

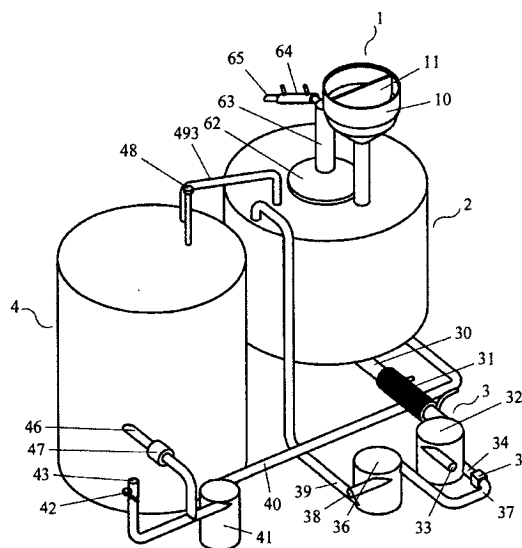
(12) **PATENDIKIRJELDUS**

(21) Patenditaotluse number: P201300016	(73) Patendiomanik:
(22) Patenditaotluse esitamise kuupäev: 02.05.2013	Eesti Maaülikool Fr. R. Kreutzwaldi 1a, 51014 Tartu, EE
(24) Patendi kehtivuse alguse kuupäev: 02.05.2013	(72) Leiutise autorid:
(43) Patenditaotluse avaldamise kuupäev: 15.12.2014	Jüri Olt Kuremaa, 48445 Jõgeva maakond, EE
(45) Patendikirjelduse avaldamise kuupäev: 15.05.2015	Timo Kikas Hommiku 6, 50412 Tartu, EE

(54) **Lignotselluloosest biomassist etanooli tootmise integreeritud läbivooluline seade**

(57) Leiutis kuulub mittefossiilse päritoluga kütuste tootmise tehnoloogiate valdkonda, täpsemalt etanooli tootmise seadmete hulka ning on kasutatav etanooli tootmiseks lignotselluloosest biomassist. Lignotselluloosest biomassist etanooli tootmise integreeritud läbivooluline seade sisaldab omavahel ühendatud biomassi-eeltöötlusosa, hüdroolüüsiosa, fermentatsiooniosa ja destillatsiooniosa. Eeltöötlusosa, hüdroolüüsiosa ja destillatsiooniosa moodustavad ühtse kompaktselt terviku, kusjuures biomassi-eeltöötlusosa ja hüdroolüüsiosa kujutavad endast ühtset kaheastmelist keerdtorustikku, kus toru läbimõõt on kummaski astmes erinev, seadmel on soojusvahetusüsteem ning destillatsiooniosa on paigutatud keerdtorustiku keskele. Kaheastmelise keerdtorustiku sisemises astmes paikneb eeltöötlusosa ja välimises astmes hüdroolüüsiosa, kusjuures keerdtoru läbimõõt väheneb sisemisest astmest välimise suunas. Keerdtorustiku eri astmed on eraldatud vaheseintega, kusjuures mõlema astme keerdtorustik paikneb soojusvahetusüsteemi soojuskandjaga täidetud ruumis. Seadme fermentatsiooniosa kujutab endast püstset mahuti, mis sisaldab püstset keerdkanalit, kusjuures kanali sisend on mahuti allosas ja kanali väljund mahuti ülasosas. Seadme tööprotsessi juhtimiseks on seade varustatud andurite ja juhtseadmega.

(57) The invention falls in the category of non-fossil fuel production technology, bioethanol production in particular, and is applicable in the production of bioethanol from lignocellulosic biomass. Integrated flow-through apparatus for ethanol production from lignocellulosic biomass contains interconnected pre-treatment, hydrolysis, fermentation, and distillation units. The pre-treatment, hydrolysis, and distillation units are incorporated into a single integrated reactor, where pre-treatment and hydrolysis units are made of two-levelled coil of tubing that is wound around the distillation unit. The tube size in both levels is different and the reactor has a heat exchange system. The pre-treatment unit is placed in the inner part of the two-levelled tubing and the hydrolysis unit in the outer part. The tube size decreases from inner part to outer. Different parts of the tubing are immersed in the heat carrier and separated from each other by insulating walls. The fermentation unit of the apparatus is an upright container that includes an upright winding channel. The inlet of the channel is at the bottom and outlet at the top of the container. Apparatus is furnished with sensors and a control panel to control the processes in the apparatus.



**LIGNOTSELLULOOSSEST BIOMASSIST ETANOOLI TOOTMISE
INTEGREERITUD LÄBIVOOLULINE SEADE**

TEHNIKAVALDKOND

- 5 Käesolev leiutis kuulub mittefossiilse päritoluga kütuste tootmistehnoloogiate valdkonda, täpsemalt etanooli tootmiseseadmete hulka ning on kasutatav etanooli tootmiseks lignotselluloosest biomassist.

TEHNIKA TASE

- 10 Biokütuseid jagatakse esimese, teise ja kolmanda põlvkonna kütusteks peamiselt kasutatava tooraine ja tootmistehnoloogia järgi. Esimese ja kolmanda põlvkonna kütused antud juhul käsitlust ei leia. Teise põlvkonna biokütuseid toodetakse lignotselluloosest biomassist nagu rohhtaimed, puit ning taimsed- ja põllumajandustootmisjätmed. Maailmas kõige enam toodetud teise põlvkonna biokütuseks on bioetanool. Lignotselluloosest biomassist toodetud biokütuste peamiseks eelisteks on asjaolud, et nende tooraine ei konkureeri otseselt sööda- ja toiduainetööstusega ning biokütuse tootmiseks on võimalik 15 ära kasutada kogu taime maapealne osa. Teise põlvkonna biokütuste puhul on puudusteks väga energiamahukas tootmisprotsess ning suuri investeeringuid nõudev seadmetik.

- Selleks, et toota lignotselluloosest biomassist etanooli, on vaja lähtematerjali eelnevalt töödelda. Tselluloosi kiud on taimedes kaetud ligniini ja hemitselluloosi kihiga, mille tõttu 20 on tselluloos ilma eelneva töötlemiseta, mis lõhuks seda struktuuri, bakteritele ja ensüümidele väga raskesti ligipääsetav. Eeltöötlemise eesmärgiks on ligniini struktuuri lõhkumine, hemitselluloosi eemaldamine ning tselluloosi kristalse struktuuri osaline lagundamine, mis annab võimaluse muuta tselluloosi osakesed ensüümidele kergesti ligipääsetavaks.

