősen nagy, akár 4–8 cm-t is meghaladó átmérőjű rögökké állt össze. Az adagoló méretei, de a jó égetés érdekében is a kiszárított fermentálási maradék őrlésére volt szükség, amely művelet eredményeként a tüztérbe adagolható, porszerű anyag jött létre. Ezen tüzelőanyag szemcsézete meglehetősen durva volt, hiszen az anyag legnagyobb része 4 mm feletti.

Égési viszonyok

A tüztérben és a berendezés egyéb pontjain fennálló viszonyokat is érdemes vizsgálat alá vonni, hiszen minden eredmény, a füstgáz- és a keletkező hamu összetétele is a belső folyamatok eredményeként alakul ki.

A 8. ábrán a fermentálási maradék tüzelése során (valamint az azt közvetlenül megelőző időszakban) kialakult legfontosabb hőmérsékletek időbeli alakulása látható. A ciklon kényszerű hűtése és az adagoló szűk kapacitása miatt a fluidizációs tüzelésre tipikusnak tekintett 850 °C-os tüztérhőmérsékletet nem sikerült elérni, a kísérlet során ez a hőmérséklet 650 °C körül alakult.

A 8. ábrán fermentálási maradék fluidizációs tüzelésű kazánban történő első kísérleti égetése folyamán mért legfontosabb jellemző hőmérsékletek láthatók. Az ábra a tüztérben uralkodó viszonyokat mutatja. A mérési pontok technológiai elhelyezése a 1. ábra szerinti berendezés

megfelelő helyén történik. A felfűtési fázis után, To+22'-ben tértünk át a fermentálási maradék adagolására; a feltüntetett időpontok a pernyeminták vételének időpontjai.

A tüztér P1- és P2 jelű mérési pontjainak nyomáskülönbségét ábrázoló diagram a 9. ábrán látható, amely nyomáskülönbség a tüztér alsó részében, azaz (körülbelül) a sűrű fázisban elhelyezkedő portömegre, ennek koncentrációjára jellemző.

A diagramon látható a teljes megelőző mérési szakaszra is érvényes, olykor töréseket tartalmazó, de mindig fennálló növekvő tendencia, amit az ágyanyag mennyiségének állandó növekedte okoz a szilárd tüzelőanyag jelentős hamutartalmának folyamatos felhalmozódása miatt.

A következő diagramok (10. ábra) a fluidizáció mértékét, az égés kiterjedését, és a tüztérben levő por (előbb említett) megoszlását is jelentősen befolyásoló gázáramokat, és az azok beállítására hivatott szelepek pozíciójának időfüggvényét mutatják. Az összlevegő- (yLev) és a primerlevegő (yPrim) szelepek kézi beavatkozásra mozgathatók (számítógépen kiadott kezelői beavatkozással), a füstgáz szelep (yFG) viszont a tüztérnyomás automata szabályozásának beavatkozó szerve.

A kísérlet során keletkezett hamu elemzése:

A fluidizációs tüzelési kísérlet egyes szakaszaira jellemző időszakok végén pernyemintákat vettünk. A fermentálási maradék hamujának említett jelentős vas(III)-oxid-tartalma jól látható volt a minták barnás színén.

A kivett pernyemintákat laboratóriumi elemzéssel kétféle módon vizsgáltuk, izzítási veszteségre- és karbonát-széndioxid elemzéssel (Adatok: Takács, 2004 b), valamint szitálással. A fermentálási maradék kísérleti tüzeléséből származó hamuk néhány szénkémiail jellemzőjét a 11. ábrán foglaltuk össze. (Minden adat az eredeti minta tömegszázalékában.)

A hamuelemzésből világosan látszik, hogy a kísérletben a fermentálási maradék gyakorlatilag tökéletesen kiégett. Mindhárom hamuminta nedvességtartalma elenyésző, izzítással eltávolítható anyagmennyisége pedig gyakorlatilag csak karbonát-széndioxidot tartalmaz. Ez azt jelenti, hogy – az egyébként kedvezőtlen körülmények között, 650 °C-os tüztérhőmérséklet mellett – végzett fluidizációs tüzelési kísérlet során keletkezett hamu (gyakorlatilag) sem szerves maradványt, sem éghető veszteséget nem tartalmaz.

