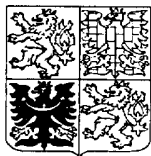


# PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:

**286 306**

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **1997 - 728**

(22) Přihlášeno: **09.03.1995**

(30) Právo přednosti:  
**11.03.1994 US 1994/209851**

(40) Zveřejněno: **15.11.1995**  
**(Věstník č. 11/1995)**

(47) Uděleno: **17.01.2000**

(24) Oznámeno udělení ve Věstníku: **15.03.2000**  
**(Věstník č. 3/2000)**

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**F 25 J 3/04**  
**B 01 D 3/16**

(73) Majitel patentu:

THE BOC GROUP, INC.,  
New Providence, NJ, US;

(72) Původce vynálezu:

McKeigue Kevin, New York, NY, US;  
Krishnamurthy Ramachandran, Chestnut Ridge,  
NY, US;

(74) Zástupce:

Kalenský Petr JUDr., Hálkova 2, Praha 2,  
120 00;

(54) Název vynálezu:

**Způsob kryogenního rozdělování směsi  
atmosférických plynů**

(57) Anotace:

Způsob spočívá v tom, že se kapalná a plynová fáze uvedené směsi atmosférických plynů, která se má rozdělovat, vede protiproudě strukturovanou náplní. Strukturovaná náplň je konstruována ze zvlněného kovového plechu se specifickou plochou v rozmezí od 170 do 250 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> a průtokové kanálky jsou orientovány v úhlu 30 stupňů nebo menším vzhledem k horizontální rovině, a kolona je provozována tak, že přinejmenším v jedné sekci je tlak větší než 0,2 MPa, průtokový parametr  $\Phi$ , který odpovídá hodnotě  $C_L/C_V$ , kde  $C_V$  je rychlost páry stoupající plynové fáze a  $C_L$  je rychlost kapaliny klesající kapalně fáze, je buďto v rozmezí průtokového parametru od 0,01 do 0,1 nebo je větší než 0,1, a rychlost páry je menší než kritická rychlost páry, při které v přinejmenším jedné sekci dochází k zahlcení, a větší než je minimální rychlost páry, vypočtená z uvedených specifických parametrů.

CZ 286306 B6

## Způsob kryogenního rozdělování směsi atmosférických plynů

### Oblast techniky

5

Vynález se týká způsobu kryogenního rozdělování vzduchové plynové směsi, tvořící atmosféru, v destilačním kolonovém systému, který může zahrnovat jednu destilační kolonu nebo více destilačních kolon. Konkrétně je možno uvést, že se uvedený vynález týká destilačního postupu, při kterém se uvádí do kontaktu sestupný proud kapaliny a stoupající proud plynů, pocházející z této atmosférické směsi, přičemž se používá strukturované náplně k uskutečnění rozdělení jednotlivých složek této směsi atmosférických plynů.

10

### Dosavadní stav techniky

15

Podle dosavadního stavu techniky se směsi atmosférických plynů, to znamená směsi plynů, nacházející se v okolním ovzduší nebo představují vzduchovou směs jako takovou, například směsi dusíku, kyslíku, argonu, atd., rozdělují v mnoha různých kryogenních destilačních kolonách, jejichž provoz je optimalizován tak, aby byly získány požadované složky atmosférických plynů. Obvykle představuje vzduch směs atmosférických plynů, která se rozděluje na jednotlivé složky, které se potom čistí, v systému kryogenních destičkových kolon, přičemž se vzduch nejprve stlačí a vyčistí a potom se ochladí na kryogenní teplotu, což je teplota rosného bodu nebo teplota v okolí tohoto rosného bodu. Takto získaný ochlazený vzduch se potom přivádí do destilační kolony, ve které se provede rozdělení na jednotlivé složky. Při zavedení takto ochlazeného vzduchu do destilační kolony dojde nejdříve k varu více těkavých složek, jako je například dusík, před varem méně těkavých složek, jako je například kyslík, přičemž vzniklý plynový proud vytváří stoupající plynovou fázi. Část této stoupající plynové fáze se potom kondenzuje a tvoří zpětný tok v této koloně, neboli reflux, a tímto způsobem vzniká sestupný proud kapalné fáze. Tato sestupná kapalná fáze se potom uvádí do kontaktu se stoupající plynovou fází, přičemž tento kontakt probíhá na kontaktních prvcích za účelem získání kapalné fáze, koncentrovanější na složky s nižší těkavostí, a současně stoupající plynové fáze, koncentrovanější na složky s vyšší těkavostí.

20

25

Uvedený destilační systém může tvořit jediná destilační kolona k získání plynného dusíku, nebo jej může tvořit řada destilačních kolon k dalšímu rozdělování a čištění vzduchu na jednotlivé složky, přičemž se získají dusík, kyslík a argon. Kromě toho je možno použít další kolony a získat tak další složky vzduchu.

35

Uvedenými prvky, které se používají k dosažení kontaktu mezi stoupajícím proudem plynu a sestupujícím proudem kapaliny, mohou být různé náplně, stupně, patra, atd. Velice používanými prvky k dosažení kontaktování kapaliny a plynu při kryogenních postupech rozdělování směsi atmosférických plynů se staly různé strukturované náplně, přičemž jejich obliba pramení z toho, že tyto náplně mají malou tlakovou ztrátu. Uplatnění této charakteristické malé tlakové ztráty znamená, že daný postup vyžaduje nízkou energetickou náročnost, dosáhne se vyšší produkce, atd., v porovnání s nákladnými běžně průmyslově používanými stupni a patry.

40

45

Dlouhodobým předsudkem podle dosavadního stavu techniky bylo to, že se provozní charakteristiky při použití těchto strukturovaných náplní zhoršují se zvyšujícím se tlakem. Podle uvedeného vynálezu bylo ovšem zjištěno, což bude podrobně diskutováno v dále uvedeném textu, že provozní účinnost těchto postupů, používajících strukturovaných náplní pro rozdělování směsi atmosférických plynů, je možno zvýšit se zvyšujícím se tlakem. Tuto skutečnost je možno využít při provozu kolon s vysokou kapacitou, ve kterých se používá malých objemů strukturované náplně, což je zcela překvapující v porovnání s dosud panujícím přesvědčením

50

v tomto oboru techniky. Snížení objemu této strukturované náplně se projeví ve snížení kapitálových nákladů při výrobě těchto destilačních kolon.

## 5 Podstata vynálezu

Vynález se týká způsobu kryogenního rozdělování směsi atmosférických plynů v destilačním kolonovém systému, který je tvořen přinejmenším jednou destilační kolonou, přičemž tento postup zahrnuje následující fáze:

- 10 – vytvoření sestupující kapalně fáze a stoupající plyné fáze uvedené směsi atmosférických plynů v přinejmenším jedné destilační koloně, a
- 15 – kontaktování sestupující kapalně fáze se stoupající plynovou fází uvedené směsi ve strukturované náplni, obsažené v přinejmenším jedné sekci přinejmenším jedné destilační kolony, přičemž se sestupující kapalná fáze stává stále koncentrovanější na složky s nižší těkavostí uvedené směsi při sestupování uvedenou strukturovanou náplní, zatímco uvedená plynová fáze se stává stále více koncentrovanější na složky s vyšší těkavostí uvedené směsi při stoupání uvedenou strukturovanou náplní, přičemž podstata tohoto řešení spočívá v tom, že:
- 20 – uvedená strukturovaná náplň je konstruována ze zvlněného kovového plechu se specifickou plochou v rozmezí od  $170 \text{ m}^2/\text{m}^3$  do  $250 \text{ m}^2/\text{m}^3$  a průtokové kanálky jsou orientovány v úhlu 30 stupňů nebo menším vzhledem k horizontální rovině, a
- 25 – kolona je provozována tak, že přinejmenším v jedné sekci je tlak větší než 0,2 MPa, průtokový parametr  $\Phi$ , který odpovídá hodnotě  $C_L/C_V$ , kde  $C_V$  je rychlost páry stoupající plynové fáze a  $C_L$  je rychlost kapaliny klesající kapalně fáze, je buďto v rozmezí průtokového parametru od 0,01 do 0,1 nebo je větší než 0,1, a rychlost páry je menší než kritická rychlost páry, při které v přinejmenším jedné sekci dochází k zahlcení, a větší než je minimální rychlost páry,
- 30 odpovídající hodnotě:

$$\exp [-0,0485 (\ln \Phi)^2 - 0,595 \ln \Phi - 2,788 - 0,00236 A]$$

kde A představuje specifickou plochu uvedené strukturované náplně,

- 35 v případě, že  $\Phi$  je ve výše uvedeném rozmezí, a hodnotě:

$$0,0796 e^{-0,00236A} \Phi^{-0,372}$$

- 40 v případě, že  $\Phi$  je větší než 0,1.