- 25 Biomassi eeltöötlemiseks on kasutatud mitmeid erinevaid meetodeid ning tehnilisi ja tehnoloogilisi lahendusi. Vastavalt patendidokumendile EP2172568 (A1) on tuntud biomassi hüdrotermiline eeltöötlemine ilma kemikaale lisamata. Selleks leotatakse biomassi vees ning kuumutatakse seejärel kõrgel temperatuuril ja rõhul. Eeltöötlemisele järgneb tselluloosi hüdrolyüs ensüümide toimel. Vastavalt patendidokumendile EP2172568 30 (A1) tuntud tehnoloogilised protsessid toimuvad eraldi asetsetavates seadmetes. Meetod on

oma olemuselt lihtne, kuid selle tehnilist realiseerimist iseloomustab suur materjali- ja energiamahukus.

5 Patendidokumendi WO2009/012779 (A2) järgi on tuntud lignotselluloosse biomassi eeltötlus veeauruga kõrgel rõhul ja temperatuuril. Materjali teisaldamiseks ühest reaktorist teise kasutatakse ära erinevate mahutite vahel esinevat suurt rõhkude vahet. Suurte temperatuuri ja rõhu kõikumiste tõttu esitatakse mahutitele kõrgendatud nõudmisi. Protsessi eeltingimuseks on pideva kuuma auru kättesaadavus kõrgetel rõhkudel.

10 Patendidokumendi US7666637 (B2) järgi on tuntud puidust bioetanolli tootmine. Eeltötluse esimeses etapis töödeldakse puitu NaOH lahuses. Teises etapis töödeldakse materjali erinevate kemikaalidega ning seejärel loputatakse veega, et eemaldada protsessis kasutatud kemikaalide jäägid. Eeltötlusele järgneb puidu hüdrolyüs ensüümide toimel ning fermentatsioon. Tehnoloogilise protsessi etapid toimuvad erinevates seadmetes ja kogu protsessi iseloomustab väga suur kemikaalide ja vee kulu.

15 Vastavalt patendidokumendile US20120111321 (A1) on tuntud mehaaniliste ja hüdrotermiliste meetodite koos rakendamine biomassi töötlemiseks. Esiteks purustatakse biomass mehaaniliselt sobiva suurusega tükkideks, leotatakse vees ning sisestatakse survereaktorisse. Seejärel toimub materjali hüdrotermiline töötlemine kõrgel temperatuuril ja rõhul. Survereaktor on varustatud labadega, mille pöörlemine aitab kaasa biomassi veelgi paremale purustamisele, mis välistab materjali kõrbemise reaktori seintele. Edasi
20 järgneb materjali hüdrolyüs ning fermentatsioon. Protsess toimub erinevates seadme osades, kuid need on omavahel seotud.

Patendidokumendi US2012156741 (A1) järgi on tuntud lignotselluloosse biomassi eeltöötlemine lahjas, 0,5 kuni 10% massi järgi, happelahuses temperatuuril 150 kuni 230 °C. Tuntud meetodi eeliseks on lihtsus, kuid puuduseks madal saagis (50 kuni 80%
25 lagundatud suhkrutest) ning suur kemikaalide kulu.

Patendidokumendi US2009318670 (A1) järgi on tuntud lignotselluloosse biomassi eeltöötlemine AFEX (*Ammonia fiber expansion*) meetodiga, mida iseloomustab tuntud lahendustega võrreldes kõrgem saagis, kusjuures ligikaudu 70 kuni 90% tselluloosist lagundatakse suhkruteks. Meetodit iseloomustab suur ammoniaagi kulu ning see sobib
30 eelkõige rohttaimede töötlemiseks.

Kõikide eelpool nimetatud meetodite puuduseks on protsessi toimumiseks vajalikud äärmuslikud tingimused. AFEX-i puhul on temperatuur 70 kuni 200°C ja rõhk 5 kuni 30 baari, auruga lõhkamise korral on temperatuur 180 kuni 240°C ning rõhk 10 kuni 40 baari, mis on väga energiamahukad ja millega kaasnevad suured tootmiskulud. Seega tuleks

5 rohkem tähelepanu pöörata energiamahukuse vähendamisele protsessi erinevates etappides.

Etanooli tootmiseks lignotselluloosest biomassist on tuntud palju erinevaid meetodeid, kuid puudub sobiv aparatuur optimaalse omahinnaga etanooli tootmiseks.

Kõige lähemaks konstruktiivseks lahenduseks on vastavalt patendidokumendile

10 WO2011090544 (A1) tuntud seade, kus biomassi lagundamine ja sellest etanooli tootmine on koondatud ühte integreeritud seadmesse, mis sisaldab materjali etteandesüsteemi, eeltötlusosa, hüdrolüüsi ja fermentatsioonimahutit, kruvipumpa, segistit, vaakumdestillatsiooniseadet ja juhtseadet. Purustatud lignotselluloosne biomass, tihedusega kuni 0,75 g/cm³, sisestatakse mahutisse, milles on ensüümide või

15 mikroorganismide lahus ning mehhaaniline segisti. Ensüümide ja mikroorganismide abil lagundatakse biomass suhkruteks ja fermenteeritakse alkoholiks. Vaakumpumbaga alandatakse rõhku alla 70 torri (0,1 baari) nii, et destillatsiooni on võimalik läbi viia toatemperatuuril. Kõikide protsesside toimumine ühes mahutis muudab süsteemi tootlikkuse väikeseks, sest samaaegse hüdrolüüsi ja fermentatsiooni protsessi efektiivsus

20 on madal. Hüdrolüüs ja fermentatsioon vajavad suurima efektiivsuse saavutamiseks erinevaid tingimusi, mida ühes mahutis samaaegselt toimuvate protsesside jaoks tekitada ei saa. Ilma eeltötluseta on ensüümide ligipääs tselluloosi kiududele takistatud ning seetõttu on protsessi saagis madal.

