SLOVENSKÁ REPUBLIKA

(19) **SK**

ÚRAD
PRIEMYSELNÉHO
VLASTNÍCTVA
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

ZVEREJNENÁ PRIHLÁŠKA VYNÁLEZU

(22) Dátum podania: 18.06.1998

(31) Číslo prioritnej prihlášky: 60/050 280, 60/079 782

(32) Dátum priority: 20.06.1997, 27.03.1998

(33) Krajina priority: US, US

(40) Dátum zverejnenia: 07.11.2000

(86) Číslo PCT: PCT/US98/12872, 18 06.1998

(21) Číslo dokumentu:

1781-99

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl [7] :

F 25J 3/02

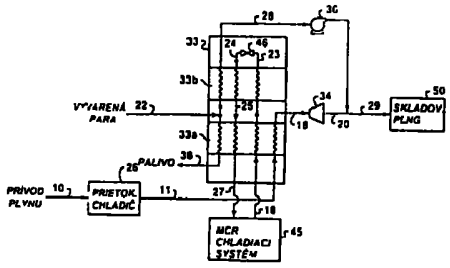
(71) Prihlasovateľ: EXXON PRODUCTION RESEARCH COMPANY, Houston, TX, US:

(72) Pôvodca vynálezu: Bowen Ronald R., Magnolia, TX, US;
Cole Eric T., Kingwood, TX, US;
Kimble Edward L., Sugar Land, TX, US,
Thomas Eugene R., Houston, TX, US;
Kelley Lonny R., Houston, TX. US;

(74) Zástupca: Rott, Růžička, Guttmann, v. o s., Bratislava, SK;

(54) Názov prihlášky vynálezu: **Zlepšený viaczložkový spôsob chladenia na skvapalňovanie zemného plynu**

(57) Anotácia:
Spôsob skvapalňovania prúdu (10) komprimovaného plynu bohatého na metán, pri ktorom sa skvapalňovanie prúdu plynu uskutočňuje vo výmenníku (33) tepla, chladeného viaczložkovým chladiacim systémom (45) s uzavretou slučkou, na výrobu kvapalného produktu bohatého na metán, majúceho teplotu nad asi -112 °C (-170 °F) a tlak postačujúci, aby kvapalný produkt bol na svojom bode tvorby bubliniek alebo ním. Skvapalnený produkt plynu sa potom privádza do skladovacích prostriedkov (50) pri teplote nad asi -112 °C (-170 °F)



PV 1721-99

Zlepšený viaczložkový spôsob chladenia na skvapalňovanie zemného plynu

Oblasť techniky

Tento vynález sa týka spôsobu skvapalňovania zemného plynu a predovšetkým sa týka spôsobu výroby komprimovaného kvapalného zemného plynu (PLNG).

Doterajší stav techniky

Pre vysokú akosť čistého spaľovania a svoju výhodnosť je zemný plyn v súčasnej dobe značne používaný. Bolo lokalizovaných mnoho zdrojov vo vzdialených oblastiach, značne vzdialených od obchodného trhu s plynom. Niekedy je na prepravu produkovaného zemného plynu ku komerčnému trhu dostupné potrubie. Keď nie je uskutočniteľná preprava potrubím, spracováva sa zemný plyn, pre dopravu na trh často na kvapalný zemný plyn (ktorý je nazývaný „LNG").

Jedným z podstatných znakov závodov LNG sú veľké kapitálové investície. Vybavenie, používané na skvapalňovanie zemného plynu, je veľmi nákladné. Závod na skvapalňovanie je vytvorený z niekoľkých základných systémov, zahrňujúcich spracovanie plynu na odstraňovanie nečistôt, skvapalňovanie, ochladzovanie, zariadenia na zásobovanie energiou a skladovanie a zariadenia lodnej dopravy. Zatiaľ čo cena závodu LNG môže veľmi závisieť od lokality závodu, môže typický bežný projekt LNG stáť od 5 do 10 miliárd dolárov vrátane nákladov na oblasť vývoja. Chladiaci systém závodu môže stáť 30 percent z ceny a vyššie.

Sú tri najdôležitejšie okolnosti, ku ktorým sa musí prihliadať pri konštrukcii závodu LNG: (1) výber skvapalňovacieho cyklu, (2) materiály použité na kontajnery, čerpanie a ostatné vybavenie a (3) procesné kroky na konverziu napájacieho prúdu zemného plynu na LNG.

Chladiace systémy LNG sú veľmi nákladné, pretože na skvapalnenie zemného plynu treba tak veľa chladenia. Typický prúd zemného plynu vstupuje do závodu LNG pri tlakoch od asi 4 830 kPa (700 psia) do asi 7 600 kPa (1 100 psia) a teplotách od asi 20 ^{0}C (68 ^{0}F) do asi 40 ^{0}C (104 ^{0}F). Zemný plyn, čo je prevažne metán, sa nemôže skvapalniť jednoduchým zvýšením tlaku, ako v prípade ťažších uhľovodíkov, používaných pre energetické účely. Kritická teplota metánu je -82,5 ^{0}C (-116,5 ^{0}F). To znamená, že metán sa môže skvapalniť len pod touto teplotou bez ohľadu na aplikovaný tlak. Pretože zemný plyn je zmesou plynov, skvapalňuje sa nad touto oblasťou teplôt. Kritická teplota zemného plynu je medzi asi -85 ^{0}C (-121 ^{0}F) a -62 ^{0}C (-80 ^{0}F). Zmesi zemného plynu sa pri atmosférickom tlaku dajú skvapalniť typicky v oblasti teplôt medzi asi -165 ^{0}C (-265 ^{0}F) a -155 ^{0}C (-247 ^{0}F). Pretože vybavenie pre chladenie reprezentuje významnú časť z ceny závodu LNG, bolo vynaložené veľké úsilie na zníženie nákladov na chladenie.