A hamuk szemcseméret eloszlási képe megerősíti a tökéletes kiégésre vonatkozó előző megállapítást, hiszen a fermentálási maradék hamujában nyoma sincs a tüztérbe adagoláskor jellemző durva szemcsézetnek. Ezt kiegészítve le kell jegyezni, hogy az égetés során teljesen eltűnt e tüzelőanyag jellegzetes, szúrós szaga, valamint boltozódásra hajlamos állaga.

A fluidizációs tüzelési technológia egyik előnye az, hogy a keletkező hamu (éppen a tüztérben lejátszódó kénmegkötési folyamat eredményeként) az építőiparban cementgyártási alapanyagként felhasználható. Ezt azonban olykor csak bizonyos felhasználási területekre (pl. közmű alagutak, bányafalak építésére) korlátozza a hamu kimutatható radioaktivitása, ami nyilvánvalóan a kiindulásként használt szénből ered. A fermentálási maradék hamuját megmérve azonban azt tapasztaltuk, hogy az semmiféle radioaktivitást nem mutat, vagyis ez a hamu korlátozás nélkül felhasználható az építőiparban – akár lakóépületekhez is.

Az égetési kísérletből levont következtetések:

Sikerült elvégezni (tudtunkkal elsőként) egy modern szennyvíztisztítóból származó fermentálási maradék kísérleti égetését egy félüzemi fluidizációs tüzelésű berendezésben. Ehhez azonban módosításokra is szükség volt a berendezésen, amelyek közül a legfontosabbat, a stabil égetés szempontjából szükségessé elvégeztük, több más (kevésbé fontosra) azonban e munka keretei nem adtak lehetőséget. Ehhez alkalmazkodva a kísérletek során több úton is növeltük a hőbevitelt: villamos fűtéssel, gázégő folyamatos használatával és a tüzelő anyag előzetes szárításával. Mindezek mellett 650 °C tüztérhőmérséklet mellett tudtunk viszonylag stabil üzemet elérni. Ez a kísérleti berendezés műszaki korlátaiból adódott.

E kedvezőtlen állapot ellenére nagyon jó (alacsony) SO₂- és elégetlen szerves anyag koncentráció volt kimutatható a füstgázban. A mért CO- és az NO_x-kibocsátás viszont nagyon magas volt, ami az ipari körülményektől való kényszerű eltérés alapján teljesen érthető. Ennek kísérleti kiküszöbölésére, valamint a kedvező eredmények megerősítésére a jelzett módosítások elvégzése, és további kísérletek szükségesek.

A kísérlet során a fermentálási maradékból keletkezett hamu (gyakorlatilag) tökéletesen kiégett, kellemetlen tulajdonságokat, radioaktivitást egyáltalán nem mutat, ezért a cementgyártásban jól felhasználható.

A találmány szerinti eljárás anyagvizsgálata, valamint kísérleti üzeme során szerzett tapasztalatok összefoglalása, eredményei:

- A kutatási munka keretében sok szempontból, alaposan megvizsgált fermentálási maradék tipikusan tekinthető, nagy és egyre növekvő mennyiségben keletkezik, mert olyan szennyvíztisztítóból származik, amely technológiája modern, és e technológia további elterjedése már látható.
- Ez a fermentálási maradék veszélyes hulladéknak nem minősül ugyan, de szaghatása, szerves anyag tartalma és visszataszító makroszkopikus megjelenése miatt mezőgazdasági felhasználása és deponálása is egyre költségesebb, sőt már-már megoldhatatlan.
- Ez az anyag már kommerciális víztelenítési technológia (pl. préselés) alkalmazása esetén is önállóan égethető.
- A préselés után megmaradó, kb. 60%-os nedvességtartalma miatt energetikai hasznosítása kondenzációs kazánban javasolt. Ebben az esetben hasznosítható fajlagos hőtartalma 4,47 MJ/kg.
- A tüzelőanyag kifejezetten jól illeszkedik a fluidizációs tüzelési technológiához, mert
 - alacsony hőmérsékleten gyullad, és könnyen ég;
 - jól kihasználja a fluidizációs tüzelési technológia integrált kénmegkötési tulajdonságát, mert saját bázikusanyag-tartalma biztosítja közepes mértékű kénmegtartalmának a megkötését, vagyis e tüzelési mód kénmegkötési funkciója érvényesül – anélkül, hogy mészkő adagolásról külön gondoskodni kellene;
 - a keletkező hamu (cement alapanyagként) az építőiparban jól hasznosítható akár lakóépületekhez is, mert radioaktivitást egyáltalán nem mutat.
- A vizsgált fermentálási maradék (nagy felületi nedvessége miatt) boltozódásra nagyon hajlamos, ami hombár aljából történő adagolás szempontjából nagyon kedvezőtlen. Ezért az általunk javasolt adagolóban a hombárba építendő keverő szerkezetet célszerű beépíteni. Fluidizációs tüzelésű kondenzációs kazánban történő energetikai hasznosítás esetén a füstgáz kilépés hőátadó felületeit alacsonyabb korrózióálló tulajdonsággal rendelkező (azaz olcsóbb) anyagból lehet elkészíteni a füstgáz minimális SO₂-tartalma miatt.