Tuntud tehnoloogilise lahenduse puuduseks on asjaolu, et uue koguse biomassi saab lisada

25 alles siis kui eelmine partii on hüdrolüüsitud, fermenteeritud ja destilleeritud. Seega, tuntud tehniline lahendus võimaldab protsessi käivitada etapiviisiliselt, mitte pidevalt. Protsessi tsüklilisuse tõttu on tuntud tehnilisele lahendusele vastava seadme tootlikkus piiratud, energiamahukus suur ja sellest tulenevalt toodangu omahind kõrge.

Tuntud tehnoloogiad ja seadmestikud lignotselluloosest biomassist etanooli tootmiseks

30 töötavad partiipõhiselt ja eraldi toimuvate etappidena. Toodangu omahinna alandamise eesmärgil oleks oluline, et etanooli tootmine toimuks efektiivselt pideva protsessina ja

suure tootlikkusega ning seda võimaldava seadme konstruktsioon oleks võimalikult kompaktne.

LEIUTISE OLEMUS

Käesoleva leiutise olemus seisneb lignotselluloosest biomassist etanooli tootmise uudse
5 integreeritud läbivoolulise seadme loomises, kus erinevaid lignotselluloosse biomassi
eeltötluse ja etanooli tootmisprotsessi etappide läbiviimiseks ettenähtud seadmestik on
integreeritud ühte kompaktsesse läbivoolulisse seadmesse. Hüdrotermilise
eeltötlusprotsessi jääksoojust kasutatakse ära sellele järgnevates protsessides, nagu
hüdrolüüs ja destillatsioon. Lignotselluloosest biomassist etanooli tootmise integreeritud
10 läbivoolulise seade võimaldab muuta tootmiseseadme pidevaprotsessiliseks, vähendada
seadmestiku materjalimahukust ja paremini ära kasutada protsessis kuluvat soojusenergiat.

Lignotselluloosest biomassist etanooli tootmise integreeritud läbivooluline seade, sisaldab
omavahel ühendatud biomassi eeltötlus- ja hüdrolüüsiosa, fermentatsiooniosa ning
destillatsiooniosa. Eeltötlusosa, hüdrolüüsiosa ning destillatsiooniosa moodustavad ühtse
15 kompaktselt terviku, kusjuures biomassi eeltötlusosa ja hüdrolüüsiosa kujutavad endast
kaheastmelist ühtset keerdtorustikku, kus toru läbimõõt on kummaski astmes erinev,
seadmel on soojusvahetus- ja segamissüsteem, ning destillatsiooniosa on paigutatud
biomassi eeltötlus- ja hüdrolüüsiosa keerdtorustiku keskele.

Kaheastmelise keerdtorustiku sisemises astmes paikneb eeltötlustorustik ja välimises
20 astmes hüdrolüüsitorustik, kusjuures keerdtorustiku läbimõõt väheneb sisemisest astmest
välimise suunas. Keerdtorustiku erinevad astmed, eeltötlustorustik ja hüdrolüüsitorustik,
on paigutatud soojusvahetussüsteemi soojuskandjatega täidetud eraldi ruumidesse, mis on
teineteisest eraldatud isoleeritud vaheseinaga.

Seadme fermentatsiooniosa kujutab endast püstset fermentatsioonimahuti, mis sisaldab
25 püstset keerdkanalit, kusjuures keerdkanalit sisend on fermentatsioonimahuti allosas ja
kanali väljund fermentatsioonimahuti ülaosas. Fermentatsiooniosa keerdkanal on
moodustatud fermentatsiooni mahutisse liikumatult paigutatud kaldkeerdpinna abil.

Fermentatsiooniosa ja destillatsiooniosa on omavahel ühendatud ülevoolutoru abil.
Fermentatsiooniosa fermentatsioonimahuti ülaosas paikneb süsihappegaasi klapp,

kusjuures süsihappegaasi klapp on paigutatud fermentatsiooniosa ja destillatsiooniosa ühendavast ülevoolutorust kõrgemale. Seadme tööprotsessi juhtimiseks on seade varustatud juhtseadmega.

JOONISTE LOETELU

- 5 Käesolevat leiutise konstruktsiooni kirjeldavad detailsemalt alljärgnevad joonised.

Joonisel FIG 1 on kujutatud käesoleva leiutise terviklikku tehnoloogilist lahendust, üldvaade,

joonisel FIG 2 on kujutatud seadme pealtvaade,

joonisel FIG 3 on kujutatud materjali eeltöötlusosa osaline lõige,

- 10 joonisel FIG 4 on kujutatud detailsemalt materjali eeltöötlusosa, hüdrolüüsiosa ja destillatsiooniosa integreeritud seadme ning fermentatsiooniosa konstruktsiooni, ristlõige.

TEOSTUSNÄIDE

Järgnevalt kirjeldatakse täpsemalt leiutise tehnilist lahendust ning selle tööpõhimõtet, koos viidetega lisatud joonistele.

- 15 Joonistel FIG 1 ja FIG2 on kujutatud lignotselluloosest biomassist etanooli tootmise integreeritud läbivoolulist seadet, mis sisaldab biomassi etteandeposa 1, integreeritud reaktorit 2, soojusvahetus- ja segamissüsteemi 3 ning fermentatsiooniosa 4. Lignotselluloosse biomassi etteandeposa 1 sisestussüsteem (joonis FIG 3) sisaldab biomassi segamismahutit 10, segistit 11 ja etteandeseadist 12. Etteandeseadis 12 on tehnoloogiliselt
- 20 ühendatud integreeritud reaktoriga 2. Integreeritud reaktor 2 (joonised FIG 3 ja FIG 4) sisaldab eeltöötlus- ja hüdrolüüsiosa 5 ning destillatsiooniosa 6, kus eeltöötlus- ja hüdrolüüsiosa 5, sisaldab eeltöötlusmahutit 50, eeltöötlustorustikku 51, küttekeha 52, hüdrolüüsimahutit 53, hüdrolüüsitõrustikku 54, kusjuures eeltöötlus- ja hüdrolüüsiosa 5 on eraldatud isoleeritud vaheseinaga 55. Destillatsiooniosa 6 sisaldab fermenteeritud segu
- 25 sisendit 60 destillatsiooni mahutisse 61, sette väljalaskeseadist 62, destillatsioonikolonniga 63, jahutit 64 ja bioetanooli väljalasketoru 65. Eeltöötlustorustik 51 paikneb destillatsioonikolonniga 63 ja isoleeritud vaheseinaga 55 piiratud eeltöötlusmahutis 50.

