



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY  
A OBJEVY

# POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

**250441**  
(11) (B1)

(51) Int. Cl.<sup>4</sup>  
G 21 F 9/04

(22) Přihlášeno 07 11 85  
(21) [PV 8001-85]

(40) Zveřejněno 18 09 86

(45) Vydáno 15 07 88

(75)  
Autor vynálezu

NÁPRAVNÍK JIŘÍ, ŠKÁBA VÁCLAV ing., DITL PAVEL doc. ing. CSc.,  
PRAHA

(54) Způsob zpracování radioaktivních odpadů a zařízení k provádění tohoto způsobu

1

2

Podstata řešení se zabývá zpracováním radioaktivních odpadů kapalné nebo kašovitě konzistence a jejich fixaci s cílem maximální stability výsledného produktu při vysokém objemovém redukčním faktoru. Při kalcinaci v míchaném reaktoru s chemickými aditivami za teploty 100 až 320 °C se získává sypký produkt, který se homogenizuje s roztaveným bitumenem nebo organickými polymery a po vypuštění do nádob nebo forem žádaného tvaru a velikosti a zatuhnutí se transportuje do místa přechodného nebo trvalého uložení nebo se přímo vypouští do odpovídající geologické formace.

Vynález se týká zpracování radioaktivních odpadů kapalně nebo kašovitě konzistence kalcinací a fixací bitumenem nebo organickými polymery s cílem dosáhnout maximální stability výsledného produktu při výhodném objemovém redukčním faktoru.

Dosud se radioaktivní odpady z jaderně energetických zařízení ukládají buď v kapalném stavu, nejčastěji po předchozím zahuštění, a to například v nádobách z austenitických nerezavějících ocelí, nebo se odpařují dosucha — kalcinují a ukládají v sudech. Nevýhodami ukládání kapalných nebo kašovitých odpadů do nerezových nádob jsou nebezpečná manipulace a možnost koroze, vedoucí ke vzniku netěsností, jimiž se může dostat radioaktivita do životního prostředí. Výroba těchto nádob je technologicky náročná a nákladná. Další nevýhodou tohoto způsobu jsou zvýšené náklady na monitorování. Při ukládání vysušeného neupraveného odpadu v sudech se také uplatňuje koroze, zejména proto, že je obtížné zabránit, aby často hygroskopický granulát ne navlhal a nezvyšoval tak korozi, vedoucí k úniku radioaktivity do okolí.

Dalším známým způsobem zpracování kapalných nebo kašovitých radioaktivních odpadů je jejich přímá cementace, tj. smísení s cementovou záměsí k vytvoření cementových bloků po jejím ztuhnutí. Používá se i cementace s předchozím vysušením — kalcinací radioaktivních odpadů. Nevýhodné je, že se při cementaci uplatňuje silný retardační vliv některých látek obsažených v odpadech, například kyseliny borité na tuhnutí cementové hmoty. Při přímé cementaci vystupuje jako další nevýhoda nízký objemový redukční faktor.

Používá se též fixace kapalných nebo kašovitých radioaktivních odpadů do bitumenu. Přitom se postupuje tak, že se buď vyrobí vodní emulze bitumenu, která se mísí přímo s odpady, nebo se mísí kapalně odpady do roztopeného bitumenu. Získaný produkt však nemá stabilitu, potřebnou pro dlouhodobé uložení, protože obsahuje vodu. Vedle těchto nevýhod může při někdy značném obsahu dusičnanů ve zpracovávaných odpadech nastat i vznícení nebo výbuch.

Jsou známy též způsoby pro fixaci radioaktivních odpadů do organických polymerů. Kapalně odpady se při nich mísí s monomerní složkou a přidáním tužidla nastane polymerace. Přitom dochází k odlučování vody nad vytvrzenou hmotou, a tak k úniku části zpracovávaných radionuklidů. Další nevýhodou je okolnost, že polymerace má proběhnout za přítomnosti vody, což limituje výběr použitelných pryskyřic. Nebezpečí vznícení nebo výbuchu při zpracování radioaktivních odpadů obsahujících dusičnany nebo při jejich následnému uložení existuje u dosud používaných způsobů fixace do organických polymerů také.