- Néhány mért eredmény (pl. a meglepően alacsony SO_2 -kibocsátás) megerősítéséhez, valamint optimális beállítások és méretezési adatok meghatározásához további kísérletekre van szükség.

A találmány szerinti megoldás előnyei:

- Alkalmazásával megoldódik a fermentálás melléktermékeként előálló szilárd anyag káros összetevőinek ártalmatlanítása a leginkább hatékony, termikus úton.
- Megújuló tüzelőanyagként hasznosul a fermentálási maradék.
- A kéntartalom külön adalékanyagok és kiegészítő berendezések alkalmazása nélkül, a technológiába integrált módon és a fermentálási maradékban meglévő kalcium felhasználásával már a tüztérben megkötődik.
- Az alkalmazott, viszonylag alacsony hőmérséklet miatt a káros nitrogénoxid-kibocsátás elhanyagolható mértékű.
- A kondenzációs kazántípus kiemelkedően hatékony módon fejleszt energiát még viszonylag kisebb mértékű víztelenítés mellett is.
- A keletkező hamu radioaktív izotópokat nem tartalmaz, ezért az építőiparban korlátozás nélkül felhasználható.

A találmány szerinti eljárás során fluidizációs tüzelésű kazánt alkalmazunk, mert ennek a kazántípusnak kiemelkedő tulajdonságai közé tartozik a tüzelőanyag tekintetében mutatkozó flexibilitása, valamint a kifejezetten környezetbarát energiatermelés lehetősége. Tipikusan nem gőztermelő-, hanem forróvíz kazánt javasolunk beépíteni, amit a viszonylag kis méret indokol.

Az eljárással biztosítható ártalmatlanítási folyamat jobb, hatékonyabb, gazdaságosabb, mint más eljárások, és ezzel együtt szélesebb körben alkalmazható. Energiatakarékos, mert fenntartása nem igényel külön égetést, külső energiaforrást, sőt energiatermelésre használható. Környezetvédelmi szempontból is nagyon előnyös, mert a fermentációs melléktermékben meglévő, egyébként környezetet terhelő anyagokat gyakorlatilag teljes mértékben ártalmatlanítja.

SZABADALMI IGÉNYPONTOK:

1. Eljárás fermentáció melléktermékeként előálló szilárd anyag ártalmatlanítására és energetikai hasznosítására, melynek során fermentálási maradékként előálló szilárd anyagot szárítunk, majd zárt rendszerű folyamatban eltüzelünk,

azzal jellemezve, hogy

az eljárás során a fermentálási maradék nedvességtartalmát beállítjuk, majd - vagy ezzel együtt vagy külön fázisban - a fermentálási maradékot megfelelő szemcseméretre aprítjuk,

ezt követően az előkészített fermentálási maradékot fluidizációs tüzelőberendezésbe tápláljuk, majd abban, adott esetben egy vagy több ciklusban megfelelő égési paraméterek fenntartása mellett eltüzeljük,

majd a folyamat végén a keletkező gáznemű égéstermékéből, - vagy adott esetben már az égési folyamat közben a tüztérből is – energetikai hasznosításra hőt nyerünk ki.

2. Az 1. igénypont szerinti eljárás, azzal jellemezve, hogy a fermentálási maradékként előálló szilárd anyag nedvességtartalmát oly módon állítjuk be, hogy egy vagy több lépésben szárítjuk, melynek során a nedvességtartalmat előnyösen 2-30 %-ra, adott esetben 60 %-ra, de legfeljebb 68 %-ra állítjuk be.