Eeltöötlusmahuti 50 on täidetud soojuskandjaga. Soojuskandjaks on eelistatult vedelik, näiteks termoõli. Eeltöötlusmahutis 50 eeltöötlustorustikku 51 ümber ja soojuskandja sees paikneb küttekeha 52, mille ülesandeks on soojuskandja kuumutamine ettenähtud temperatuurini ja sellel temperatuuril hoidmine. Hüdrolüüsimahutis 53 hüdrolüüsiteorustiku 54 ümber paikneb samuti soojuskandja, mille ülesandeks on hüdrolüüsimahutis 53 hoida ühtlast töotemperatuuri. Eeltöötlustorustik 51 ja hüdrolüüsiteorustik 54 moodustavad kaheastmelise ning ühtse keerdtorustikku, kusjuures toru läbimõõt on kummaski astmes erinev. Eeltöötlustorustiku 51 keerdtoru on suurema läbimõõduga kui hüdrolüüsiteorustiku 54 keerdtoru. Hüdrolüüsiteorustik 54 on ühendatud soojusvahetus- ja segamissüsteemiga 3 (joonised FIG 1, FIG 2 ja FIG 3).

Soojusvahetus- ja segamissüsteem 3 sisaldab eeltöötlusosa väljundtoru 30, jahutit 31, eelistatult vedelikjahutit, neutraliseerimissegistit 32, neutraliseerimisreagendi sisendseadist 33, neutraliseerimissegisti väljundit 34, pH-mõõturit 35, ensüümi segistit 36, neutraliseerimissegisti 32 ja ensüümissegisti 36 vahelist ühendustoru 37, ensüümi sisendit 38 ja ensüümiga segu väljundtoru 39. Ensüümiga segu väljundtoru 39 on ühendatud hüdrolüüsiteorustiku 54 algusega (joonis FIG 4).

Fermentatsiooniosa 4 sisaldab hüdrolüüsitead segu ühendustoru 40 pärmi segistiga 41, ventiili 42, pärmi sisendit 43, hüdrolüüsiteadi ja pärmi segu sisendit 44 fermentatsioonimahutisse 45, pärmi segu tagasivoolutoru 46 fermentatsioonimahutist 45, pumpa 47 ning süsihappegaasi klappi 48 (joonised FIG 1 ja FIG 2).

Fermentatsioonimahuti 45 kujutab endast suure mahtuvusega püstset paaki (joonis FIG 4), mis sisaldab püstset keerdkanalit 49, kusjuures kanali sisend 491 on mahuti allosas ja kanali väljund 492 fermentatsioonimahuti 45 ülaosas. Fermentatsioonimahuti 45 keerdkanal 49 on moodustatud fermentatsiooni mahutisse paigutatud kaldkeerdpinna 494 abil. Pärmi segu tagasivoolutoru 46 ots 461 paikneb fermentatsioonimahuti 45 keskpaigas. Fermentatsioonimahuti 45 ülemises otsas paikneb süsihappegaasi klapp 48 süsihappegaasi väljutamiseks fermentatsioonimahutist 45, kusjuures süsihappegaasi klapp 48 on paigutatud ülevoolutorust 493 kõrgemale. Ülevoolutoru 493 on ette nähtud fermentatsiooniosa 4 ühendamiseks destillatsiooniosaga 6 fermenteeritud segu sisendi 60 kaudu.

Protsessi kontrollimiseks ja juhtimiseks on lignotselluloosess biomassist etanooli tootmise integreeritud läbivooluline seade varustatud juhtseadmega (joonisel pole näidatud), mis sisaldab pH-mõõturit, temperatuuri ja rõhu andureid ning regulaatoriteid ja juhtpulti.

5 Lignotselluloosess biomassist etanooli tootmise integreeritud läbivooluline seade töötab järgmiselt.

Enne lignotselluloosess biomassist etanooli tootmise integreeritud läbivoolulisse seadmesse sisestamist peenestatakse lignotselluloosne biomass ja valmistatakse ette kasutamiseks seadmes (joonistel pole näidatud). Purustatud biomass sisestatakse koos lahja happe või aluse lahusega segamismahutisse 10, kus need omavahel segatakse segistiga 11.

10 Segatud biomass ja happe või aluse lahuse segu suunatakse etteandeseadise 12 (joonis FIG 4) abil integreeritud reaktori 2 eeltötlusmahutis 50 asuvasse eeltötlustorustikku 51. Eeltötlusmahuti 50, mis on täidetud soojuskandjaga, mille temperatuuri hoitakse küttekeha 52 abil pidevalt 130 kuni 150 °C vahemikus. Soojuskandjana kasutatud vedelik (termoõli) tagab temperatuuri ühtlase jaotumise eeltötlusmahutis 50. Termilisel

15 eeltötlusel toimub taimerakkude osaline lagunemine ja hemitselluloosi eemaldamine, mis muudab tselluloosi kiud ensüümidele kergemini ligipääsetavaks. Eeltötlustorustiku 51 läbimõõt ja pikkus on valitud nii, et lignotselluloosse biomass ja happe või aluse lahuse segu viibeaeg selles oleks vähemalt üks (1) tund.

Peale termilist töötlemist läbib eeltöödeldud segu jahuti 31, kus see jahutatakse ettenähtud

20 temperatuurini. Soojenenud jahutusvedelik juhitakse hüdrolüüsi mahutisse 53, kus see soojendab hüdrolüüsi torustikku 54 vajaliku temperatuurini, eelistatult 50 kuni 65 °C. Eeltötlusmahuti 50 ja hüdrolüüsi mahuti 53 on ruumiliselt eraldatud isoleeritud vaheruumiga 55, et vältida hüdrolüüsi mahuti 53 ülekuumenemist.