Obecně je možno uvést, že se uvedený vynález týká kryogenního rozdělování směsi atmosférických plynů v destilačním kolonovém systému, který sestává přinejmenším z jedné destilační kolony. Podle tohoto postupu podle vynálezu se přinejmenším v jedné této destilační koloně vytváří klesající proud kapalně fáze a stoupající proud plyné fáze, které pocházejí z této směsi atmosférických plynů. Tento klesající proud kapalně fáze a stoupající proud plyné fáze, pocházející ze směsi atmosférických plynů, se uvádí do kontaktu za použití strukturované náplně, přítomné přinejmenším v jedné sekci přinejmenším jedné destilační kolony. V této souvislosti je třeba poznamenat, že uvedeným termínem „sekc“ destilační kolony, který je použit v tomto

- 45 textu a v patentových nárocích, se míní oblast destilační kolony, která je omezena mezi nástřikem a odtahem nebo mezi dvěma nástřiky a odtahy této kolony. Tato sekce destilační kolony obsahuje dva nebo více elementů strukturované náplně, který je dostatečně znám z dosavadního stavu techniky v této oblasti a z výroby provozních zařízení a částí s tím
- 50

souvisejících, jako jsou například nosná patra a rozdělovače kapaliny, atd. Výsledkem tohoto průchodu uvedených fází strukturovanou náplní je to, že se sestupující kapalná fáze stále více koncentruje na složky této směsi s nižší těkavostí při svém postupu směrem dolů touto strukturovanou náplní, zatímco stoupající plynová fáze se stále více koncentruje na složky této směsi s vyšší těkavostí při svém průchodu strukturovanou náplní. Tímto oddělováním složek podle jejich těkavosti se dosáhne kryogenního rozdělení. Tento kryogenní destilační kolonový systém se provozuje takovým způsobem, aby přinejmenším v jedné sekci byl absolutní tlak větší než 0,2 MPa a aby se hodnota průtokového parametru pohybovala buďto v rozmezí od asi 0,01 do 0,1 nebo aby jeho hodnota byla větší než asi 0,1. Tato hodnota průtokového parametru  $\Phi$  odpovídá podílu hodnoty  $C_L$  dělené hodnotou  $C_V$ , přičemž tato hodnota  $C_V$  představuje rychlost par stoupající parní fáze a hodnota  $C_L$  představuje rychlost kapaliny klesající kapalně fáze. Tento kryogenní destilační kolonový systém se provozuje takovým způsobem, aby rychlost páry byla menší než je kritická rychlost páry, při které v přinejmenším jedné sekci destilační kolony dochází k zahlcení, a větší než je minimální rychlost páry.

V alternativním provedení může být strukturovaná náplň zkonstruována z vlnitého kovového plechu, přičemž hodnota specifické plochy této náplně se pohybuje v rozmezí od  $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$  do  $450 \text{ m}^2/\text{m}^3$  a průtokové kanálky jsou orientovány v úhlu v rozmezí od 30 stupňů do 45 stupňů. V této souvislosti je třeba uvést, že orientace těchto průtokových kanálků se míní jako orientace vzhledem k ose kolony, která je ve většině případů zařízení se strukturovanými náplněmi vertikální. V případě těchto náplní je minimální rychlost parní fáze rovna přibližně hodnotě:

$$\exp [-0,0485 (\ln \Phi)^2 - 0,595 \ln \Phi - 3,176 - 0,00169 A]$$

kde A představuje specifickou plochu uvedené strukturované náplně,

v případě, že  $\Phi$  je ve výše uvedeném rozsahu, a hodnotě:

$$0,054 e^{-0,00169A} \Phi^{-0,372}$$

v případě, že  $\Phi$  je větší než 0,1.

Podle dalšího alternativního provedení může být strukturovaná náplň rovněž zkonstruována z vlnitého kovového plechu, přičemž hodnota specifické plochy této náplně se pohybuje v rozmezí od  $450 \text{ m}^2/\text{m}^3$  do  $1000 \text{ m}^2/\text{m}^3$  a průtokové kanálky jsou orientovány v úhlu v rozmezí od 30 stupňů do 45 stupňů. V případě těchto náplní je minimální rychlost parní fáze rovna přibližně hodnotě:

$$\exp [-0,0485 (\ln \Phi)^2 - 0,595 \ln \Phi - 3,748 - 0,000421 A]$$

kde A představuje specifickou plochu uvedené strukturované náplně,

v případě, že  $\Phi$  je ve výše uvedeném rozsahu, a hodnotě asi:

$$0,0305 e^{-0,000421A} \Phi^{-0,372}$$

v případě, že  $\Phi$  je větší než 0,1.

Uvedená strukturovaná náplň může být podle dalšího alternativního provedení rovněž zkonstruována z vlnitého kovového plechu, přičemž hodnota specifické plochy této náplně se pohybuje v rozmezí od  $170 \text{ m}^2/\text{m}^3$  do  $250 \text{ m}^2/\text{m}^3$  a průtokové kanálky jsou orientovány v úhlu přibližně 30 stupňů nebo v úhlu menším. V případě těchto náplní je minimální rychlost parní fáze rovna přibližně hodnotě:

$$\exp [-0,0485 (\ln \Phi)^2 - 0,595 \ln \Phi - 2,788 - 0,00236 A]$$

kde A představuje specifickou plochu uvedené strukturované náplně,

5 v případě, že  $\Phi$  je ve výše uvedeném rozsahu, a hodnotě asi:

$$0,0795 e^{-0,00236A} \Phi^{-0,372}$$

v případě, že  $\Phi$  je větší než 0,1.

10

Uvedená strukturovaná náplň může být rovněž zkonstruována z vlnitého kovového plechu, přičemž hodnota specifické plochy této náplně se pohybuje v rozmezí od 250 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> do 1000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> a průtokové kanálky jsou orientovány v úhlu přibližně 30 stupňů nebo v úhlu menším. V případě těchto náplní je minimální rychlost parní fáze rovna přibližně hodnotě:

15

$$\exp [-0,0485 (\ln \Phi)^2 - 0,595 \ln \Phi - 3,156 - 0,000893 A]$$

kde A představuje specifickou plochu uvedené strukturované náplně,

20 v případě, že  $\Phi$  je ve výše uvedeném rozsahu, a hodnotě asi:

$$0,05515 e^{-0,000893A} \Phi^{-0,372}$$

v případě, že  $\Phi$  je větší než 0,1.