3. Az 1. vagy 2. igénypont szerinti eljárás, azzal jellemezve, hogy a fermentálási maradékként előálló szilárd anyagot előnyösen őrléssel vagy darabolással egy vagy több lépésben 0,1-50 mm szemcseméretűre, előnyösen 4-5 mm szemcseméretűre aprítjuk.

4. Az 1.-3. igénypontok bármelyike szerinti eljárás, azzal jellemezve, hogy a fluidizációs tüzelés során alkalmazott égési hőmérséklet tartomány 500-950 °C, előnyösen 800-850 °C.

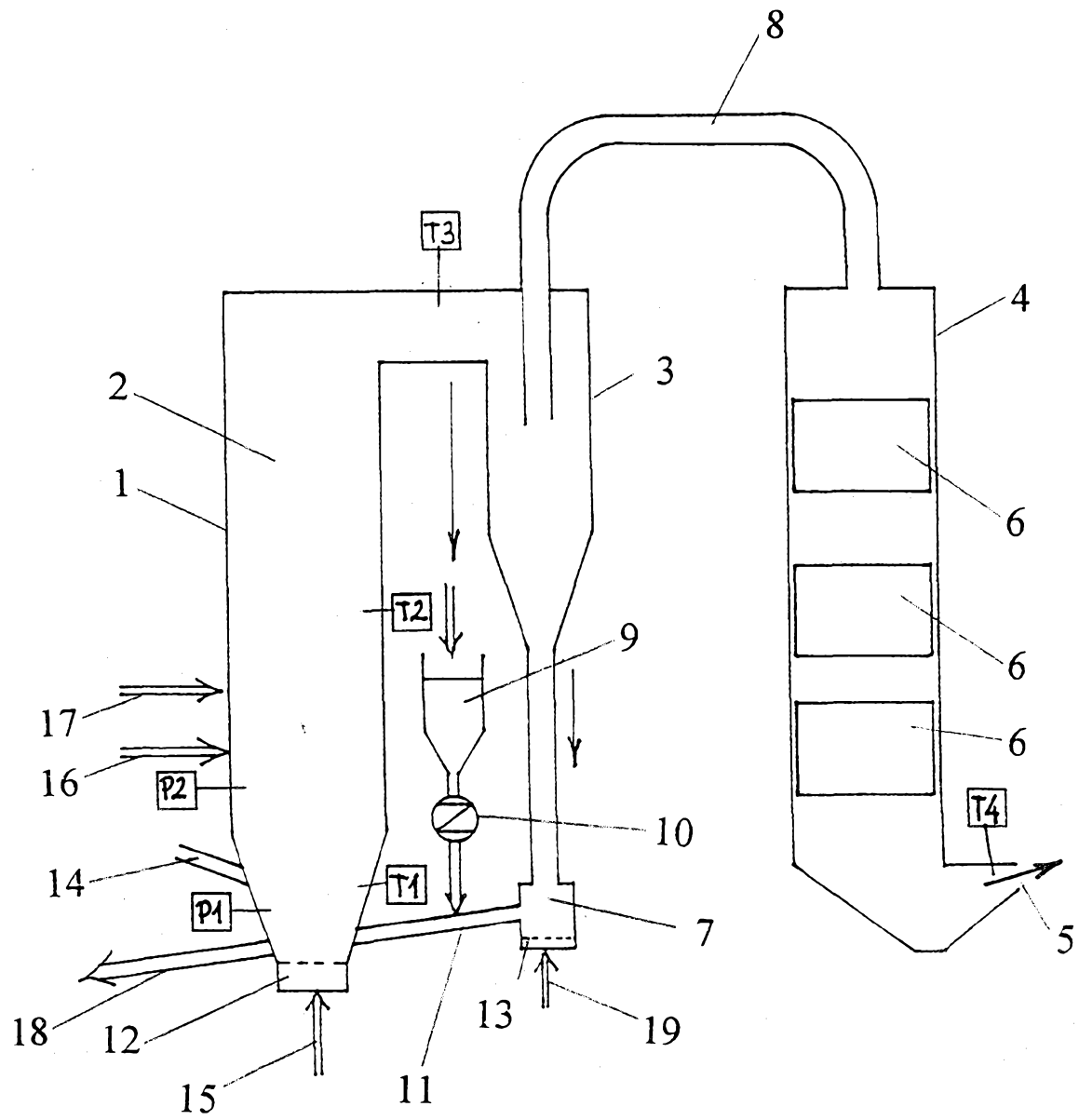
5. Az 1.-4. igénypontok bármelyike szerinti eljárás, azzal jellemezve, hogy a fermentálási maradékként előálló szilárd anyagot az előkészítés során egy vagy több lépésben szolárisan szárítjuk.