Sobiva temperatuurini jahutatud eeltöödeldud segu suunatakse jahutist 31

25 neutraliseerimissegistisse 32, kus segule lisatakse neutraliseerimisreagenti (vastavalt alust või hapet), et eeltöödeldud segu pH viia ensüümile sobivaks. Neutraliseerimissegisti 32 väljundi 34 juurde on paigaldatud pH-mõõtur 35, mille ülesandeks on jälgida *in-situ* väljuva segu pH-d. Kui väljuva segu pH ei vasta ensüümi sobivuspiirdele, muudetakse neutraliseerimisreagenti sisendseadise 33 abil happe või aluse juurdevoolu kiirust kraani

30 või vastava seadise (joonisel pole näidatud) abil. Neutraliseeritud biomass ja segu

suunatakse ensüümi segistisse 36, kus segule lisatakse ensüümi sisendist 38 tsellulaaside segu lahust.

5 Ensüümidega segatud biomass suunatakse ensüümiga segu väljundtoru 39 kaudu hüdrolüüsiatorustikku 54, kus leiab aset tselluloosi kiudude ensümaatiline hüdrolüüs glükoosiks. Hüdrolüüsimahuti 53 töötemperatuuri hoitakse eeltötlusmahuti jääksoojuse abil konstantsel temperatuuril vahemikus, eelistatult vahemikus 50 kuni 65 °C. Hüdrolüüsiatorustiku 54 pikkus ja läbimõõt on valitud nii, et ensüümiga segatud biomassi viibeaeg hüdrolüüsimahutis 53 oleks vähemalt kaksikümmend neli (24) tundi. Sellega tagatakse biomassis leiduva tselluloosi täielik hüdrolüüs.

10 Hüdrolüüsitud segu suunatakse pärmi segistisse 41 (joonised FIG 1 ja FIG 2), kus hüdrolüüsitud segule lisatakse pärmilahust. Pärmil lisamine on vajalik fermentatsiooniprotsessi algatamiseks. Kui protsess alles algab, lisatakse pärmil eraldi pärmil sisendi 43 kaudu. Hiljem, kui protsess juba käib, lisatakse pärmil biomassil segule pumba 47 abil pärmil segu tagasivoolutoru 46 kaudu. Pärmiliga segatud hüdrolüüsiat
15 suunatakse fermentatsioonimahutisse 45 hüdrolüüsiat ja pärmil segu sisendi 44 kaudu. Fermentatsioonimahutis 45 toimub hüdrolüüsiadis sisalduva glükoosil kääritamine etanooliks. Fermentatsioonimahutis 45 liigub hüdrolüüsiat mööda fermentatsioonimahutis 45 paiknevat keerdkanalit 49 pidi altpoolt ülespoole. Protsess toimub toatemperatuuril juures umbes ühe nädala jooksul. Protsessil aeg määratakse olenevalt
20 fermentatsioonimahutis 45 paikneva keerdkanalil 49 koguruumalast.

Fermenteeritud segu väljutatakse fermentatsioonimahutist 45 väljundi 492 kaudu. Fermentatsioonimahuti 45 ülemises otsas paikneva süsihappegaasil klapi 48 kaudu väljutatakse süsihappegaas fermentatsioonimahutist 45, millega hoitakse ära lahuse küllastumise süsihappegaasiga ning surve tekkimise fermentatsioonimahuti 45 sees.

25 Töörõhk seadmes tekib eeltötlustorustikus 51 lignotselluloosil biomassil ja happe või aluse lahuse segu termilise eeltötluse tagajärjel. Eeltötlustorustikus 51 tekivad töörõhk on seadmes ühest osast teise teisaldatava materjali segu liikumapanevaks jõuks. Kuna rõhulangetus toimub fermentatsioonimahutis 45 süsihappegaasil klapi 48 kaudu, siis materjali teisaldamiseks ühest osast teise kasutatakse ära osade vahel esinevat rõhkude
30 vahet ja protsessis töödeldava materjali liikumine toimub ühesuunaliselt eeltötlusosast 3 destillatsiooniosast 6 poole.

Fermenteeritud segu suunatakse fermentatsioonimahutist 45 ülevoolutoru 493 kaudu tagasi integreeritud reaktorisse 2. Integreeritud reaktori 2 keskel paiknevas destillatsiooni mahutis 61 kasutatakse eeltötlusmahuti 50 jääksoojust destillatsiooniprotsessi läbiviimiseks. Fermenteeritud segus sisalduv etanool aurustatakse destillatsiooni mahutis 61, etanooli 5 aurud läbivad destillatsiooni kolonni 63 ning kondenseeritakse seejärel jahuti 64 abil. Jahutist 64 väljub lõpp-produkt, etanool, mis suunatakse torustiku abil kogumipaaki (joonisel pole näidatud).

Läbivoolulise integreeritud seadme kirjeldatud konstruktsiooniline lahendus võimaldab paremini ära kasutada protsessis kasutatavat soojusenergiat ja sellega seoses vähendada 10 etanooli tootmiskulusid.