Aj keď sa na skvapalňovanie zemného plynu používalo mnoho chladiacich cyklov, sú dnes v závodoch LNG najčastejšie využívané tri typy: (1) "kaskádový cyklus", v ktorom sa násobne využívajú jednotlivé zložky chladív vo výmenníkoch tepla, progresívne usporiadaných na znižovanie teploty plynu na teplotu skvapalňovania, (2) "expanzný cyklus", v ktorom plyn z vysokého tlaku expanduje do nízkeho tlaku so zodpovedajúcim znížením teploty a (3) "viaczložkový chladiaci cyklus", v ktorom sa využíva viaczložkové chladivo v špeciálne konštruovaných výmenníkoch. V najväčšom počte cyklov skvapalňovania zemného plynu sa využívajú variácie alebo kombinácie týchto troch základných typov.

Zmiešaný chladiaci systém zahrnuje cirkuláciu viaczložkového chladiaceho prúdu, obvykle po predbežnom chladení na asi -35 ^{0}C (-31 ^{0}F) propánom. Typický viaczložkový systém bude zahrnovať metán, etán, propán, prípadne ďalšie ľahké zložky. Bez predbežného chladenia propánom sa môžu ťažšie zložky, ako butány a pentány, zahrnúť do viaczložkového chladiva. Prirodzená vlastnosť cyklu so zmiešaným chladivom je, že výmenníky tepla v procese musia rutinne spracovávať tok dvojfázového chladiva. To vyžaduje použiť veľmi špecializované výmenníky tepla Zmiešané chladivá prejavujú žiadanú vlastnosť kondenzovať

v rozmedzí teplôt, ktoré umožňujú konštruovať systém výmenníkov tepla, ktoré môže byť termodynamicky účinnejšie ako chladiace systémy s jedinou čistou zložkou. Príklady viaczložkových chladiacich procesov sú uvedené v U.S. patentoch 5 502 972, 5 497 626, 3 763 638 a 4 586 942

Materiály, používané v konvenčných LNG zariadeniach tiež prispievajú k cene zariadenia. Kontajnery, čerpadlá a ostatné vybavenie, používané v LNG zariadeniach sú typicky konštruované, aspoň sčasti, z hliníka, nehrdzavejúcej ocele, alebo ocele s vysokým obsahom niklu na zaistenie potrebnej pevnosti a odolnosti proti lomu pri nízkych teplotách.

V konvenčných LNG zariadeniach sa musia z procesu skvapalňovania zemného plynu dôkladne odstrániť voda, oxid uhličitý, zlúčeniny obsahujúce síru, ako sírovodík a ostatné kyslé plyny, n-pentán a ťažšie uhľovodíky, vrátane benzénu - a ich obsah znížiť na úrovne parts per million (ppm). Niektoré z týchto zlúčenín by mohli mrznúť a spôsobovať v prevádzkovom zariadení problémy so zapchávaním. Iné zlúčeniny, ako tie, ktoré obsahujú síru sa odstraňujú typicky preto, aby sa vyhovelo obchodným špecifikáciám. V konvenčnom LNG zariadení na spracovanie plynu je potrebné vybavenie na odstraňovanie oxidu uhličitého a kyslých plynov. Vybavenie na spracovanie plynu využíva typicky chemický a/alebo fyzikálny proces s regenerovaním rozpúšťadiel a vyžaduje značné kapitálové investície. Tiež prevádzkové náklady sú vysoké. Dehydrátory so suchým lôžkom, ako molekulové sitá, vyžadujú odstránenie vodnej pary. Skrubrová kolóna a frakcionačné zariadenie sa používajú typicky na odstraňovanie uhľovodíkov, ktoré majú sklon spôsobovať problémy s upchávaním. V konvenčných LNG zariadeniach sa odstraňuje tiež ortuť, pretože môže spôsobiť poruchy zariadenia, konštruovaného z hliníka. Okrem toho veľká časť dusíka, ktorý môže byť prítomný v zemnom plyne, sa odstráni po priebehu procesu, pretože dusík nezostane počas transportu konvenčného LNG v kvapalnej fáze a v okamihu dodania je prítomnosť dusíkových pár v LNG kontajneroch nežiaduca.

Existuje stála potreba v priemysle na zlepšený proces skvapalňovania zemného plynu, ktorý minimalizuje množstvo chladiaceho zariadenia a energie požadovanej pre tento proces.

Podstata vynálezu

Tento vynález sa týka zlepšeného procesu skvapalňovania prúdu plynu, bohatého na metán. Prúd privádzaného plynu má tlak nad asi 3,100 kPa (450 psia). Ak je tlak príliš nízky, má sa plyn najprv komprimovať. Plyn sa skvapalňuje viaczložkovým chladiacim systémom na výrobu kvapalného produktu, majúceho teplotu nad asi -112 ^{0}C (-170 ^{0}F) a tlak, postačujúci na to, aby kvapalný produkt bol na alebo pod teplotou svojho bodu tvorby bubliniek, produkt sa tu označuje ako komprimovaný kvapalný zemný plyn. („PLNG"). Pred skvapalnením viaczložkovým chladením sa plyn výhodne ochladí recyklovanými parami, ktoré prechádzajú expanzným prostriedkom bez skvapalnenia. PLNG sa privádza do skladovacích prostriedkov na skladovanie pri teplote nad asi -112 ^{0}C (-170 ^{0}F).

V inom uskutočnení vynálezu, ak prúd privádzaného plynu obsahuje zložky ťažšie než metán, sa odstráni prevažná časť ťažších uhľovodíkov frakcionačným procesom pred skvapalnením viaczložkovým chladením.

V ešte inom uskutočnení tohto vynálezu sa môže vyvarený plyn, rezultujúci z vyparovania skvapalneného zemného plynu, pridávať k privádzanému zemnému plynu pre skvapalňovanie viaczložkovým chladením na výrobu PLNG.