6. Az 1.-5. igénypontok bármelyike szerinti eljárás, azzal jellemezve, hogy a kinyert hőenergia továbbítása ismert módon, víz munkaközeg felhasználásával előnyösen kondenzációs hőcserélő segítségével történik a hőkiadó felület felé.

7. Az 1.-6. igénypontok bármelyike szerinti eljárás, azzal jellemezve, hogy a tüzelési folyamat során a tüzelésre kerülő fermentációs maradékhoz időszakosan vagy folyamatosan a tüzelést vagy az égési folyamatot segítő adalékanyagot vagy kiegészítő tüzelőanyagot adagolunk.

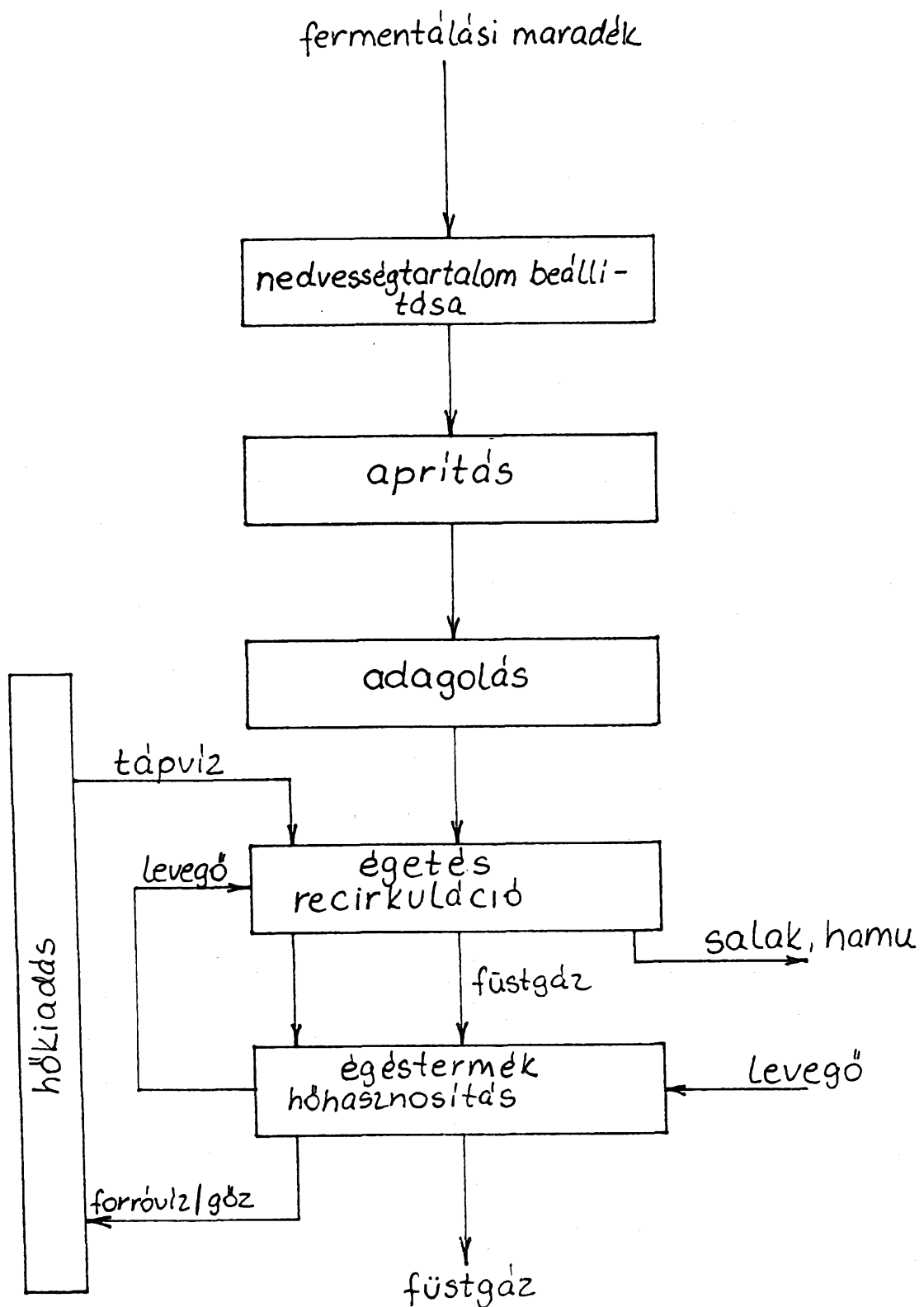
8. Az 1.-7. igénypontok bármelyike szerinti eljárás, azzal jellemezve, hogy a tüzelési folyamat során a tüzelésre kerülő fermentációs maradékhoz időszakosan vagy folyamatosan további éghető vagy nem éghető anyagot, adott esetben hulladékot és/vagy más tüzelőanyagot és/vagy katalizátort adagolunk.