25

Podle dalšího alternativního provedení se postup kryogenního rozdělování směsi atmosférických plynů provádí v destilačním kolonovém systému, přičemž v tomto systému přinejmenším jedna destilační kolona je provozována při absolutním tlaku, pohybujícím se v rozmezí od 0,35 MPa (3,5 baru) do 0,75 MPa (7,5 baru). Přinejmenším v jedné destilační koloně tohoto systému se vytváří sestupující proud kapalně fáze a stoupající proud plynové fáze, které pochází z této směsi atmosférických plynů. Tento sestupující proud kapalně fáze a stoupající proud plynové fáze, pocházející z této směsi, se uvádí do kontaktu se strukturovanou náplní, umístěnou přinejmenším v jedné sekci přinejmenším jedné destilační kolony, přičemž hustota náplně je 750 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> a průtokové kanálky jsou orientovány v úhlu 45 stupňů. Výsledkem tohoto kontaktu je to, že sestupující kapalná fáze se stává stále koncentrovanější na složky této směsi s nižší těkavostí při svém postupu směrem dolů touto strukturovanou náplní, zatímco stoupající plynová fáze se při svém průchodu strukturovanou náplní stále více koncentruje na složky této směsi s vyšší těkavostí, čímž se dosáhne kryogenního rozdělení. Tato kapalná a plyná fáze, pocházející z uvedené směsi atmosférických plynů, se kontaktuje ve strukturované náplni o určité výšce takovým způsobem, aby tato kapalná fáze, resp. plynová fáze, obsahovala složky s nižší těkavostí, resp. s vyšší těkavostí o předem stanovené koncentraci, přičemž tato výška strukturované náplně je přibližně ekvivalentní součinu počtu teoretických stupňů, nutných k získání této předem stanovené koncentrace složek s nižší těkavostí a složek s vyšší těkavostí, a hodnoty, odpovídající součtu 0,181 a tlaku uvnitř této přinejmenším jedné kolony, násobenému

45 hodnotou -0,00864.

Tuto přinejmenším jednu destilační kolonu je možno provozovat při absolutním tlaku, pohybujícím se v rozmezí od 0,75 MPa (7,5 baru) do 2,0 MPa (20 barů). V tomto případě odpovídá výška strukturované náplně, ve které dochází ke kontaktu směsi atmosférických plynů, přibližně hodnotě součinu počtu teoretických pater, požadovaných k získání předem stanovené koncentrace složek o nižší těkavosti a složek o vyšší těkavosti, a 0,116.

50

Podle znalostí, uváděných v publikacích podle dosavadního stavu techniky, se předpokládalo, že se provozuschopnost ve strukturované náplni se zvyšujícím se tlakem zhoršuje. Podle uvedeného vynálezu bylo zjištěno, že provozuschopnost této strukturované náplně závisí na směsi, která se v této náplni rozděluje. V případě, že je touto zpracovávanou směsí směs atmosférických plynů,

5 potom provozuschopnost této strukturované náplně v destilační koloně překvapivě s tlakem vzrůstá. Například je možno uvést, že údaje, týkající se strukturované náplně o hustotě  $750 \text{ m}^2/\text{m}^3$  podle dosavadního stavu techniky uvádí, že horní limit pro provozní rozmezí je dán hodnotou:

$$10 \quad \exp [-4,064 - 0,595 \ln \Phi - 0,0485 (\ln \Phi)^2]$$

Podle dosavadního stavu techniky, jestliže některá sekce destilační kolony pracuje nad uvedeným horním limitem, dojde v této sekci k zahlcení. Tohoto horního limitu se podle těchto dosavadních znalostí dosáhne, jestliže tlak je 0,2 MPa nebo nižší. V publikacích podle

15 dosavadního stavu techniky se uvádí, že nad touto hodnotou 0,2 MPa dojde ke zhoršení provozu a postup by se tedy v oblasti tohoto limitu neměl provádět.

Podle uvedeného vynálezu bylo zjištěno, že v případě použití strukturovaných náplní, vyrobených ze zvlněného kovového plechu o výše specifikované náplňové hustotě, a v případě

20 rozdělování směsi atmosférických plynů, přičemž hodnota tlaku je nad 0,2 MPa, tento horní limit, zjištěný podle předchozích znalostí podle dosavadního stavu techniky, nepředstavuje omezující faktor pro provozuschopnost a účinnost této strukturované náplně.

V popisu uvedeného vynálezu a v patentových nárocích je pro rychlost par použito označení  $C_v$ , přičemž tato hodnota představuje denzimetrickou povrchovou rychlost plynu. Tato rychlost plynu je součinem povrchové rychlosti plynu a druhé odmocniny hustoty plynu, dělené hodnotou hustoty kapaliny mínus hustota plynu. Povrchová rychlost představuje průměrnou rychlost plynu kolonou, která je odvozena od hmotové průtokové rychlosti. Vzhledem k výše uvedenému je

30 tedy možno uvést, že jestliže je postu v koloně prováděn při tlaku nad 0,2 MPa a směsí, která je rozdělována, je směs atmosférických plynů, potom je možno tuto hmotovou průtokovou rychlost kolonou zvýšit nad hodnotu, která byla považována podle dosavadního stavu techniky za horní limit. Alternativně je možno uvést, že pro danou hmotovou průtokovou rychlost v koloně je možno konstruovat tuto kolonu s mnohem menším průřezem a z toho vyplývající vyšší povrchovou rychlostí, než bylo předpokládáno podle znalostí dosavadního stavu techniky v této

35 oblasti. Tato menší průřezová plocha kolony znamená, že je možno použít menšího objemu strukturované náplně pro dané podmínky aplikaci této strukturované náplně. Z toho vyplývá, že je možno dosáhnout úspor na nákladech při konstruování destilační kolony při daných provozních požadavcích na danou destilační kolonu. Dalším výhodný faktor spočívá v tom, že při vyšších tlacích může být tato kolona nejenom užší, ale rovněž kratší, než bylo dosud

40 požadováno za možné podle dosavadního stavu techniky. Tato skutečnost vyplývá z toho, že hodnota HEPT, neboli výška ekvivalentní teoretickému patru, klesá se zvětšujícím se tlakem v koloně. Z výše uvedeného je patrné, že uvedený vynález poskytuje dvojnásobnou prostorovou úsporu objemu v případě dané strukturované náplně při zpracovávání směsi atmosférických plynů.

45 V souvislosti s uvedeným popisem a patentovými nároky je třeba poznamenat, že všechny hodnoty výšky (strukturované náplně) jsou míněny v metrech a všechny hodnoty rychlosti, jako je například rychlost kapaliny a rychlost plynu, jsou míněny v metrech za sekundu. Kromě toho, všechny hodnoty tlaku jsou míněny jako absolutní hodnoty tlaku v MPa (barech) a všechny hodnoty specifické plochy jsou míněny v metrech čtverečních na metr krychlový. Dále je nutno

50 uvést, že i přesto, že mnoho experimentů bylo provedeno se strukturovanou náplní získanou od firmy Sulzer Brothers Limited, postup podle uvedeného vynálezu je možno stejným způsobem aplikovat na strukturované náplně od jiných výrobců.

Příklady provedení vynálezu

Popis včetně patentových nároků sice podrobně popisují uvedený vynález, nicméně podstata a detailní uskutečnění tohoto postupu bude srozumitelnější z konkrétních provedení tohoto  
 5 vynálezu. Postup podle uvedeného vynálezu bude tedy v dalším vysvětlen s pomocí konkrétních provedení, které jsou pouze ilustrativní a nijak neomezuji rozsah tohoto vynálezu.

Pro lepší ilustrování jsou připojeny dva obrázky, které znázorňují:

10 obr. 1 Soudersův diagram pro náplň MELLAPAK 750.Y, získanou od firmy Sulzer Brothers Limited, na kterém je znázorněna křivka, odpovídající provozním charakteristikám podle dosavadního stavu techniky, v porovnání s provozními charakteristikami, použitými v postupu podle vynálezu,

15 a na obr. 2 je ilustrováno uspořádání destilační kolony, zkonstruované k provádění postupu podle uvedeného vynálezu.