Spôsob podľa tohto vynálezu sa môže využiť ako na počiatočné skvapalňovanie zemného plynu pri zdroji plnenia na skladovanie alebo transport, tak aj na opätovné skvapalňovanie pary zemného plynu, vzniknutej počas skladovania a lodnej dopravy. V súlade s tým je predmetom tohto vynálezu poskytnúť zlepšený systém skvapalňovania alebo opakovaného skvapalňovania zemného plynu. Iným predmetom tohto vynálezu je poskytnúť zlepšený systém skvapalňovania, kde je požadovaný podstatne nižší kompresný výkon než v doterajších systémoch. Ešte

ďalším predmetom tohto vynálezu je poskytnúť zlepšený spôsob skvapalňovania, ktorý bude vyžadovať menej energie na kompresiu ako doterajšie systémy. Ešte ďalším predmetom tohto vynálezu je poskytnúť zlepšený spôsob skvapalňovania, ktorý bude ekonomický a efektívny v prevádzke. Chladenie na veľmi nízku teplotu pri konvenčnom procese LNG je veľmi nákladné v porovnaní s pomerne miernym chladením, potrebným pri produkcii PLNG podľa tohto vynálezu

Prehľad obrázkov na výkresoch

Tomuto vynálezu a jeho výhodám sa lepšie porozumie odkazom na ďalej uvedený podrobný opis a pripojené obrázky, ktoré sú blokovými schémami typických uskutočnení tohto vynálezu.

Obr. 1 je bloková schéma uskutočnenia podľa tohto vynálezu, znázorňujúca systém viaczložkového chladenia s uzavretou slučkou na výrobu PLNG.

Obr. 2 je bloková schéma druhého uskutočnenia tohto vynálezu, v ktorom sa zemný plyn pred skvapalnením na PLNG frakcionuje.

Obr. 3 je bloková schéma tretieho uskutočnenia tohto vynálezu, v ktorom sa využíva na predbežné chladenie prúdu zemného plynu pred skvapalnením na PLNG, systém jednozložkového chladenia s uzavretou slučkou.

Obr. 4 je bloková schéma štvrtého uskutočnenia tohto vynálezu, v ktorom viaczložkový systém chladenia s uzavretou slučkou predbežne chladí prúdiaci zemný plyn pred frakcionáciou a chladiaci systém tiež skvapalňuje prúdiaci zemný plyn na PLNG

Obr. 5 je bloková schéma piateho uskutočnenia tohto vynálezu, v ktorom sa zemný plyn frakcionuje a potom skvapalňuje vo výmenníku tepla, ktorý je chladený druhým systémom chladenia s uzavretou slučkou, v ktorom sa ako chladivá využívajú ako viaczložková kvapalina, tak aj viaczložková para. Vyvarená para sa skvapalňuje len parou z viaczložkového systému chladenia.

Obr. 6 je bloková schéma šiesteho uskutočnenia tohto vynálezu, v ktorom sa zmiešava vyvarená para a privádzaný zemný plyn pred skvapalňovaním viaczložkovým systémom chladenia na výrobu PLNG.

Obr. 7 je bloková schéma siedmeho uskutočnenia tohto vynálezu, v ktorom sa privádzaný zemný plyn frakcionuje a potom skvapalňuje vo výmenníku tepla, ktorý je chladený druhým systémom chladenia s uzavretou slučkou, u ktorého sa využíva ako chladív ako viaczložkovej kvapaliny, tak aj viaczložkovej pary.

Obr. 8 je bloková schéma procesu s expandérom, využitého v uskutočneniach, znázornených na obr 2, 5, 6 a 7.

Obr. 9 je bloková schéma výhodného viaczložkového systému chladenia, využitého v uskutočneniach, znázornených na obr. 1, 2, 3, 4 a 6.

Obr.10 je bloková schéma výhodného viaczložkového systému chladenia, využitého v uskutočneniach, znázornených na obr. 5 a 7.

Blokové schémy, znázornené na obrázkoch, predstavujú rôzne uskutočnenia praktického využitia spôsobu podľa tohto vynálezu. Týmito obrázkami sa nezamýšľa vyčleniť z rozsahu ochrany vynálezu iné uskutočnenia, ktoré sú výsledkom normálnych a očakávaných modifikácií týchto špecifických uskutočnení. Rôzne potrebné subsystémy, ako čerpadlá, ventily, miešače prúdu, riadiace systémy a senzory, boli z obrázkov vypustené kvôli zjednodušeniu a jasnosti prezentácie.

Príklady uskutočnenia vynálezu

V tomto vynáleze sa využíva viaczložkový chladiaci systém na skvapalnenie zemného plynu na výrobu kvapalného produktu, bohatého na metán, s teplotou nad asi -112 ^{0}C (-170 ^{0}F) a tlakom, postačujúcim, aby kvapalný produkt bol na alebo pod svojím bodom tvorby bubliniek. Tento produkt, bohatý na metán, je niekedy nazývaný v tomto opise ako komprimovaný kvapalný zemný plyn

(PLNG). Termín „bod tvorby bubliniek" značí teplotu a tlak, pri ktorých sa kvapalina začína meniť na plyn. Napríklad, ak je určitý objem PLNG udržovaný na konštantnom tlaku, ale jeho teplota stúpa, je teplota, pri ktorej sa začínajú v PLNG tvoriť bublinky plynu, bod tvorby bubliniek. Podobne, ak určitý objem PLNG je udržovaný na konštantnej teplote, ale tlak sa znižuje, definuje tlak, pri ktorom sa začína tvoriť plyn, bod tvorby bubliniek. Pri bode tvorby bubliniek je zmes nasýtenou kvapalinou.