Nedostatky dosavadních technologických postupů a z nich vycházejících zařízení od-

straňují způsob a zařízení na zpracování radioaktivních odpadů kapalně nebo kašovitě konzistence podle vynálezu, jehož podstata spočívá v tom, že kapalně nebo kašovitý radioaktivní odpad se promísí s chemickými aditivami, například síranem hlinitým, koloidním oxidem křemičitým, kyselinou mravenčí a suspenzí cementu, teplota se zvýší na 100 až 320 °C, a tím se radionuklidy obsažené ve směsi spolu s ostatními látkami převedou do pevného skupenství a vzniklý granulát a/nebo prášek se homogenizuje s roztaveným bitumenem nebo organickými polymery a po vypuštění do nádob nebo forem žádaného tvaru a velikosti a zatumnutí se transportuje do místa přechodného nebo trvalého uložení nebo se přímo vypouští do odpovídající geologické formace.

Vysušením kapalného nebo kašovitého odpadu a tím, že při teplotě až 320 °C reaguje s chemickými aditivami, se získá sypký meziprodukt (granulát a/nebo prášek), vyznačující se již sám o sobě nízkou hodnotou loužitelnosti. Homogenizací s roztaveným bitumenem nebo organickými polymery se tento meziprodukt uzavře do pevné matrice, nedovolující jeho uvolňování rozdružováním, loužením a erozí. To, že homogenizace probíhá bez přítomnosti vody, dále přispívá ke stabilitě a dlouhodobé skladovatelnosti výsledného produktu. Je možno dosáhnout až 40 % hmot. naplnění matrice sypkým meziproduktem.

Vliv dusičnanů na nebezpečí vznícení nebo výbuchu je jak u sypkého meziproduktu, tak u výsledného produktu zcela potlačen tím, že byly dusičnany chemicky rozloženy za vzniku kyslíčnicků dusíku, které jsou dále jímány ve scrooberech za zpětného vzniku kyseliny dusičné, použitelné pro dekontaminaci zařízení.

U zařízení na zpracování radioaktivních odpadů podle vynálezu je podstatné, že výstup sypkého produktu z míchaného reaktoru je připojen na vstup dávkovače sypkého produktu, jehož výstup ústí do homogenizátoru, opatřeného míchadlem, druhým vstupem a výstupem výsledného produktu. Při fixaci radioaktivních odpadů do organických polymerů je druhý vstup homogenizátoru spojen s výstupem zásobníku organických polymerů přes dávkovač; při fixaci do bitumenu je homogenizátor uzpůsoben k vytápění a jeho druhý vstup je spojen s výstupem vytápěného zásobníku bitumenu přes dávkovač. Dalšími aparáty, kterými může být zařízení doplněno, jsou filtrační jednotka mezi výstupem brýdových par z míchaného reaktoru a kondenzátorem a vývěva, připojená svým sacím potrubím na kondenzátor. Vynález dále umožňuje rozdělit nosnou konstrukci, na níž jsou upevněny aparáty, na nejméně dva samostatné moduly maximálních rozměrů 2,5 × 2,5 × 6 m, přičemž jednotlivé moduly jsou mezi sebou vzájemně spojeny spojkami potrubí a elektric-

kými propojovacími prvky. Tak je možno vytvořit zařízení mobilní, snadno transportovatelné, například na ložné ploše nákladního automobilu, a zpracovávat po jednoduše montáži modulů zásoby odpadu na místě vzniku, případně v centrálních či regionálních úložištích. Modulové řešení u stabilních zařízení usnadňuje a časově zkracuje montáž i případné opravy.

Na připojených výkresech jsou znázorněny dva příklady provedení zařízení podle vynálezu. V nich je na obr. 1 zachyceno schéma aparátů a potrubí jednotky na zpracování kapalných radioaktivních odpadů s jejich konečnou fixací do organických polymerů, na obr. 2 schéma obdobné jednotky s fixací do bitumenu.