Na obr. 1 představuje křivka 1 Soudersův diagram náplně MELLAPAK 750.Y (získané od firmy Brothers Limited, CH-8401, Winterthur, Švýcarsko), vztahující se k postupu podle dosavadního  
 20 stavu techniky, prováděnému při tlaku 0,2 MPa nebo při tlacích nižších. Tato strukturovaná náplň, stejně jako další zmiňované náplně v tomto popisu, byla vyrobena ze zvlněného kovového plechu. Specifická plocha této náplně je  $750 \text{ m}^2/\text{m}^3$  a průtokové kanálky jsou v této náplni orientovány v úhlu  $45^\circ$ . Při provádění postupu podle této křivky je rychlost páry dána rychlostí kapaliny. Jestliže se rychlost páry zvýší nad hodnotou danou touto křivkou, potom nastane  
 25 zahlcení náplně, to znamená, že stoupající parní fáze v této náplni strhává významný podíl klesající kapalně fáze, nebo v extrémním případě stoupající parní fáze zabraňuje kapalně fázi v sestupném proudění náplni. Pro tuto křivku platí přibližně rovnice:

$$C_v = \exp [-4,064 - 0,595 \ln \Phi - 0,0485 (\ln \Phi)^2]$$

30

v případě, že  $\Phi$  je v rozmezí od asi 0,01 do asi 0,1, a rovnice:

$$C_v = 0,02233 \Phi^{-0,372}$$

35 v případě, že  $\Phi$  je větší než 0,1.

Jak již bylo výše uvedeno, hodnota  $\Phi$  odpovídá poměru  $C_l/C_v$ . Jako příklad jsou pro porovnání v uvedeném Soudersově diagramu uvedeny křivky 2 a 3 pro strukturovanou náplň 750.Y, použitou při provádění postupu podle uvedeného vynálezu při provozních tlacích 0,4 MPa  
 40 a 0,6 MPa, přičemž byla zpracovávána směs atmosférických plynů. Z těchto dvou křivek je evidentní, že provozuschopnost a účinnost této náplně se zvyšuje se zvyšujícím se tlakem. Pro křivku 2 platí přibližně rovnice:

$$C_v = \exp [-3,885 - 0,595 \ln \Phi - 0,0485 (\ln \Phi)^2]$$

45

v případě, že  $\Phi$  je v rozmezí od asi 0,01 do asi 0,1, a rovnice:

$$C_v = 0,0266 \Phi^{-0,372}$$

50 v případě, že  $\Phi$  je větší než 0,1.

Pro křivku 3 platí přibližně rovnice:

$$C_v = \exp [-3,753 - 0,595 \ln \Phi - 0,0485 (\ln \Phi)^2]$$

5 v případě, že  $\Phi$  je v rozmezí od asi 0,01 do asi 0,1, a rovnice:

$$C_v = 0,03033 \Phi^{-0,372}$$

v případě, že  $\Phi$  je větší než 0,1.

10

Z průběhu těchto křivek je možno vyvodit poznatek, že při použití podobné náplně pro postup, při kterém je provozní tlak přinejmenším 0,2 MPa a rozdělovanou směsí je směs atmosférických plynů, je možno minimálně použít postupu, odpovídajícího křivce 1. Maximálně je možno použít postupu, při kterém se dosahuje kritické rychlosti páry, odpovídající rychlosti páry, při které dochází k zahlcení náplně nebo kolony. Tuto kritickou rychlost páry je možno experimentálně stanovit, přičemž v provozní praxi se tato hodnota bere jako přiblížení se stavu zahlcení, což se stanoví u dané kolony kontrolními prostředky. Při obvyklém postupu je používána rychlost páry, odpovídající asi 80 % skutečné rychlosti páry při stavu zahlcení. Ovšem horní limit kritické rychlosti páry pro typ náplně diskutovaný výše v případě provozování náplně při tlaku 0,4 MPa představuje křivka 2 a v případě provozování náplně při tlaku 0,6 MPa křivka 3. Znovu je třeba zdůraznit, že tyto výsledky platí pro případy, kdy rozdělovanou směsí je směs atmosférických plynů, použitou náplní je náplň, zhotovená ze zvlněného kovového plechu, a průtokové kanálky jsou skloněny v úhlu 45 stupňů. Výsledkem tohoto řešení podle uvedeného vynálezu je to, že kolona může být konstruována pro vyšší prosazené množství (neboli výkonnost) v porovnání s kolonami podle dosavadního stavu techniky, nebo může být konstruována na nižší objem strukturované náplně, než jaký by mohl být použit v kolonách, konstruovaných podle dosavadního stavu techniky.

Podle uvedeného vynálezu bylo zjištěno, že podobného zlepšení je možno dosáhnout i při použití jiných strukturovaných náplní (které jsou zhotoveny ze zvlněného kovového plechu, při provádění postupu za použití absolutního tlaku vyššího než 0,2 MPa a při rozdělování směsi atmosférického plynu), které mají jinou hustotu náplně a jiné úhly průtokových kanálků, než jaké jsou uvedené charakteristiky pro strukturovanou náplň typu 750.Y. Například je možno uvést, že v případě specifické plochy strukturované náplně v rozmezí od 100 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> do 450 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> a použití průtokových kanálků, orientovaných v úhlu 30 stupňů až 45 stupňů, je možno provádět provoz v dané koloně minimálně s rychlostí páry touto náplní, odpovídající hodnotě:

$$\exp [-0,0485 (\ln \Phi)^2 - 0,595 \ln \Phi - 3,176 - 0,00169 A]$$

40 v případě, že  $\Phi$  je v rozmezí od 0,01 do 0,1, a hodnotě:

$$0,054 e^{-0,00169A} \Phi^{-0,372}$$

v případě, že  $\Phi$  je větší než 0,1.

45

V případě strukturované náplně, jejíž specifická plocha je v rozmezí od 450 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> do 1000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> a průtokové kanálky jsou orientovány v úhlu od 30 stupňů do 45 stupňů, je možné provádět provoz v dané koloně minimálně s rychlostí páry touto náplní, odpovídající hodnotě:

$$50 \exp [-0,0485 (\ln \Phi)^2 - 0,595 \ln \Phi - 3,748 - 0,000421 A]$$

v případě, že  $\Phi$  je ve výše uvedeném rozmezí, a hodnotě:

$$0,0305 e^{-0,000421A} \Phi^{-0,372}$$

5 v případě, že  $\Phi$  je větší než 0,1.

V případě strukturované náplně, jejíž specifická plocha je v rozmezí od 170 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> do 250 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> a průtokové kanálky jsou orientovány v úhlu 30 stupňů nebo menším, je možno provádět provoz v dané koloně minimálně s rychlostí páry touto náplní, odpovídající hodnotě:

10

$$\exp [-0,0485 (\ln \Phi)^2 - 0,595 \ln \Phi - 2,788 - 0,00236 A]$$

v případě, že  $\Phi$  je ve výše uvedeném rozmezí, a hodnotě:

15

$$0,0305 e^{-0,00236A} \Phi^{-0,372}$$

v případě, že  $\Phi$  je větší než 0,1.

20 A konečně v případě strukturované náplně, jejíž specifická plocha je v rozmezí od 250 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> do 1000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> a průtokové kanálky jsou orientovány v úhlu asi 30 stupňů nebo menším, je možno provádět provoz v dané koloně minimálně s rychlostí páry touto náplní, odpovídající hodnotě:

25

$$\exp [-0,0485 (\ln \Phi)^2 - 0,595 \ln \Phi - 3,156 - 0,000893 A]$$

v případě, že  $\Phi$  je ve výše uvedeném rozmezí, a hodnotě:

$$0,0551 e^{-0,000893A} \Phi^{-0,372}$$

30

v případě, že  $\Phi$  je větší než 0,1.

Ve všech uvedených případech A představuje specifickou plochu náplně v m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.