PATENDINÕUDLUS

1. Lignotselluloosest biomassist etanooli tootmise integreeritud läbivooluline seade, sisaldab omavahel ühendatud etteandeposa (1), biomassi eeltöötlus- ja hüdrolüüsiosa (5), fermentatsiooniosa (4), destillatsiooniosa (6) ja juhtseadet, **erineb selle poolest**, et sisaldab
- 5 integreeritud reaktorit (2), mis sisaldab biomassi eeltöötlus- ja hüdrolüüsiosa (5) ning destillatsiooniosa, ning mis moodustavad ühtse kompaktselt terviku, kusjuures biomassi eeltöötlus- ja hüdrolüüsiosa (5) kujutavad endast ühtset kaheastmelist keerdtorustikku, kus toru läbimõõt on kummaski astmes erinev, seadmel on soojusvahetus- ja segamissüsteem (3), ning protsessi soojuse paremaks ära kasutamiseks on destillatsiooniosa (6) paigutatud
- 10 biomassi eeltöötlus- ja hüdrolüüsiosa (5) keerdtorustiku keskele.
2. Lignotselluloosest biomassist etanooli tootmise integreeritud läbivooluline seade, vastavalt nõudluspunktile 1, **erineb selle poolest**, et kaheastmelise keerdtorustiku sisemises astmes paikneb eeltöötlustorustik (51) ja välimises astmes hüdrolüüsitorustik (54), kusjuures biomassi eeltöötlustorustiku (51) toru läbimõõt integreeritud reaktoris (2)
- 15 on suurem hüdrolüüsitorustiku (54) toru läbimõõdust.
3. Lignotselluloosest biomassist etanooli tootmise integreeritud läbivooluline seade, vastavalt nõudluspunktile 1 ja 2, **erineb selle poolest**, et biomassi eeltöötlus- ja hüdrolüüsiosa (5) keerdtorustikud on dimensioneeritud lähtuvalt nendes paikneva biomassi tehnoloogiliseks töötlemiseks ettenähtud viibeajast.
- 20 4. Lignotselluloosest biomassist etanooli tootmise integreeritud läbivooluline seade, vastavalt nõudluspunktile 1 kuni 3, **erineb selle poolest**, et integreeritud reaktori (2) keerdtorustiku eeltöötlustorustik (51) ja hüdrolüüsitorustik (54) on paigutatud soojusvahetusüsteemi soojuskandjatega täidetud eraldi ruumidesse, mis on teineteisest eraldatud isoleeritud vaheseinaga (55).
- 25 5. Lignotselluloosest biomassist etanooli tootmise integreeritud läbivooluline seade, vastavalt nõudluspunktile 1, **erineb selle poolest**, et fermentatsiooniosa (4) kujutab endast püstset fermentatsioonimahuti (45), mis sisaldab püstset keerdkanalit (49), kusjuures keerdkanalit (49) algus ja sisend (491) on fermentatsioonimahuti (45) allosas ja keerdkanalit (49) lõpp ning väljund (492) fermentatsioonimahuti (45) ülaosas.

6. Lignotselluloosest biomassist etanooli tootmise integreeritud läbivooluline seade, vastavalt nõudluspunktile 1 ja 5, **erineb selle poolest**, et fermentatsiooniosa (4) keerdkanal (49) on moodustatud fermentatsiooni mahutisse (45) liikumatult paigutatud kaldkeerdpinna (494) abil.
- 5 7. Lignotselluloosest biomassist etanooli tootmise integreeritud läbivooluline seade, vastavalt nõudluspunktidele 1 ja 5, **erineb selle poolest**, et fermentatsiooniosa (4) ja destillatsiooniosa (6) on omavahel ühendatud ülevoolutoru (493) abil.
8. Lignotselluloosest biomassist etanooli tootmise integreeritud läbivooluline seade, vastavalt nõudluspunktidele 1 ja 5, **erineb selle poolest**, et fermentatsiooniosa (4)
- 10 fermentatsioonimahuti (45) ülasas paikneb süsihappegaasi klapp (48).
9. Lignotselluloosest biomassist etanooli tootmise integreeritud läbivooluline seade, vastavalt nõudluspunktidele 1, 7 ja 8, **erineb selle poolest**, et fermentatsiooniosa (4) fermentatsioonimahuti (45) süsihappegaasi klapp (48) on paigutatud fermentatsiooniosa (4) ja destillatsiooniosa (6) ühendavast ülevoolutorust (493) kõrgemale.