Zařízení s fixací do organických polymerů (obr. 1) sestává z nosné konstrukce 1 a na ní upevněných aparátů. K nim patří zásobník 2 kapalných radioaktivních odpadů s míchadlem 3, vstupem 4 koncentrátu, vstupem 5 aditiv a výstupem 6, dále dva zásobníky 7 chemických aditiv. Každý z nich je opatřen míchadlem 8 a výstupem 9 a je spojen potrubím přes ventil 10 a čerpadlo 11 se vstupem 5 aditiv zásobníku 2 koncentrátu. Dalším aparátem na nosné konstrukci 1 je míchaný reaktor 12 s vodorovnou osou, v jehož tělese 13 tvaru dutého válce, vytápěném elektrickými odporovými prstenci 14, se otáčí míchací a transportní rotor 15 s 12 šikmými listy, spojený s pohonnou jednotkou 16 s nastavitelnými otáčkami pomocí variátoru v rozsahu od 150 do 450 ot/min. Těleso 13 míchaného reaktoru má vnitřní průměr 350 mm a délku vytápěné části 1 700 milimetrů. Příkon elektrického topení je 80 kilowattů max. Teplota vystupujícího sypkého produktu je až 320 °C. Výkon míchaného reaktoru je 0,1 m<sup>3</sup> zpracovávaného kapalného radioaktivního odpadu za hodinu. Ten se dopravuje ze zásobníku 2 dávkovacím čerpadlem 17 přes ventil 18 na vstup 19 koncentrátu míchaného reaktoru, v něm přichází do styku s vytápěnou vnitřní plochou jeho tělesa 13 a odpařuje se z něj voda. Zbylý materiál je rozestírán po vytápěné ploše listy rotoru 15, dále se zahřívá a probíhá v něm požadovaná chemická reakce. Díky sklonu listů je přitom transportován směrem k výstupu 20 sypkého produktu, kde má již podobu granulátu a/nebo prášku. Výstup 21 brýdových par z míchaného reaktoru 12 je spojen přes filtrační jednotku 22, jež zachycuje aerosoly, s kondenzátorem 23. Trubkovým prostorem kondenzátoru 23 protéká chladicí voda. Kondenzát, hromadící se u dna, stéká potrubím 24 ke dnu zásobníku 25 kondenzátu, spojenému přes ventil 26 s odpadem 27. Prostor pláště kondenzátoru 23 je spojen potrubím 28 s vodokružní vývěvou 29 a potrubím 30 s prostorem pod víkem zásobníku 25 kondenzátu.

Sypký produkt z výstupu 20 sypkého produktu míchaného reaktoru 12 padá do dáv-

kovače 31, kterým je automatická váha s váživostí 100 kg. Výstup 32 dávkovače 31 sypkého produktu je spojen přes turniketový podávač 33 s prvním vstupem 34 homogénizátoru 35, opatřeného míchadlem 36, druhým vstupem 37 monomeru, třetím vstupem 38 tužidla a výstupem 39 výsledného produktu s uzávěrem 40. Druhý vstup 37 monomeru je spojen přes dávkovač 41, jímž je dávkovací čerpadlo, se zásobníkem 42 organických monomerů. Třetí vstup 38 tužidla je spojen přes dávkovací čerpadlo 43 se zásobníkem 44 tužidla. Monomer promísený s tužidlem se vypouští do připravených forem dříve než zhoustne pokračující polymerací.

Zařízení s fixací do bitumenu (obr. 2) se liší od předchozího tím, že druhý vstup 37 homogénizátoru 35 je spojen přes dávkovač 45, kterým je dávkovací čerpadlo, s vytápěným zásobníkem 46 bitumenu. Homogénizátor 35, dávkovač 45, vytápěný zásobník 46 bitumenu a spojovací potrubí mezi nimi jsou vytápěny vodní párou na teplotu 180 °C. K tomu jsou obklopeny jejich nádoby duplikátory a potrubí pláště. Do takto vymezených prostorů se přivádí přívodem 48 vodní pára a vývodem 49 se odvádí kondenzát.

U obou zařízení je provoz automatizován a probíhá v opakujících se cyklech. V prvním stadiu automatického cyklu se plynule plní dávkovač 31 sypkého produktu na předvolenou dávku. Při jejím dosažení se naplní homogénizátor v prvním případě monomerem a tužidlem, v druhém případě roztaveným bitumenem. Potom se do něj vyprázdní dávkovač 31 sypkých hmot otáčením turniketového podávatele 33, míchadlem 36 se směs zhomogenizuje a vypustí do připravené formy nebo ocelového sudu. Mezitím již probíhá první stadium dalšího cyklu.