35 Podle uvedeného vynálezu bylo rovněž kromě provozních charakteristik, týkajících se rychlosti kapalně a parní fáze, zjištěno, že se účinnost rozdělování v této strukturované náplni se stoupajícím tlakem v koloně zvyšuje. Při tlacích, pohybujících se v rozmezí od 0,35 MPa do 0,75 MPa (to znamená 3,5 baru až 7,5 baru), tato hodnota HEPT (ekvivalentní výška teoretického patra) pro náplň 750.Y odpovídá přibližně součtu 0,181 a součinu -0,00864 a hodnoty tlaku. Pro hodnoty tlaků v rozmezí od 0,75 MPa (7,5 baru) do 2 MPa (20 baru) bylo  
40 zjištěno, že tato HEPT je 0,116 metru. To znamená, že pro daný rozdělovací postup se počet potřebných teoretických stupňů násobí předchozí hodnotou HEPT, čímž se získá požadovaná hodnota výšky náplně. Podle dosavadního stavu techniky se předpokládalo, že hodnota HEPT stoupá se zvyšujícím se tlakem. Ze shora uvedeného je patrné, že podle uvedeného vynálezu, kdy rozdělovanou směsí je směs atmosférických plynů, hodnota HEPT klesá se zvyšujícím se tlakem  
45 a potom se vyrovnává na konstantní hodnotu.

Na obr. 2 je znázorněn destilační kolonový systém 10 k provádění postupu podle uvedeného vynálezu. V této souvislosti je ale třeba připomenout, že postup podle uvedeného vynálezu je aplikovatelný i na jiné typy destilačních kolonových systému, například na systémy s dvěma  
50 kolonami, ve kterých se používá nízkotlaká a vysokotlaká kolona k získání dusíku a kyslíku jako produktů dělení, na systémy s třemi kolonami k výrobě argonu jako produktu dělení, atd.

V tomto destilačním kolonovém systému 10 se vzduch stlačuje v kompresoru 11, přičemž teplo z tohoto stlačování, vzniklé v kompresoru 11, se odvádí v dále zařazeném chladiči 12. Tento vzduch se potom zavádí do jednotky 14 na předběžně vyčištění, která může sestávat ze dvou nebo více adsorpčních loží, pracujících se střídajícími se fázemi, kde se absorbuje oxid uhličitý, voda a uhlovodíky. Takto získaný výsledný proud 16 vzduchu se potom chladí v sekcích 18 a 20 hlavního tepelného výměníku na teplotu rosného bodu nebo na teplotu blízkou této hodnotě a potom se rozděluje na dva vedlejší vzduchové proudy 22 a 24. Vedlejší proud 22 vzduchu se zavádí do spodního prostoru destilační kolony 26 k čištění. Vedlejší proud 24 vzduchu se podchlazuje v podchlazovači 27 a potom se tento proud přivádí ve formě kapaliny do vhodného mezilehlého stupně v destilační koloně 26.

V prostoru destilační kolony 26 se vytváří přiváděním vedlejšího proudu vzduchu 22 stoupající parní fáze. Sestupující kapalná fáze se v této koloně tvoří odváděním dusíkového parního proudu 28 z hlavy kolony a kondenzováním tohoto dusíkového parního proudu 28, odebíraného z hlavy kolony, v horním kondenzátoru 30, čímž vzniká zpětný proud 32. Tento zpětný proud 32 se částečně zavádí zpět do destilační kolony 26. Proud 34 ode dna kolony se odvádí z této destilační kolony 26 a nechá se expandovat na nízkou teplotu a tlak v Joule–Thompsonovu (J–T) ventilu 36. Tento expandovaný proud 34 ode dna kolony se potom vede do horního kondenzátoru 30, kde se používá ke kondenzování dusíkového parního proudu 28, odváděného z hlavy kolony. Proud 38 produktu, obsahující dusík o vysoké čistotě, se potom částečně ohřívá v podchlazovači 27 (zde se ohřívá na teplotu v rozmezí provozní teploty destilační kolony a studeného konce hlavního tepelného výměníku) a potom se úplně ohřeje v sekcích 18 a 20 hlavního tepelného výměníku. Odpařený proud ode dna kolony, označený vztahovou značkou 40, se potom částečně ohřívá v podchlazovači 27 a potom se úplně ohřívá v sekcích 18 a 20 hlavního tepelného výměníku.

Stejně, jako je tomu u všech kryogenních zařízení na rozdělování vzduchu, i v tomto zařízení dochází k tepelným únikům a je tedy zapotřebí v tomto zařízení vytvářet ochlazování. V provedení na tomto obrázku se proud 40 rozděluje na dva vedlejší proudy 42 a 44. Vedlejší proud 44 se částečně ohřívá v sekci 20 hlavního tepelného výměníku a potom se spojuje s vedlejším proudem 42. Takto spojený proud se potom zavádí do turboexpandéru 46 a expanduje se v Joule–Thompsonovu (J–T) ventilu 50. Proud 48 po expanzi se spojuje s expandovaným proudem, odváděným z turboexpandéru 46, čímž se získává ochlazovací proud 52. Tento ochlazovací proud 52 se potom částečně ohřívá v podchlazovači 27 a úplně se ohřívá v sekcích 18 a 20 hlavního tepelného výměníku, přičemž snižuje entalpii přiváděného vzduchu.

V následující tabulce č. 1 jsou uvedeny hodnoty konkrétního provedení postupu v destilačním kolonovém systému 10 podle vynálezu.

Tabulka 1

| Proud                                                                         | Teplota<br>(K) | Tlak<br>(MPa) | Průtočné<br>množství<br>(kg/h) | Složení<br>(mol %)                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Proud <u>16</u> vzduchu<br>za jednotkou <u>14</u><br>pro předběžné čištění    | 302,60         | 0,600         | 4449,66                        | 78,11 % N <sub>2</sub><br>20,96 % O <sub>2</sub><br>0,93 % Ar |
| Proud <u>16</u> vzduchu<br>za sekci <u>18</u> hlavního<br>tepelného výměníku  | 152,77         | 0,600         | 4449,66                        | 78,11 % N <sub>2</sub><br>20,96 % O <sub>2</sub><br>0,93 % Ar |
| Proud <u>16</u> vzduchu<br>za sekci <u>20</u> hlavního<br>tepelného výměníku  | 102,84         | 0,600         | 4449,66                        | 78,11 % N <sub>2</sub><br>20,96 % O <sub>2</sub><br>0,93 % Ar |
| Vedlejší proud <u>22</u> vzduchu                                              | 102,84         | 0,600         | 4307,11                        | 78,11 % N <sub>2</sub><br>20,96 % O <sub>2</sub><br>0,93 % Ar |
| Vedlejší proud vzduchu<br><u>24</u> před podchlazovačem <u>27</u>             | 102,84         | 0,600         | 142,55                         | 78,11 % N <sub>2</sub><br>20,96 % O <sub>2</sub><br>0,93 % Ar |
| Vedlejší proud vzduchu<br><u>24</u> za podchlazovačem <u>27</u>               | 98,61          | 0,600         | 142,55                         | 78,11 % N <sub>2</sub><br>20,96 % O <sub>2</sub><br>0,93 % Ar |
| Proud <u>34</u> ode dna kolony                                                | 100,93         | 0,600         | 2429,01                        | 59,04 % N <sub>2</sub><br>36,46 % O <sub>2</sub><br>1,50 % Ar |
| Proud <u>24</u> ode dna kolony za<br>J–T ventilem <u>36</u>                   | 90,00          | 0,250         | 2429,01                        | 59,04 % N <sub>2</sub><br>39,46 % O <sub>2</sub><br>1,50 % Ar |
| Proud <u>38</u> produktu                                                      | 96,14          | 0,587         | 2020,64                        | 99,72 % N <sub>2</sub><br>0,28 % O <sub>2</sub><br>0,00 % Ar  |
| Proud <u>38</u> produktu<br>za podchlazovačem <u>27</u>                       | 101,84         | 0,587         | 2020,64                        | 99,72 % N <sub>2</sub><br>0,28 % O <sub>2</sub><br>0,00 % Ar  |
| Proud <u>38</u> produktu<br>za sekci <u>20</u> hlavního<br>tepelného výměníku | 148,68         | 0,587         | 2020,64                        | 99,72 % N <sub>2</sub><br>0,28 % O <sub>2</sub><br>0,00 % Ar  |
| Proud <u>38</u> produktu<br>za sekci <u>18</u> hlavního<br>tepelného výměníku | 300,08         | 0,587         | 2020,64                        | 99,72 % N <sub>2</sub><br>0,28 % O <sub>2</sub><br>0,00 % Ar  |
| Parní proud <u>40</u> bohatý na<br>kapalinu před<br>podchlazovačem <u>27</u>  | 93,31          | 0,250         | 2429,01                        | 59,04 % N <sub>2</sub><br>36,46 % O <sub>2</sub><br>1,5 % Ar  |
| Parní proud <u>40</u> bohatý<br>na kapalinu za<br>podchlazovačem <u>27</u>    | 101,84         | 0,250         | 2429,01                        | 59,04 % N <sub>2</sub><br>39,46 % O <sub>2</sub><br>1,5 % Ar  |
| Vedlejší proud <u>44</u>                                                      | 101,84         | 0,250         | 502,58                         | 59,04 % N <sub>2</sub><br>39,46 % O <sub>2</sub><br>1,5 % Ar  |