Využitie viaczložkového systému chladenia podľa tohto vynálezu vyžaduje menej energie na skvapalňovanie zemného plynu než viaczložkové spôsoby, využívané v minulosti a zariadenie, používané v spôsobe podľa tohto vynálezu, môže byť vyrobené z menej nákladných materiálov. Naopak doterajšie procesy, ktoré produkujú LNG pri atmosférických tlakoch, pri teplotách tak nízkych ako je -160 ^{0}C (-256 ^{0}F) vyžadujú, aby aspoň časť prevádzkového zariadenia bola kvôli bezpečnej práci vyrobená z nákladných materiálov.

Energia, potrebná v praxi na skvapalňovanie zemného plynu podľa tohto vynálezu je veľmi znížená oproti požiadavkám na energiu konvenčného závodu LNG. Zníženie potrebnej chladiacej energie požadovanej pre spôsob podľa tohto vynálezu, rezultuje do značného zníženia kapitálových nákladov, proporcionálne nižších prevádzkových nákladov a zvýšenej účinnosti a spoľahlivosti, a teda značného zvýšenia hospodárnosti výroby skvapalneného zemného plynu.

Pri prevádzkových tlakoch a teplotách podľa tohto vynálezu sa môže na čerpanie a vybavenie v najchladnejších prevádzkových oblastiach skvapalňovacieho procesu využívať oceľ s 3,5 % hmotn. obsahom niklu, avšak pre to isté zariadenie, používané v bežnom LNG procese je všeobecne požadovaná nákladnejšia oceľ s 9 % hmotn. obsahom niklu alebo hliníka. To poskytuje ďalšie významné zníženie nákladov v spôsobe podľa tohto vynálezu v porovnaní s doterajšími procesmi LNG.

Prvým zreteľom v kryogenickom spracovaní zemného plynu je kontaminácia. Zásoba privádzaného surového zemného plynu vhodného na spracovanie podľa tohto vynálezu môže zahrňovať zemný plyn, získaný zo zdroja surovej ro-

py (sprievodný plyn) alebo zo zdroja plynu (nesprievodný plyn). Zloženie zemného plynu sa môže výrazne líšiť. Tu využívaný prúd zemného plynu obsahuje metán (C_1) ako prevažujúcu zložku. Zemný plyn tiež bude typicky obsahovať etán (C_2), vyššie uhľovodíky (C_{3+}) a menšie množstvá kontaminantov ako vodu, oxid uhličitý, sírovodík, dusík, bután, uhľovodíky so šiestimi alebo viacerými atómami uhlíka, nečistotu, sírnik železa, vosk a surovú ropu. Rozpustnosti týchto kontaminantov sa menia s teplotou, tlakom a zložením. Pri kryogénnych teplotách môžu CO_2, voda a ostatné kontaminanty tvoriť pevné látky, ktoré môžu upchávať priechody prúdu v kryogénnych výmenníkoch tepla. Týmto potenciálnym ťažkostiam sa možno vyhnúť odstránením takých kontaminantov, ak sa dajú predvídať podmienky vnútri ich čistej zložky, teplotno-tlakové hranice v pevnej fáze. V ďalšom opise vynálezu sa predpokladá, že prúd zemného plynu bol vhodne spracovaný v tom zmysle, že boli odstránené sírniky a oxid uhličitý a bolo uskutočnené sušenie, aby sa odstránila voda použitím bežných a dobre známych postupov, aby sa vyprodukoval prúd „sladkého, suchého" zemného plynu. Ak obsahuje prúd zemného plynu ťažké uhľovodíky, ktoré by mohli počas skvapalňovania zamrznúť, alebo ak sú v PLNG ťažké uhľovodíky nežiaduce, môžu sa odstrániť frakcionačným procesom pred produkciou PLNG, ako je opísané podrobnejšie nižšie.

Jedna výhoda tohto vynálezu je, že vyššie prevádzkové teploty umožňujú, že zemný plyn môže obsahovať vyššie úrovne koncentrácie zložiek, ktoré môžu zamrznúť, než by bolo možné u bežného LNG procesu. Napríklad v konvenčnom LNG závode, ktorý produkuje LNG pri -160 ^{0}C (-256 ^{0}F) musí mať CO_2 koncentráciu nižšiu než asi 50 ppm, aby nedošlo k problémom so zamrznutím. Naopak pri udržovaní prevádzkových teplôt nad asi -112 ^{0}C (-170 ^{0}F) môže zemný plyn obsahovať CO_2 na vyšších úrovniach, okolo 1,4 mol % CO_2 pri teplotách -112 ^{0}C (-170 ^{0}F) a okolo 4,2 % pri -95 ^{0}C (-139 ^{0}F) bez spôsobenia problémov so zamŕzaním v procese skvapalňovania podľa tohto vynálezu.

Okrem toho nie je nutné odstrániť, v spôsobe podľa tohto vynálezu, mierne množstvá dusíka v zemnom plyne, pretože dusík zostane v kvapalnej fáze so skvapalnenými uhľovodíkmi pri prevádzkových tlakoch a teplotách podľa

tohto vynálezu Schopnosť redukovať, alebo v niektorých prípadoch vynechať, zariadenia, požadované na spracovanie plynu a odstránenie dusíka, keď to zloženie zemného plynu umožňuje, poskytuje významné technické a ekonomické výhody. Tieto a iné výhody vynálezu budú lepšie pochopené z diskusie k obrázkom.

K obr. 1: Prúd 10 privádzaného komprimovaného zemného plynu vstupuje výhodne do skvapalňovacieho procesu pri tlaku nad asi 1 724 kPa (250 psia) a ešte výhodnejšie nad asi 4 827 kPa (700 psia) a výhodne pri teplotách pod 40 ^{0}C (104 ^{0}F), môžu sa však použiť odlišné tlaky a teploty, ak je to požadované, a odborníci môžu, na základe poznatkov z tohto vynálezu, systém vhodným spôsobom modifikovať. Ak má prúd 10 plynu tlak pod asi 1 724 kPa (250 psia), môže sa komprimovať vhodnými kompresnými prostriedkami (neznázornené), ktoré môžu zahrňovať jeden alebo viacero kompresorov.