Způsobu zpracování radioaktivních odpadů podle vynálezu je možno využít kromě jaderné energetiky i v jiných oborech, kde se k technickým, lékařským, biologickým nebo podobným účelům, ať už při experimentální nebo rutinní práci, zachází s materiály obsahujícími radionuklidy a kde je třeba hromadící se radioaktivní odpady likvidovat.

Postup podle vynálezu je rozveden v těchto příkladech:

#### Příklad 1

Do 1 litru kapalných modelových radioaktivních odpadů, obsahujících 250 g dusičnanu sodného a 120 g kyseliny borité, bylo přidáno 50 g hydratovaného oxidu vápenatého, 50 g chloridu vápenatého, 50 g síranu hlinitého a po promísení byla směs vysušena při 300 °C. Výsledný produkt byl smísen s roztopeným bitumenem při teplotě 180 stupňů Celsia s maximálním naplněním 40 procent hmot. Po vychladnutí a uložení ve vodě vykazoval po 60 dnech rychlost loužení 10<sup>-5</sup> g · cm<sup>-2</sup> · d<sup>-1</sup> pro radionuklid <sup>137</sup>Cs.

## Příklad 2

Do 1 litru kapalných modelových radioaktivních odpadů, obsahujících 250 g dušičnanu sodného a 120 g kyseliny borité, bylo přidáno 50 g hydratovaného oxidu vápenatého, 50 g chloridu vápenatého, 50 g síranu hlinitého a po promísení byla směs vysu-

šena při 300 °C. Výsledný produkt byl smísen s fenolformaldehydovou rpskyřicí s 30 % hmot. naplnění, vytvrzen při teplotě 120 °C a po vychladnutí uložen ve vodě. Po 60 dnech se pohybovala hodnota rychlosti loužení okolo  $10^{-4}$  g.cm<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> pro radionuklid <sup>137</sup>Cs.

## PŘEDMĚT VYNÁLEZU

1. Způsob zpracování radioaktivních odpadů kapalně nebo kašovitě konzistence, vyznačený tím, že kapalný nebo kašovitý radioaktivní odpad se promísí s chemickými aditivy, například síranem hlinitým, koloidním oxidem křemičitým, kyselinou mravenčí a suspenzí cementu, teplota se zvýší na 100 až 320 °C a tím se radionuklidy obsažené ve směsi spolu s ostatními látkami převedou do pevného skupenství a vzniklý granulát a/nebo prášek se homogenizuje s roztaveným bitumenem nebo organickými polymery a po vypuštění do nádob nebo forem žádaného tvaru a velikosti a zatuhnutí se transportuje do místa přechodného nebo trvalého uložení nebo se přímo vypouští do odpovídající geologické formace.

2. Zařízení na provádění způsobu podle bodu 1, sestávající z nosné konstrukce a na ní upevněných aparátů, zejména ze zásobníku kapalných nebo kašovitých odpadů, z nejméně jednoho s ním spojeného zásobníku chemických aditiv, z míchaného reaktoru, tvořeného tělesem tvaru dutého válce a opatřeného míchacím a transportním rotorem s pohonnou jednotkou, výstupem sypkého produktu a výstupem brýdových par, připojeným na kondenzátor, vyznačené tím, že výstup (20) sypkého produktu míchaného reaktoru (12) je připojen na vstup dávkovače (31) sypkého produktu, jehož výstup (32) ústí do prvního vstupu (34) homogenizátoru

(35), opatřeného míchadlem (36), druhým vstupem (37) a výstupem (39) výsledného produktu s uzávěrem (40).