Santanner Pál



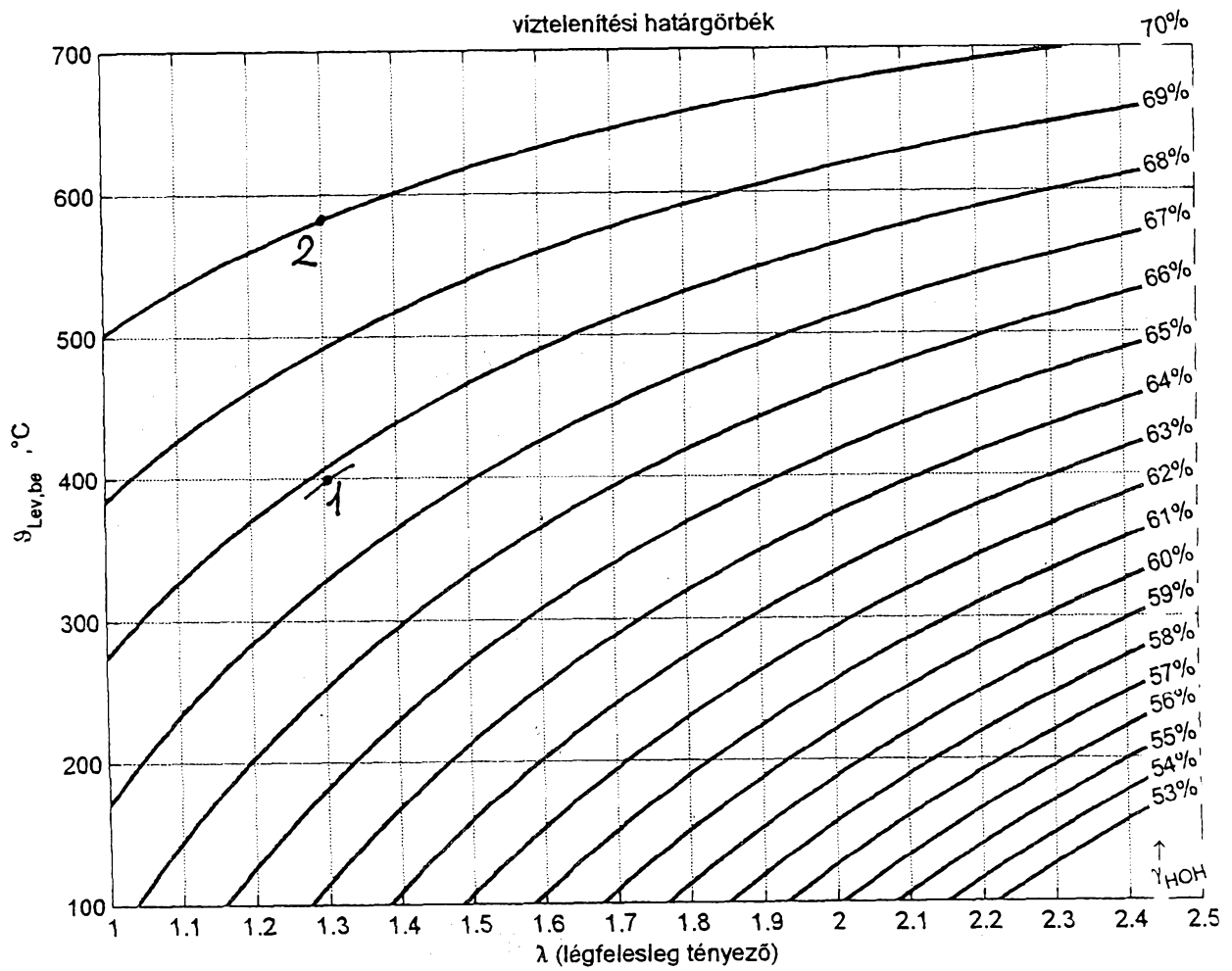
1.Ábra

Szentanna Poll



2.Ábra

Szent Anna Pál



3.Ábra

Szentannai Pál

		nyers (labor)	referencia				kísérlet			wf
γ_{HOH}	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	0,707	0,6	0,5	0,4	0,3	0,279	0,2	0,1	0,0
γ_{A}	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	0,146	0,199	0,249	0,299	0,349	0,359	0,399	0,448	0,498
γ_{C}	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	0,088	0,120	0,150	0,180	0,210	0,217	0,240	0,270	0,300
γ_{H}	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	0,005	0,007	0,009	0,01	0,012	0,012	0,014	0,015	0,017
γ_{S}	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	0,004	0,005	0,007	0,008	0,010	0,010	0,011	0,012	0,014
γ_{N}	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	0,010	0,014	0,017	0,020	0,024	0,025	0,027	0,031	0,034
γ_{O}	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	0,040	0,055	0,068	0,082	0,096	0,098	0,109	0,123	0,137
H_0	$\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$	3,43	4,68	5,85	7,02	8,19	8,44	9,37	10,54	11,71
$\mu_{\text{HOH,B}}$	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	0,752	0,661	0,576	0,192	0,407	0,389	0,322	0,237	0,153
μ_{LoT}	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	1,03	1,40	1,76	2,11	2,46	2,53	2,81	3,16	3,51