Prúd 10 privádzaného zemného plynu prichádza do prietokového chladiča 26, ktorý ochladí prúd zemného plynu niektorým z konvenčných systémov na teplotu pod asi 30 ^{0}C (86 ^{0}F). Chladenie sa výhodne uskutočňuje výmenou (odoberaním) tepla vzduchom alebo vodou. Ochladený prúd 11, vychádzajúci z prietokového chladiča 26, sa privádza do prvej chladiacej zóny 33a konvenčného viaczložkového výmenníka 33 tepla, ktorý je komerčne dostupný a je odborníkom dôverne známy. Tento vynález nie je obmedzený na niektorý typ výmenníka tepla, ale kvôli hospodárnosti sú výhodné ploché rebrové, špirálovo vinuté chladiče a chladiče na spôsob chladiaceho boxu. Výhodne sú všetky prúdy, obsahujúce obe fázy, ako kvapalnú, tak aj parnú, ktoré sú vháňané do výmenníkov tepla, rovnomerne rozdelené po ploche priečneho rezu vstupného otvoru. Na uskutočnenie tohto je výhodné vybaviť distribučné aparatúry jednotlivo, zvlášť pre parné a zvlášť pre kvapalné prúdy. Viacfázové toky prúdov môžu doplniť separátory ako potrebné na rozdelenie prúdov na prúdy kvapaliny a pary. Napríklad by sa mohli separátormi doplniť prúdy 18 a 24 z obr. 1 (takéto separátory nie sú znázornené na obr. 1), predtým ako prúdy 18 a 24 vstúpia do chladiacich zón 33a, 33b v ich vzájomnom poradí

Výmenník 33 tepla môže mať jednu alebo viac chladiacich zón, výhodne aspoň dve. Výmenník 33 tepla, nakreslený na obr.1 má dve chladiace zóny 33a a 33b. Prúd 11 zemného plynu sa skvapalňuje v chladiacej zóne 33a výmenou tepla s chladivom z viaczložkového chladiaceho systému 45, ktorý je v tomto opise uvádzaný ako MCR systém 45. Výhodné uskutočnenie MCR systému 45 je znázornené na obr. 9, ktorý je diskutovaný podrobnejšie dole. Chladivo v MCR systéme je vytvorené zo zmesi uhľovodíkov, ktoré môžu zahrnovať napríklad metán, etán, propán, butány a pentány. Výhodné chladivo má toto zloženie, vyjadrené v molárnych percentách: metán (25,8 %), etán (50,6 %), propán (1,1 %), izobután (8,6 %), n-bután (3,7 %), izopentán (9,0 %) a n-pentán (1,2 %). Koncentrácie MCR zložiek sa môžu nastaviť tak, aby charakteristiky chladenia a kondenzácie prúdiaceho plynu vyhoveli požiadavkám na chladenie, kryogenickú teplotu a tlak skvapalňovacieho procesu. Ako príklad teploty a tlaku, vhodných pre systém chladenia MCR s uzavretou slučkou, sa viaczložkové chladivo v linke 27 smeruje pri 345 kPa (50 psia) a 10 ^{0}C (50 ^{0}F) ku konvenčnej kompresii a konvenčnému chladeniu do MCR systému 45 na výrobu viaczložkového kvapalného prúdu 18, ktorý má tlak 1 207 kPa (175 psia) a teplotu 13,3 ^{0}C (56 ^{0}F). Prúd 18 sa chladí v chladiacej zóne 33a a ďalej v chladiacej zóne 33b za tvorby chladného prúdu 23, vychádzajúceho z chladiacej zóny 33b pri teplote -99 ^{0}C (-146 ^{0}F). Prúd 23 potom expanduje cez konvenčný Joule-Thomsonov ventil 46 za produkcie prúdu 24 pri 414 kPa (60 psia) a -108 ^{0}C (-162 ^{0}F). Prúd 24 sa potom ohrieva v chladiacej zóne 33b a ďalej v chladiacej zóne 33a za produkcie prúdu 27 pri 10 ^{0}C (50 ^{0}F) a 345 kPa (50 psia). Viaczložkové chladivo potom recirkuluje v chladiacom systéme s uzavretou slučkou. V skvapalňovacom procese, znázornenom na obr. 1 sa využíva v MCR systéme 45 na výrobu PLNG len systém chladenia s uzavretou slučkou.

Prúd 19 skvapalneného zemného plynu je PLNG pri teplote nad asi -112 ^{0}C (-170 ^{0}F) a tlaku, postačujúcom na to, aby kvapalný produkt bol na alebo pod teplotou svojho bodu tvorby bubliniek. Ak je tlak prúdu 19 vyšší ako tlak, potrebný na udržanie prúdu 10 v kvapalnej fáze, môže prúd 19 prípadne prechádzať jedným alebo viacerými expanznými prostriedkami, ako napríklad hydraulickou turbínou 34, za produkcie PLNG produktu pri nižšom tlaku, ale ešte stále s tep-

lotou nad asi -112 °C (-170 °F) a tlakom, postačujúcim na to, aby kvapalný produkt bol na alebo pod teplotou svojho bodu tvorby bubliniek. PLNG sa potom vháňa linkami 20 a 29 do vhodných prostriedkov 50 na skladovanie alebo transport, ako sú potrubia, stabilný skladovací tank alebo prepravník, ako loď na prepravu PLNG, nákladný automobil alebo železničná cisterna.