Tabulka 1 - pokračování

| Proud                                                                                            | Teplota<br>(K) | Tlak<br>(MPa) | Průtočné<br>množství<br>(kg/h) | Složení<br>(mol %)                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Vedlejší proud <u>42</u>                                                                         | 101,84         | 0,250         | 1926,44                        | 59,04 % N <sub>2</sub><br>39,46 % O <sub>2</sub><br>1,5 % Ar |
| Vedlejší proud <u>44</u> po<br>částečném ohřátí v sekci <u>20</u><br>hlavního tepelného výměníku | 146,68         | 0,250         | 502,58                         | 59,04 % N <sub>2</sub><br>39,46 % O <sub>2</sub><br>1,5 % Ar |
| Spojené proudy <u>42</u> a <u>44</u><br>přiváděné do<br>turboexpandéru <u>46</u>                 | 111,38         | 0,250         | 448,73                         | 59,04 % N <sub>2</sub><br>39,46 % O <sub>2</sub><br>1,5 % Ar |
| Proud <u>48</u> přiváděný do<br>J–T ventilu <u>50</u>                                            | 111,38         | 0,250         | 1980,28                        | 59,04 % N <sub>2</sub><br>39,46 % O <sub>2</sub><br>1,5 % Ar |
| Spojené proudy <u>42</u> a <u>44</u> za<br>turboexpandérem <u>46</u>                             | 91,68          | 0,102         | 448,73                         | 59,04 % N <sub>2</sub><br>39,46 % O <sub>2</sub><br>1,5 % Ar |
| Proud <u>48</u> za J–T ventilem <u>50</u>                                                        | 109,33         | 0,102         | 1980,28                        | 59,04 % N <sub>2</sub><br>39,46 % O <sub>2</sub><br>1,5 % Ar |
| Proud <u>52</u> ochlazeného plynu                                                                | 106,05         | 0,102         | 2429,01                        | 59,04 % N <sub>2</sub><br>39,46 % O <sub>2</sub><br>1,5 % Ar |
| Proud <u>52</u> ochlazeného<br>plynu za<br>podchlazovačem <u>27</u>                              | 101,80         | 0,102         | 2429,01                        | 59,04 % N <sub>2</sub><br>39,46 % O <sub>2</sub><br>1,5 % Ar |
| Proud <u>52</u> ochlazeného plynu<br>za sekci <u>18</u> hlavního<br>tepelného výměníku           | 146,68         | 0,102         | 2429,01                        | 59,04 % N <sub>2</sub><br>39,46 % O <sub>2</sub><br>1,5 % Ar |
| Proud <u>52</u> ochlazeného plynu<br>za sekci <u>20</u> hlavního<br>tepelného výměníku           | 300,08         | 0,102         | 2429,01                        | 59,04 % N <sub>2</sub><br>39,46 % O <sub>2</sub><br>1,5 % Ar |

5

V destilační koloně 26 jsou použity tři sekce, obsahující strukturovanou náplň, označené jako sekce I, II a III. Podle tohoto příkladu bylo použito při přípravě těchto sekcí náplně o hustotě 750 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, přičemž touto náplní může být například strukturovaná náplň 750.Y od firmy Sulzer Brothers Limited. Podle tohoto uspořádání měl stupeň I přibližně 27 teoretických pater, stupeň II měl asi 26 teoretických pater a stupeň III měl asi 6 teoretických pater. V následující tabulce č. 2 je uveden přehled provozních charakteristik v každé sekci a vypočtené hodnoty C<sub>L</sub> a výška náplně podle uvedeného vynálezu.

10

Tabulka 2

|                            | Stupeň I<br>Horní konec | Spodní konec | Stupeň II<br>Horní konec | Spodní konec |
|----------------------------|-------------------------|--------------|--------------------------|--------------|
| $P_L$ (kg/m <sup>3</sup> ) | 714,6                   | 771,2        | 771,2                    | 820,1        |
| $P_V$ (kg/m <sup>3</sup> ) | 24,26                   | 24,80        | 24,80                    | 24,19        |
| $L$ (m <sub>3</sub> /h)    | 3,528                   | 3,333        | 3,333                    | 2,909        |
| $V$ (m/h)                  | 187,2                   | 185,2        | 185,2                    | 182,3        |
| $C_L$ (m/s)                | 0,005784                | 0,005459     | 0,005459                 | 0,004758     |
| $C_V$ (m/s)                | 0,05655                 | 0,05438      | 0,05438                  | 0,05118      |
| $\Phi$ ( $C_L/C_V$ )       | 0,1023                  | 0,1004       | 0,1004                   | 0,0930       |
| $C_V$ zahlčení             | 0,07067                 | 0,07116      | 0,07116                  | 0,07239      |
| $C_V$ návrh                | 0,05654                 | 0,05693      | 0,05693                  | 0,05864      |
| % zahlčení                 | 80,02                   | 76,41        | 76,41                    | 69,82        |
| HEPT                       | 0,130                   | 0,130        | 0,130                    | 0,130        |
| Výška (m)                  | 3,5                     | –            | 3,37                     | –            |

5

Tabulka 2 (pokračování)

10

|                            | Stupeň III<br>horní konec | spodní konec |
|----------------------------|---------------------------|--------------|
| $P_L$ (kg/m <sup>3</sup> ) | 822,4                     | 836,8        |
| $P_V$ (kg/m <sup>3</sup> ) | 24,19                     | 24,06        |
| $L$ (m <sub>3</sub> /h)    | 3,065                     | 2,903        |
| $V$ (m/h)                  | 182,3                     | 181,5        |
| $C_L$ (m/s)                | 0,005013                  | 0,004746     |
| $C_V$ (m/s)                | 0,05112                   | 0,05032      |
| $\Phi$ ( $C_L/C_V$ )       | 0,09806                   | 0,09433      |
| $C_V$ zahlčení             | 0,07187                   | 0,07291      |
| $C_V$ návrh                | 0,05750                   | 0,05833      |
| % zahlčení                 | 71,13                     | 69,02        |
| HEPT                       | 0,130                     | 0,130        |
| Výška (m)                  | 0,75                      | –            |

V následující tabulce č. 3 je uveden přehled provozních charakteristik v destilační koloně 26, která byla konstruována s  $C_V$  limitem zahlčení podle dosavadního stavu techniky.