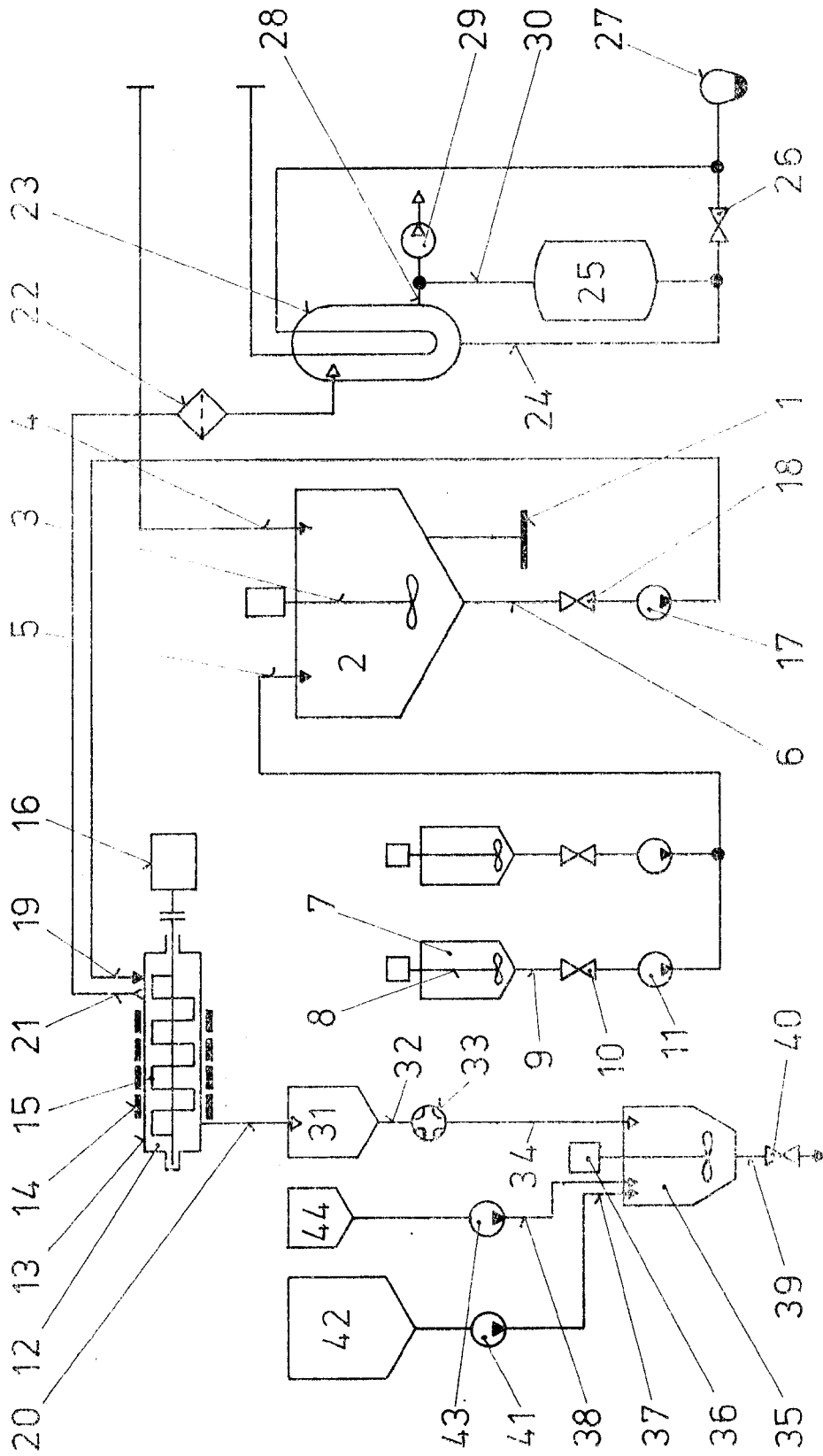
3. Zařízení podle bodu 2, vyznačené tím, že druhý vstup (37) homogenizátoru (35) je spojen s výstupem kapalného organického monomeru ze zásobníku (42) organických monomerů přes dávkovač (41), kterým je například dávkovací čerpadlo.

4. Zařízení podle bodu 2, vyznačené tím, že homogenizátor (35) je uzpůsoben k vytápění na teplotu do 180 °C, například duplikátorem a jeho druhý vstup (37) je spojen s výstupem roztaveného bitumenu z vytápěného zásobníku (46) bitumenu přes dávkovač (45), kterým je například vytápěné dávkovací čerpadlo.