Pri skladovaní a transporte skvapalneného zemného plynu a pri manipulácii s ním sa môžu vyskytovať značné množstvá „vyvarenej" pary, vzniknutej odparovaním skvapalneného zemného plynu. Tento vynález je obzvlášť vhodný na skvapalňovanie vyvarenej pary, produkovanej PLNG. Spôsobom podľa tohto vynálezu sa môžu prípadne také vyvarené pary znovu skvapalniť. Podľa obr.1 sa privádza vyvarená para do procesu podľa vynálezu linkou 22. Prípadne časť prúdu 22 sa môže oddeliť a smerovať na prechod chladiacou zónou 33a na ohriatie oddeleného vyvareného plynu na neskoršie použitie ako palivo a zabezpečenie prídavného ochladzovania zóny 33a. Zostávajúca časť prúdu 22 prichádza do chladiacej zóny 33b, kde sa vyvarený plyn skvapalní. Skvapalnený zemný plyn vychádzajúci z chladiacej zóny 33b (prúd 28) sa čerpá čerpadlom 36 do hydraulickej turbíny na kompresiu PLNG, vychádzajúceho z hydraulickej turbíny 34 a potom sa spojí s prúdom 20 a vháňa do vhodných skladovacích prostriedkov 50.

Prúdy tekutín, vychádzajúce z hydraulickej turbíny 34 a čerpadla 36 prichádzajú výhodne do jedného alebo viacerých separátorov fáz (tieto separátory nie sú na obrázkoch znázornené), ktoré separujú skvapalnený zemný plyn od všetkého plynu, ktorý nebol v procese skvapalnený. Prevádzka takých separátorov je dobre známa priemerne odborne vzdelaným osobám. Skvapalnený plyn sa potom privádza do prostriedkov 50 na skladovanie PLNG, a plynná fáza zo separátora fáz sa môže využiť ako palivo alebo sa môže recyklovať do procesu skvapalňovania.

Obr. 2 znázorňuje iné uskutočnenie vynálezu, a na tomto a ostatných obrázkoch zodpovedajú v tomto opise rovnaké vzťahové značky rovnakým prevádzkovým funkciám. Odborníci, ktorí sa dobre vyznajú v odbore, môžu ovšem zistiť, že prevádzkové zariadenie sa od jedného uskutočnenia k druhému môže meniť vo veličinách a kapacitách pri zachádzaní s odlišnými rýchlosťami prieto-

ku tekutín, pri odlišných teplotách a zloženiach. S odkazom na obr. 2, prúd privádzaného zemného plynu vstupuje do systému linkou 10 a prechádza konvenčným prietokovým chladičom 26 do expanzného procesu 30, ktorý chladí prúd zemného plynu na teplotu, postačujúcu na kondenzáciu aspoň väčšej časti ťažších uhľovodíkov, tvoriacich zložky zemného plynu, ktoré sa nazývajú kvapaliny zemného plynu (natural gas liquids-NGL).

NGL zahrnuje etán, propán, bután, pentán, izopentán a pod. Pri tlakoch v rozsahu od 4 137 kPa (600 psia) do 7 585 kPa (1 100 psia) sú požadované teploty na uskutočnenie kondenzácie v rozmedzí od asi 0 ^{0}C (32 ^{0}F) do asi -60 ^{0}C (-76 ^{0}F). Výhodné uskutočnenie expanzného procesu 30 je znázornené na obr. 8, ktoré je podrobnejšie opísané nižšie.

Prúd 12 od dna expanzného procesu 30 prichádza do konvenčného frakcionačného zariadenia 35, ktorého bežná prevádzka je odborníkom známa. Frakcionačné zariadenie 35 môže zahrnovať jednu alebo viac frakcionačných kolón (neznázornených na obr. 2), ktoré separujú prúd 12 kvapaliny odo dna do vopred určených množstiev etánu, propánu, butánu, pentánu a hexánu. Frakcionačné zariadenie zahrnuje výhodne viacnásobné frakcionačné kolóny (neznázornené), ako kolónu odlučovača etánu, ktorá produkuje etán, kolónu odlučovača propánu, ktorá produkuje propán a kolónu odlučovača butánu, ktorá produkuje bután, z týchto zlúčenín môžu byť všetky využité ako prídavné chladivá pre viaczložkový systém 45 chladenia alebo pre iný vhodný systém chladenia. Prúdy prídavného chladiva sú spoločne znázornené na obr. 2 ako linka 15. Ak obsahuje prúd privádzaného plynu vysoké koncentrácie CO_2, je treba jeden alebo viac prúdov 15 prídavných chladív podrobiť spracovaniu na odstránenie CO_2, aby sa predišlo potenciálnym problémom s upchávaním v chladiacom zariadení. Frakcionačné zariadenie 35 bude výhodne zahrnovať proces odstraňovania CO_2, keby koncentrácia CO_2 v chladiacom prúde mala ináč presiahnuť 3 molárne percentá. Kvapaliny sa z frakcionačného zariadenia 35 získavajú ako kondenzačné produkty, ktoré sú spoločne zakreslené na obr. 2 ako prúd 14. Prúdy z hornej časti frakcionačných kolón frakcionačného zariadenia 35 sú bohaté na etán a ostatné ľahké uhľovodíky, ktoré sú spoločne znázornené na obr. 2 ako prúd 13.

Prúd 16, bohatý na metán, z odlučovača 30 metánu sa spojuje s prúdom 13, bohatým na etán, a prichádza ako prúd 17 do chladiacej zóny 33a so zmiešaným chladivom a na skvapalnenie zemného plynu. Chladenie chladiacej zóny 33a sa zabezpečuje konvenčným viaczložkovým chladiacim systémom 45 opísaným podrobnejšie vyššie s prihliadnutím k opisu MCR systému na obr. 1. Hoci chladivá MCR cirkulujú v systéme s uzavretou slučkou, ak chladivá unikajú zo systému trhlinami, môžu sa získať prídavné chladivá z frakcionačného zariadenia 35 (linka 15). V procese skvapalňovania, znázornenom na obr. 2, je viaczložkový systém 45 chladenia len systém chladenia s uzavretou slučkou, používaný na skvapalňovanie prúdu 10 privádzaného zemného plynu.