15

Tabulka 3

|                            | Stupeň I<br>Horní konec | Spodní konec | Stupeň II<br>Horní konec | Spodní konec |
|----------------------------|-------------------------|--------------|--------------------------|--------------|
| $P_L$ (kg/m <sup>3</sup> ) | 714,6                   | 771,2        | 771,2                    | 820,1        |
| $P_V$ (kg/m <sup>3</sup> ) | 24,26                   | 24,80        | 24,780                   | 24,19        |
| $L$ (m <sub>3</sub> /h)    | 3,528                   | 3,333        | 3,333                    | 2,909        |
| $V$ (m/h)                  | 187,2                   | 185,2        | 185,2                    | 182,3        |
| $C_L$ (m/s)                | 0,005784                | 0,005459     | 0,005459                 | 0,004758     |
| $C_V$ (m/s)                | 0,05655                 | 0,05438      | 0,05438                  | 0,05118      |
| $\Phi$ ( $C_L/C_V$ )       | 0,1023                  | 0,1004       | 0,1004                   | 0,09300      |
| $C_V$ zahlčení             | 0,05184                 | 0,05220      | 0,05220                  | 0,05370      |
| $C_V$ návrh                | 0,04147                 | 0,04176      | 0,04176                  | 0,04296      |
| % zahlčení                 | 80,02                   | 76,41        | 76,41                    | 69,91        |
| HEPT                       | 0,193                   | 0,193        | 0,193                    | 0,193        |
| Výška (m)                  | 5,21                    | –            | 5,02                     | –            |

Tabulka 3 (pokračování)

5

|                            | Stupeň III<br>horní konec | spodní konec |
|----------------------------|---------------------------|--------------|
| $P_L$ (kg/m <sup>3</sup> ) | 822,4                     | 836,8        |
| $P_V$ (kg/m <sup>3</sup> ) | 24,19                     | 24,06        |
| $L$ (m <sub>3</sub> /h)    | 3,065                     | 2,903        |
| $V$ (m/h)                  | 182,3                     | 181,5        |
| $C_L$ (m/s)                | 0,005013                  | 0,004746     |
| $C_V$ (m/s)                | 0,05112                   | 0,05032      |
| $\Phi$ ( $C_L/C_V$ )       | 0,09806                   | 0,09433      |
| $C_V$ zahlčení             | 0,05263                   | 0,05342      |
| $C_V$ návrh                | 0,04213                   | 0,04274      |
| % zahlčení                 | 71,21                     | 69,1         |
| HEPT                       | 0,193                     | 0,193        |
| Výška (m)                  | 1,16                      | –            |

Při porovnání uvedených dvou přehledů provozních charakteristik je možno se přesvědčit, že maximální rychlost páry, kterou je rychlost parní fáze při zahlčení, je větší v destilační koloně, provozované za podmínek podle uvedeného vynálezu, v porovnání s provozem podle dosavadního stavu techniky, což je možno zjistit, z postupného porovnání sekce za sekci. Rovněž je možno uvést, že hodnota HEPT je menší v destilační koloně, provozované za podmínek postupu podle uvedeného vynálezu, v porovnání s hodnotou HEPT, dosaženou za použití postupu podle dosavadního stavu techniky, což bylo dosaženo v každé sekci destilační kolony. Jak již bylo uvedeno ve shora uvedeném textu, tyto výhody je možno využít buďto pro získání vyšší výkonnosti (většího prosazení) za daného objemu strukturované náplně, nebo ke snížení objemu této strukturované náplně za daných provozních charakteristik kolony. V této souvislosti je vhodné si všimnout zařazení hodnot „ $C_V$  návrh“ a „% zahlčení“ kolony ve výše uvedených tabulkách. Tyto hodnoty jsou zde uvedeny proto, že destilační kolony obvykle nepracují při zahlčení. Tyto kolony pracují při navrženém provozním režimu, který se blíží stavu zahlčení, což může odpovídat hodnotě  $C_V$  asi 80 % zahlčení. Dále je třeba poznamenat, že termínem „ $L$ “ a „ $V$ “ jsou míněny průměrné hodnoty objemových průtokových rychlostí kapaliny a páry.

Za předpokladu, že provozní režim probíhá podle charakteristik, znázorněných na obr. 1, je možno dosažené úspory, souvisící s objemem strukturované náplně v destilační koloně 26, která

je provozována postupem podle uvedeného vynálezu, v porovnání s provozem destilační kolony 26, provozované postupem podle dosavadního stavu techniky, vyjádřit údaje, které jsou přehledně uvedeny v následující tabulce č. 4.

5

Tabulka č. 4

| Rozměry zařízení                | Konstrukce podle dosavadního stavu techniky | Konstrukce podle vynálezu |
|---------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------|
| Průměr kolony (m)               | 0,55                                        | 0,47                      |
| Plocha kolony (m <sup>2</sup> ) | 0,24                                        | 0,17                      |
| Výška náplně (m)                | 11,39                                       | 7,64                      |
| Objem náplně (m <sup>3</sup> )  | 2,68                                        | 1,31                      |
| HEPT (cm)                       | 19,30                                       | 13,00                     |

Relativní hodnoty v porovnání s dosavadním stavem techniky:

10

|                  |       |        |
|------------------|-------|--------|
| Průměr kolony    | 100 % | 85,6 % |
| Průřezová plocha | 100 % | 73,4 % |
| Výška náplně     | 100 % | 67,0 % |
| Objem náplně     | 100 % | 48,8 % |

15

Z výše uvedených výsledků v tabulce č. 4 je patrné, že při provádění postupu v koloně, konstruované podle uvedeného vynálezu, je možno použít zhruba polovičních nákladů v souvislosti s použitou náplní v porovnání se stejnou kolonou, provozovanou a konstruovanou podle dosavadního stavu techniky.

20

Postup podle uvedeného vynálezu byl sice popsán na konkrétním provedení, ovšem rozsah vynálezu není tímto konkrétním provedením nijak omezen a předpokládá se jako samozřejmé, že v rámci tohoto řešení je možno provádět různé změny, některé prvky je možno vynechat a některé naopak přidat, aniž by tím byla nějak ovlivněna podstata řešení podle vynálezu.

25

## PATENTOVÉ NÁROKY

30

1. Způsob kryogenního rozdělování směsi atmosférických plynů v destilačním kolonovém systému, který je tvořen přinejmenším jednou destilační kolonou, přičemž tento postup zahrnuje následující fáze:

35

– vytvoření sestupující kapalně fáze a stoupající plyné fáze směsi atmosférických plynů v přinejmenším jedné destilační koloně,

40

– kontaktování sestupující kapalně fáze se stoupající plynovou fází směsi ve strukturované náplni, obsažené v přinejmenším jedné sekci přinejmenším jedné destilační kolony, přičemž se sestupující kapalně fáze stává stále koncentrovanější na složky s nižší těkavostí směsi při sestupování uvedenou strukturovanou náplní, zatímco uvedená plynová fáze se stává stále více koncentrovanější na složky s vyšší těkavostí uvedené směsi při stoupání strukturovanou náplní, **vyznačující se tím, že**

– strukturovaná náplň je konstruována ze zvlněného kovového plechu se specifickou plochou v rozmezí od  $170 \text{ m}^2/\text{m}^3$  do  $250 \text{ m}^2/\text{m}^3$  a průtokové kanálky jsou orientovány v úhlu 30 stupňů nebo menším vzhledem k horizontální rovině, a