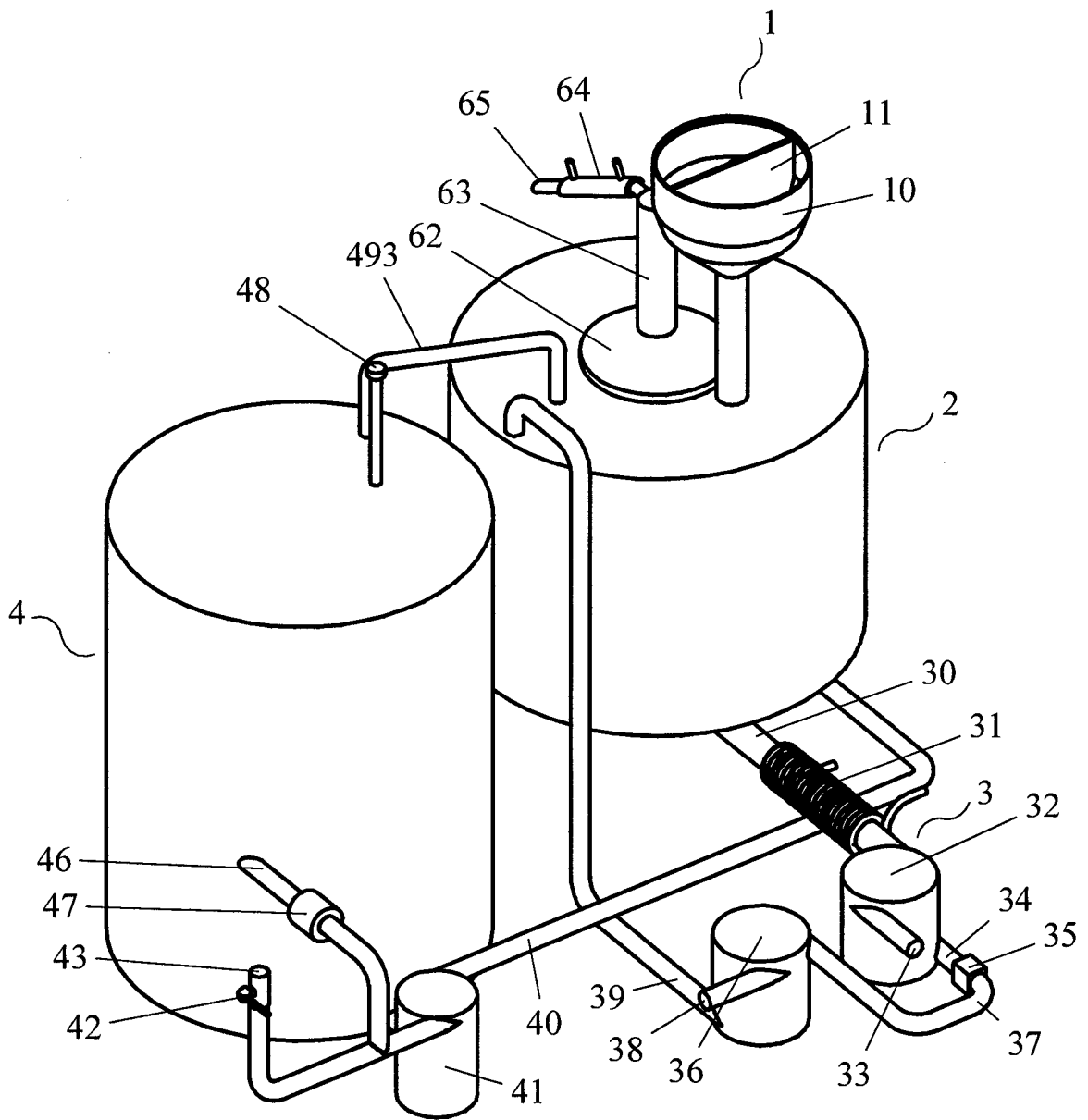


FIG 1

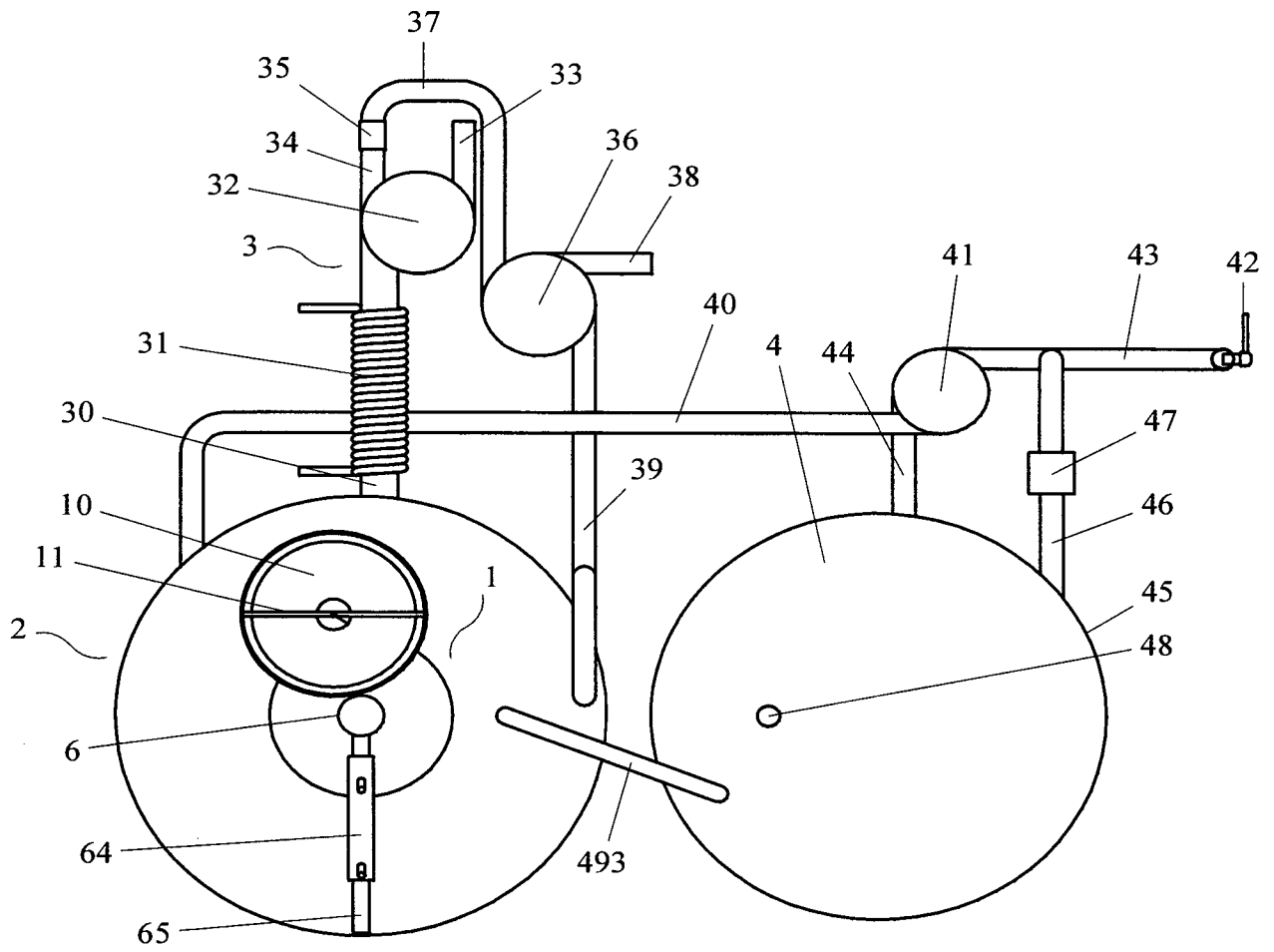


FIG 2