Prúd 19 skvapalneného zemného plynu, vychádzajúci z chladiacej zóny 33a zo zmiešaným chladivom, prechádza hydraulickou turbínou 34 na zníženie tlaku tekutiny za produkcie PLNG pri teplote nad asi -112 ^{0}C (-170 ^{0}F) a tlaku postačujúceho na to, aby PLNG bol na alebo pod svojim bodom tvorby bubliniek. Hlavnou výhodou tohto uskutočnenia je, že odstránenie ťažkých uhľovodíkov je možné v zariadení na expanziu a s chladivá môžu byť zostavené vo frakcionačnom zariadení 35.

Obr. 3 znázorňuje iné uskutočnenie tohto vynálezu, pri ktorom sa používa jednozložkový systém chladenia s uzavretou slučkou na predbežné chladenie prúdu 10 zemného plynu pred skvapalnením na PLNG. Proces, znázornený na obr. 3 je podobný procesu, znázornenému na obr. 2 s výnimkou toho, že systém 40 chladenia s uzavretým cyklom sa používa na zaistenie aspoň časti chladenia pre chladič 26 napájania a na zaistenie chladenia výmenníka 60 tepla. Prúd 11, opúšťajúci chladič 26 napájania, prichádza priamo do konvenčného odlučovača 80 metánu bez potreby expanzného procesu 30, ktorý sa využíva v procese podľa obr. 2. Systém 40 chladenia môže byť konvenčný systém chladenia s uzavretou slučkou s chladivami: propánom, propylénom, etánom, oxidom uhličitým alebo s niektorou inou vhodnou kvapalinou ako chladivom.

Na obr. 3 sa kvapalné chladivo v linke 18a z MCR systému 45 môže prípadne chladiť vo výmenníku 70 tepla chladivom v prúde 27, ktorý sa vracia do MCR systému 45 z výmenníka 33 tepla. Prúd 18a sa môže ďalej chladiť vo vý-

menníku 60 tepla chladivom zo systému 40 chladenia, ktorý má prúd 51 kvapalného chladiva, cirkulujúci medzi systémom 40 chladenia a výmenníkom 60 tepla. V tomto uskutočnení sa pohybuje významná časť požiadaviek na chladenie smerom ku konvenčnému systému 40 chladenia s čistou zložkou a uzavretou slučkou, ako je propánový systém Hoci sú požadované prídavné výmenníky tepla, nároky na rozmery a náklady na výmenníky 33 tepla sa znížia.

Obr. 4 znázorňuje iné uskutočnenie vynálezu, v ktorom viaczložkový chladiaci systém 33 s uzavretou slučkou predbežne chladí prúd privádzaného zemného plynu pred frakcionáciou a chladiaci systém tiež skvapalňuje prúd zemného plynu na výrobu PLNG. Prúd privádzaného zemného plynu vstupuje do systému linkou 10 a prechádza prietokovým chladičom 26, ktorý chladí a môže čiastočne skvapalňovať zemný plyn. Zemný plyn potom prechádza linkou 11 do prvej chladiacej zóny 33a viaczložkového výmenníka 33 tepla. Výmenník 33 tepla v tomto uskutočnení má tri chladiace zóny (33a, 33b a 33c). Druhá chladiaca zóna 33b je umiestnená medzi prvou chladiacou zónou 33a a treťou chladiacou zónou 33c a pracuje pri nižšej teplote ako prvá chladiaca zóna a pri vyššej teplote ako tretia chladiaca zóna.

Čiastočne skvapalnený zemný plyn vychádza z prvej chladiacej zóny 33a a prechádza linkou 11 do odlučovača 80 metánu. Odlučovač 80 metánu frakcionuje zemný plyn a produkuje z hornej časti prúd 16, bohatý na metán a prúd 12 odo dna. Prúd 12 odo dna prichádza do frakcionačného zariadenia 35, ktoré je podobné tomu, ktoré je uvedené vyššie v opise k obr. 2.

Prúd 16, obohatený metánom z odlučovača 80 metánu a prúd 13 produktu z frakcionačného zariadenia 35 sa spájajú a prichádzajú ako prúd 17 do druhej chladiacej zóny 33b výmenníka 33 tepla. Prúd 19, vychádzajúci z druhej chladiacej zóny 33b prechádza jedným alebo viacerými expanznými prostriedkami, ako napr. hydraulickou turbínou 34. Hydraulická turbína 34 produkuje chladný, expandovaný prúd 20 (PLNG), ktorý sa privádza do skladovacích prostriedkov 50 pri teplote nad asi -112 ^{0}C (-170 ^{0}F) a pri tlaku, postačujúcom na to, aby kvapalný produkt bol na alebo pod svojim bodom tvorby bubliniek.

Vyvarený plyn, rezultujúci z vyparovania skvapalneného zemného plynu vnútri skladovacej nádrže počas transportu alebo pri nakladaní sa môže prípadne privádzať linkou 22 do tretej chladiacej zóny 33c, v ktorej sa vyvarený plyn skvapalní. Prípadne sa časť vyvareného plynu môže nechať prejsť druhou chladiacou zónou 33b na ohriatie vyvareného plynu predtým než sa využije ako palivo (prúd 38). Skvapalnený zemný plyn, vychádzajúci z chladiacej zóny 33c, sa čerpá čerpadlom 36 ku kompresii PLNG do prúdu 20 a potom sa ženie do skladovacích prostriedkov 50.