- 5 – kolona je provozována tak, že přinejmenším v jedné sekci je tlak větší než 0,2 MPa, průtokový parametr  $\Phi$ , který odpovídá hodnotě  $C_L/C_v$ , kde  $C_v$  je rychlost páry stoupající plynové fáze a  $C_L$  je rychlost kapaliny klesající kapalně fáze, je buďto v rozmezí průtokového parametru  $\Phi$  od 0,01 do 0,1 nebo je větší než 0,1, a rychlost páry je menší než kritická rychlost páry, při které v přinejmenším jedné sekci dochází k zahlcení, a větší než je minimální rychlost páry, odpovídající hodnotě:

$$\exp [-0,0485 (\ln \Phi)^2 - 0,595 \ln \Phi - 2,788 - 0,00236 A]$$

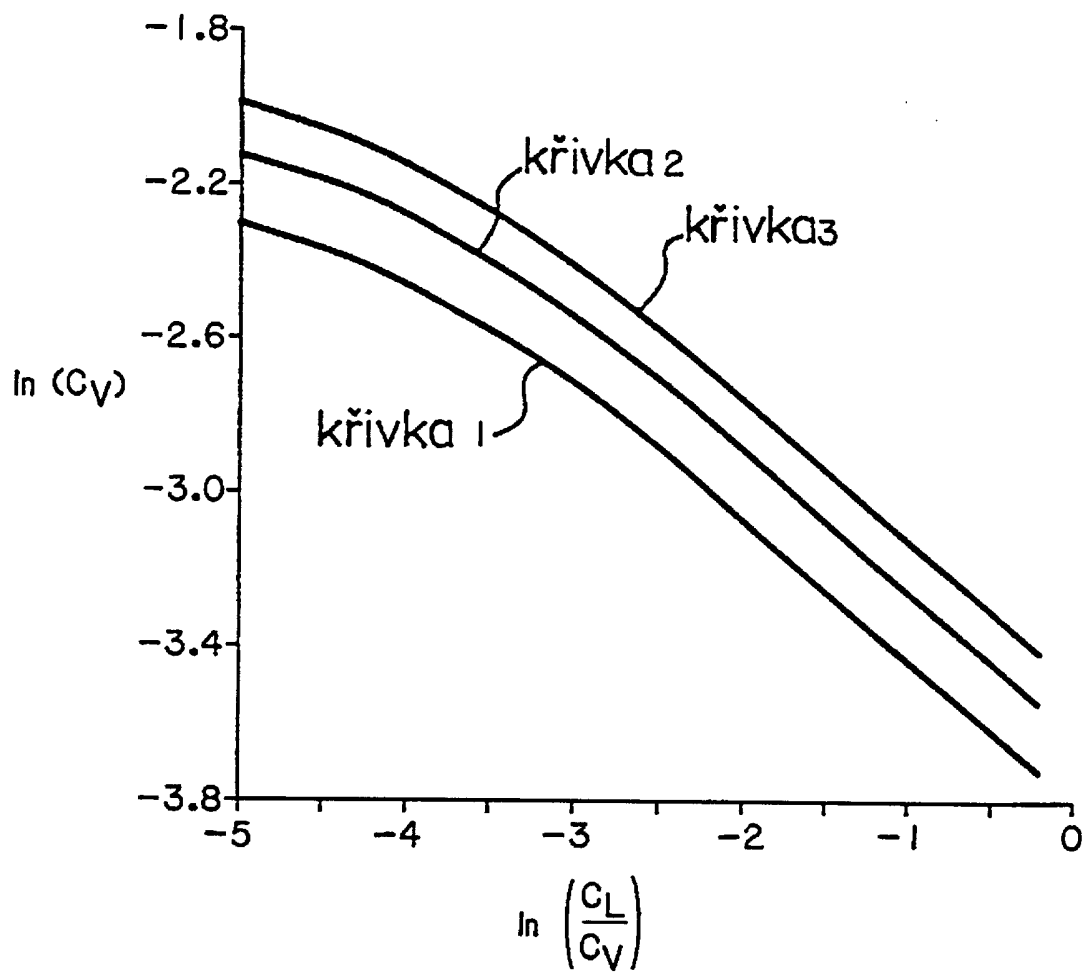
- 15 kde A představuje specifickou plochu uvedené strukturované náplně,  
v případě, že  $\Phi$  je ve výše uvedeném rozmezí, a hodnotě:

$$0,0796 e^{-0,00236A} \Phi^{-0,372}$$

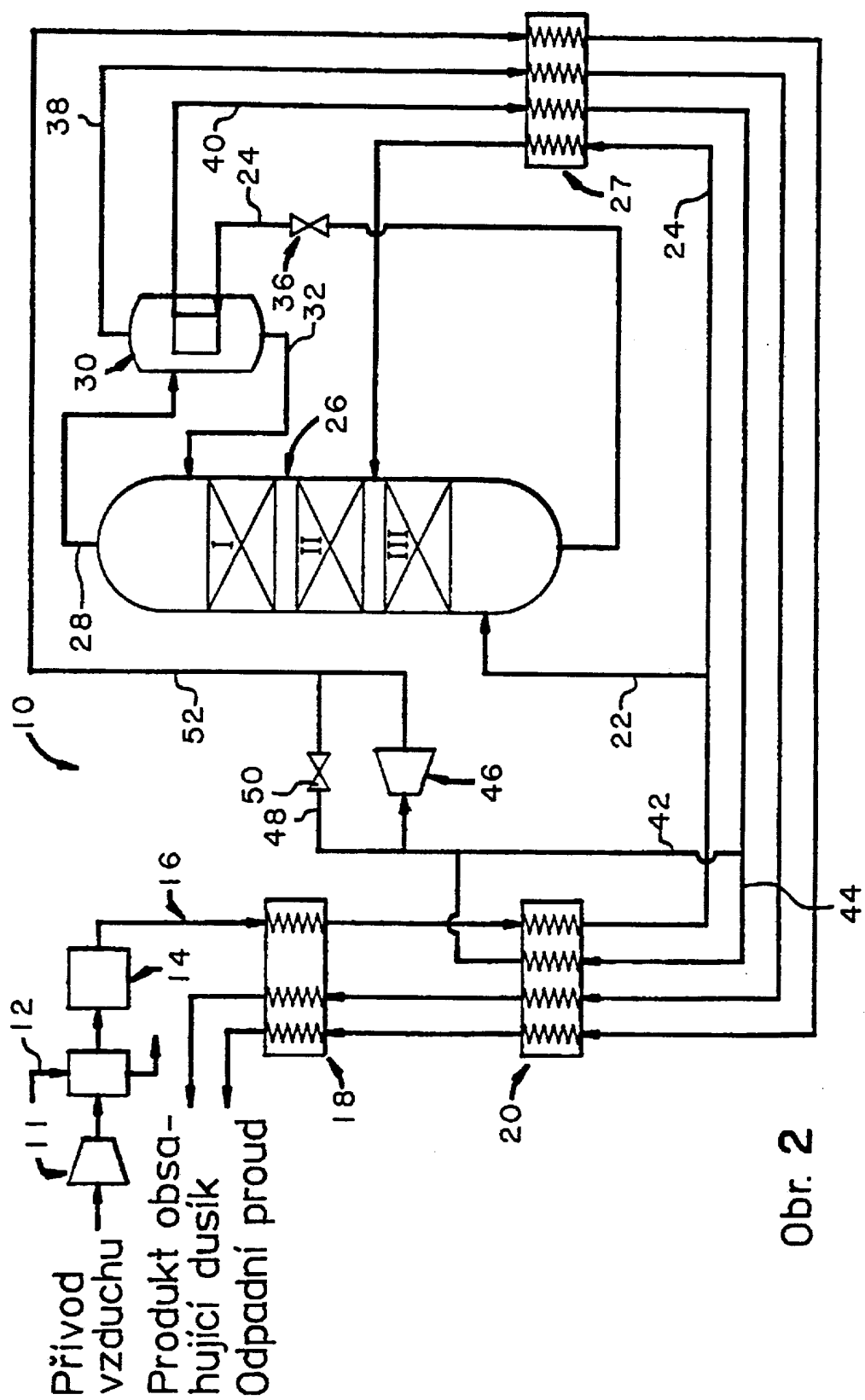
- 20 v případě, že  $\Phi$  je větší než 0,1.

25

2 výkresy



Obr. I



Obr. 2

Konec dokumentu