μ_{GoT}	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	1,13	1,54	1,93	2,32	2,70	2,78	3,09	3,47	3,86
V_{GoT}	$\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$	0,80	1,10	1,37	1,64	1,92	1,98	2,19	2,47	2,74
H_u	$\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$	1,59	3,07	4,45	5,82	7,20	7,49	8,58	9,96	11,33
H_u^*	$\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$	-0,36	1,03	2,33	3,63	4,93	5,20	6,23	7,53	8,83
H_k	$\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$	3,22	4,47	5,63	6,80	7,96	8,21	9,13	10,29	11,45

4.Ábra

Santanna Pol

izzítás hőmérséklete, °C	izzítási veszteség											
		Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	SiO ₂	TiO ₂	Σ
1050	57,2	8,46	19,8	18,1	1,08	3,58	0,58	18,8	1,21	25,7	0,48	98,23
850	55,3	8,08	19,7	17,7	1,15	3,40	0,64	19,8	3,73	24,2	0,44	98,87

5.Ábra

Termék	Hőmérséklet (°C)	Termék (%)
Szárítás	105 °C, 2 óra	66,9
Mérés előtti öblítés alatti tömegcsökkenés	30 °C	1,6
H ₂	430 - 860	0,5 ^b
H ₂ O	50 - 700	15,9 ^b
CO ₂	140 - 430	2,4 ^{b, c}
CO ₂	560 - 800	2,9 ^b
CO	560 - 860	6,4 ^b
Összesen		28,1 ^b
ΔG	50 - 600	41,9 ^b
ΔG	600 - 860	9,3 ^b

^b Száraz mintára számolva (105°C + argon öblítés utáni minta)

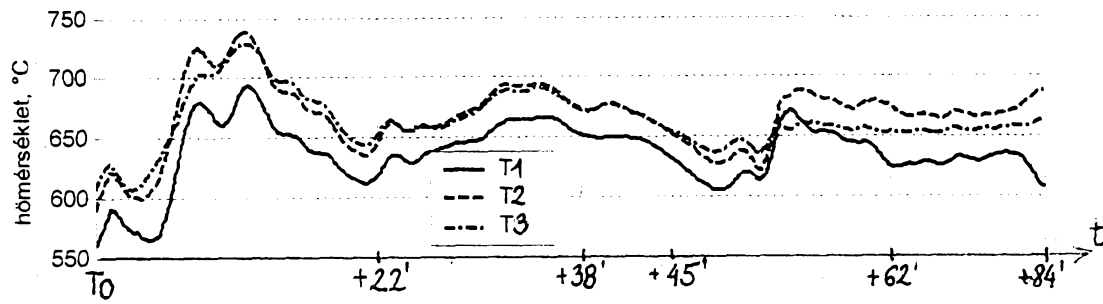
^c Tartalmazhat szénhidrogén terméket is