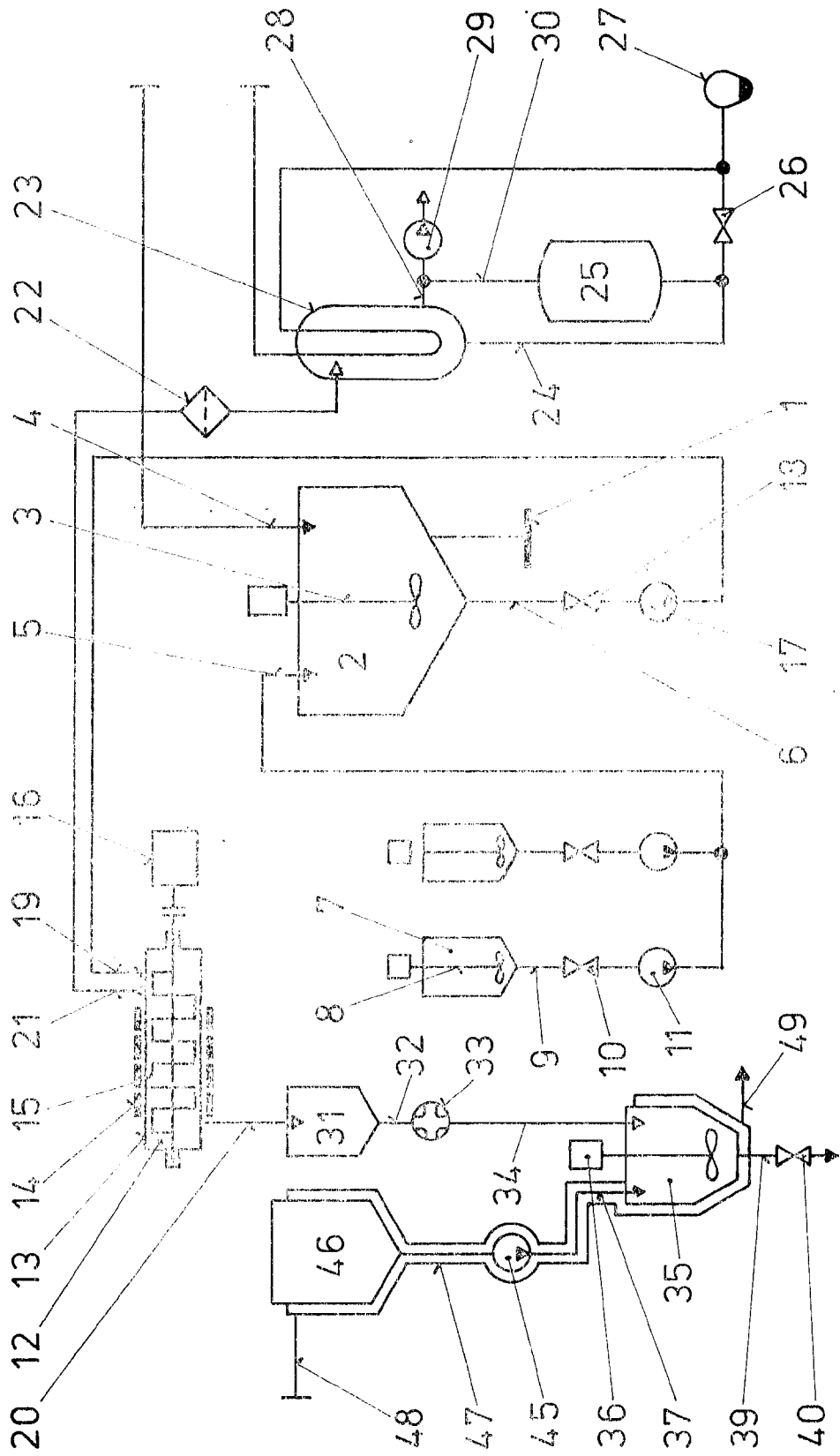
5. Zařízení podle bodu 2, vyznačené tím, že výstup (21) brýdových par míchaného reaktoru (12) je spojen s kondenzátorem (23) přes filtrační jednotku (22).

6. Zařízení podle bodů 2 a 5, vyznačené tím, že kondenzátor (23) je připojen na sací potrubí vývěvy (29).

7. Zařízení podle bodů 2, 3 nebo 4, vyznačené tím, že nosná konstrukce (1) je tvořena nejméně dvěma samostatnými moduly, přičemž jednotlivé moduly jsou mezi sebou vzájemně spojeny spojkami potrubí, například hadicemi a elektrickými propojovacími prvky, například kabely s konektory.



OBR1



CEB. 1