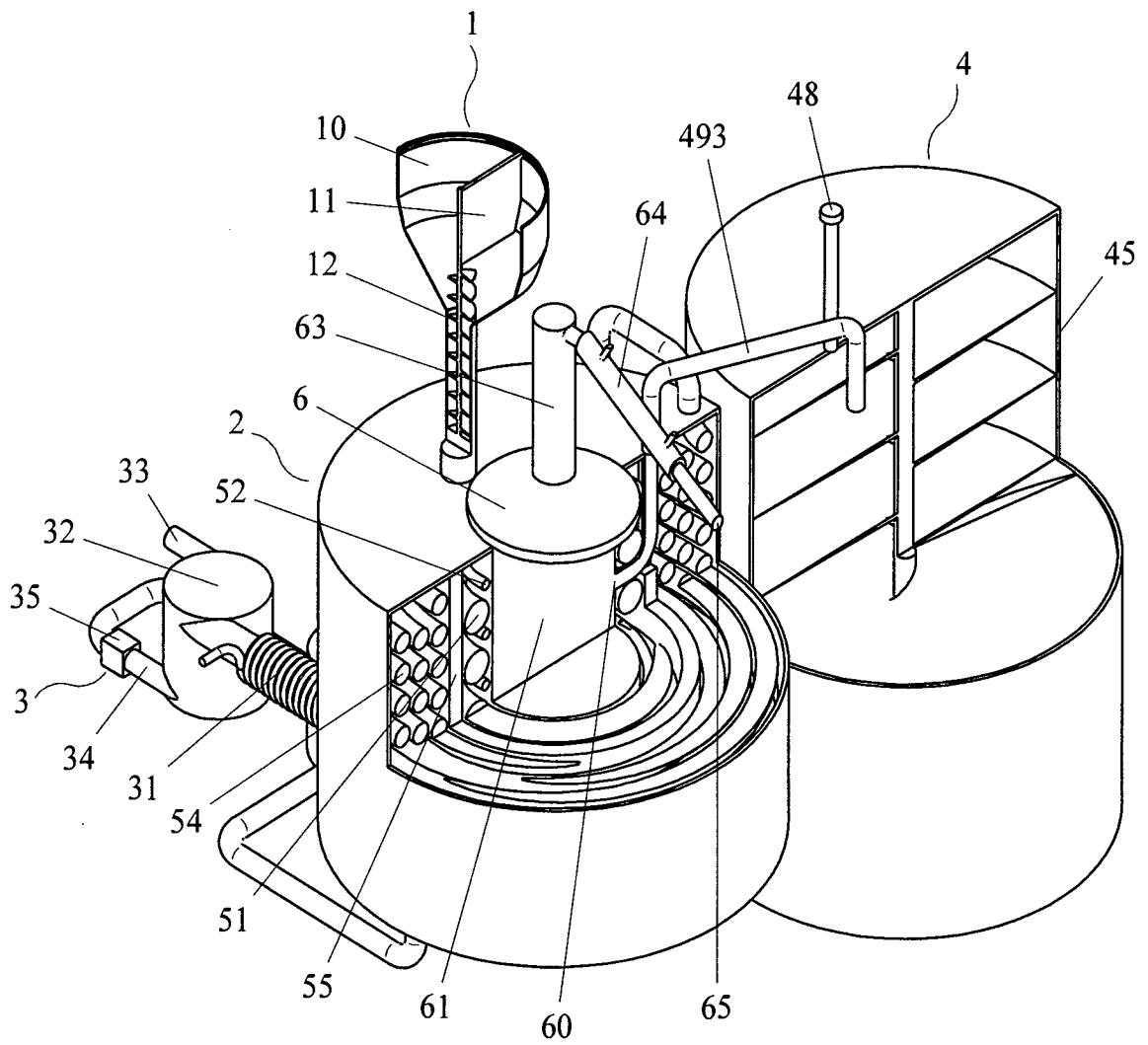


FIG 3

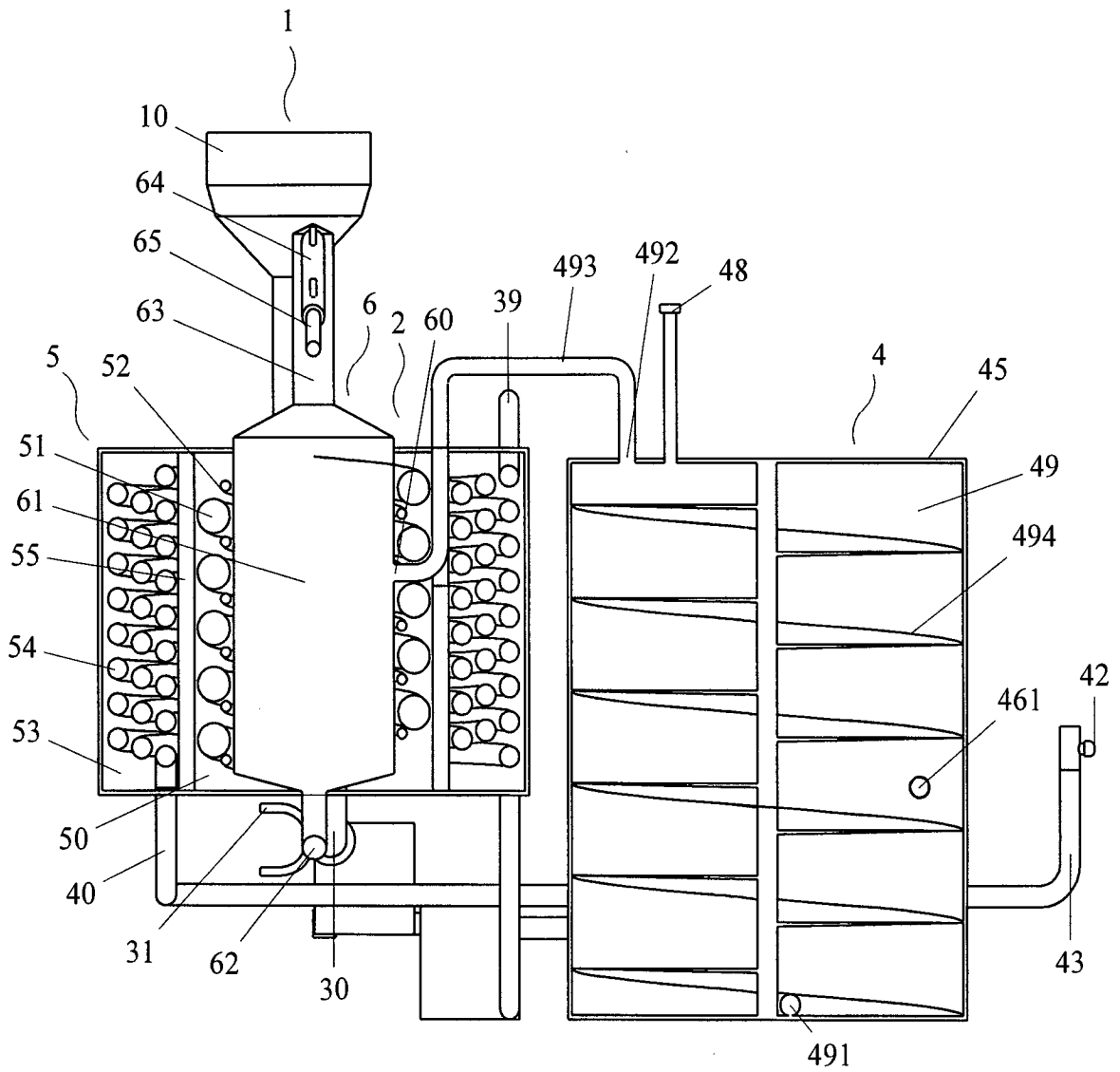


FIG 4