6.Ábra

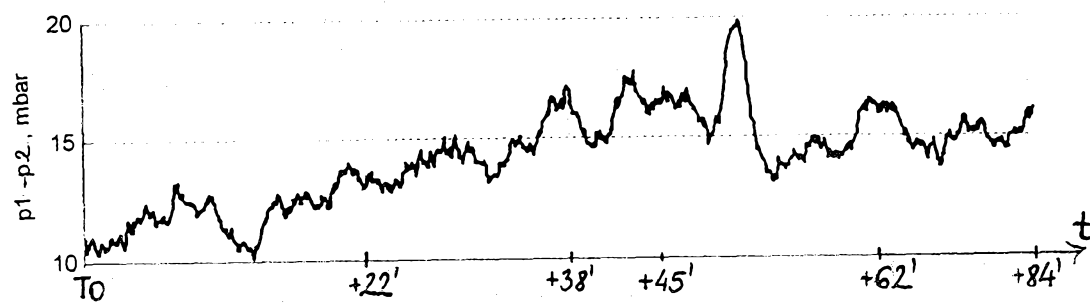
TG paraméter	Hőmérséklet-tartomány (°C)	Érték
ΔG	50-330	-1,6 %
ΔG	330-850	10,0 %
DTG _{max}		425 °C

7.Ábra

Szentmihályi Pál

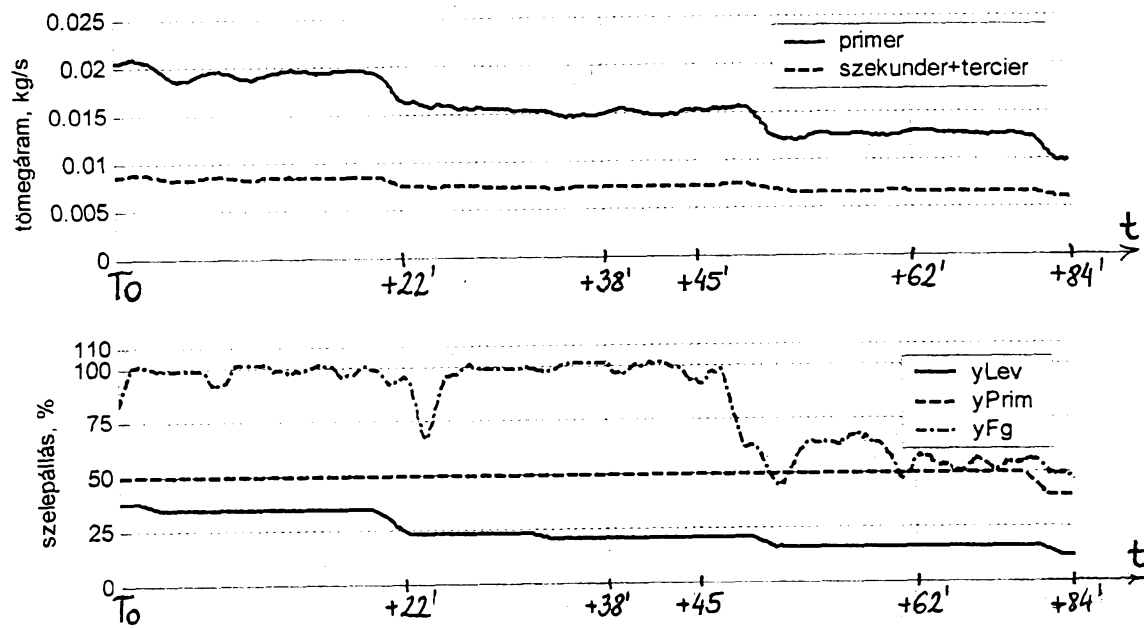


8.Ábra



9.Ábra

Szentánni Péter



10.Ábra

	2. minta	4. minta	5. minta
nedvességtartalom	0,3	0,3	0,4
hamutartalom	81,8	87,7	91,3
izzítási veszteség	17,9	12,0	8,3
karbonát CO_2	16,8	11,9	7,9

11.Ábra

Szentarmai Pál