Uskutočnenie podľa obr. 4 umožňuje odstránenie ťažkých uhľovodíkov a zloženie chladiva bez znateľného poklesu tlaku, ako je požadované v uskutočnení podľa obr. 2 alebo prídavný systém chladenia ako v uskutočnení podľa obr. 3.

Obr. 5 znázorňuje ešte iné uskutočnenie tohto vynálezu, v ktorom sa privádzaný zemný plyn chladí prietokovým chladičom 26 a zemný plyn sa skvapalňuje vo výmenníku 33 tepla, ktorý je chladený chladiacim systémom 45 s uzavretou slučkou, v ktorom sa využíva ako chladivo jednak viaczložková kvapalina, jednak viaczložková para. To umožňuje skvapalnenie vyvarenej pary z tanku len s viaczložkovou parou. Toto uskutočnenie je podobné uskutočneniu, opísanému na obr. 2 s výnimkou prevádzkovania viaczložkového systému 33 výmenníku tepla. Výhodné uskutočnenie MCR systému 45, v ktorom sa využíva chladivo jednak v podobe kvapaliny, jednak v podobe pary, je znázornené na obr. 10, čo je podrobnejšie diskutované nižšie.

K obr. 5: Privádzaný prúd zemného plynu vstupuje do systému linkou 10 a prechádza prietokovým chladičom 26, ktorý zahrnuje jeden alebo viac výmenníkov tepla ktoré čiastočne skvapalňujú zemný plyn. V tomto uskutočnení sa chladenie výhodne uskutočňuje výmenou tepla vzduchom alebo vodou. Prietokový chladič 26 je prípadne chladený konvenčným chladiacim systémom 40 s uzavretou slučkou, kde je ochladzujúcim chladivom propán, propylén, etán, oxid uhličitý alebo niektoré iné vhodné chladivo.

Ako príklad teploty a tlaku, vhodných pre systém 45 MCR s uzavretou slučkou vykreslený na obr. 5 je viaczložkové chladivo v linke 27 smerované pri tlaku 345 kPa (50 psia) a 10 °C (50 °F) na konvenčnú kompresiu a chladenie v MCR systéme 45 na výrobu prúdu 18 viaczložkovej kvapaliny a prúdu 21 viaczložkovej pary, z ktorých každá má tlak 1 207 kPa (175 psia) a teplotu 13,3 °C (56 °F). Prúd 21 pary sa ďalej chladí v chladiacej zóne 33a a ešte ďalej sa chladí v chladiacej zóne 33b za produkcie chladného prúdu 23, vychádzajúceho z chladiacej zóny 33b pri teplote -99 °C (-146 °F). Prúd 23 potom expanduje cez konvenčný Joule-Thomsonov ventil 46 na výrobu prúdu 24 pri tlaku 414 kPa (60 psia) a teplote -108 °C (-162 °F) Prúd 24 sa potom ohrieva v chladiacej zóne 33b a ďalej ohrieva v chladiacej zóne 33a za vytvorenia prúdu 27 pri teplote 10 °C (50 °F) a tlaku 345 kPa (50 psia). Prúd 18 sa chladí v chladiacej zóne 33a a potom expanduje cez konvenčný Joule-Thomsonov ventil 47. Expandovaná tekutina vychádzajúca z expanzného ventilu 47 sa spája s prúdom 25 a recirkuluje. Toto uskutočnenie má výhodu, že sa vyvarená para skvapalňuje s využitím iba MCR pary.

Obr. 6 znázorňuje ešte iné uskutočnenie tohto vynálezu, ktoré je podobné uskutočneniu, znázornenému na obr. 2 s výnimkou, že viaczložkový výmenník 33 tepla má len jednu chladiacu zónu (33a) a vyvarená para sa mieša s prúdmi 16 a 13 zemného plynu namiesto toho, aby sa skvapalňovali v oddelenej chladiacej zóne výmenníka 33 tepla. Vyvarená para 22 prechádza najprv chladiacou zónou 33a na zaistenie chladenia teplých prúdov 17 a 18, ktoré prechádzajú výmenníkom 33a tepla. Po opustení chladiacej zóny 33a sa môže časť prúdu 22 prípadne oddeliť (prúd 38) ako palivo na zaisťovanie energie pre zariadenie PLNG. Druhá časť prúdu 22 prichádza do kompresora 39 ku kompresii vyvareného plynu na tlak približný tlaku prúdu 17 plynu. Vyvarený plyn (prúd 32) vychádzajúci z kompresora 39 sa potom spojuje s prúdom 17. Toto uskutočnenie nevyžaduje žiadne miešanie kryogenických kvapalín a môže byť prevádzkovo jednoduchšie ako uskutočnenie, znázornené na obr. 2.

Obr. 7 znázorňuje ešte iné uskutočnenie tohto vynálezu, v ktorom sa privádzaný plyn chladí prietokovým chladičom 26 a zemný plyn sa skvapalňuje vo

viaczložkovom výmenníku 33 tepla, ktorý sa chladí chladiacim systémom 45 s uzavretou slučkou, v ktorom sa ako chladivo využíva jednak viaczložková kvapalina, (prúd 18) jednak viaczložková para (prúd 21). Postup výroby na tomto obr 7 je podobný prevádzke spôsobu, zobrazenému na obr. 5 s výnimkou toho, že aspoň časť vyvareného plynu 22 sa komprimuje kompresorom 39 na približný tlak prúdu 16 plynu a komprimovaný vyvarený prúd 32 sa spojuje s prúdom 16 zemného plynu Prúd 17, obsahujúci pary z procesu 30 expanzie, pary z frakcionačného zariadenia 35 a vyvarené pary od prúdu 32 potom prechádza chladiacimi zónami 33a a 33b výmenníka 33 tepla na skvapalnenie prúdu 17 na výrobu PLNG (prúd 19). S odkazom na obr. 7, časť prúdu 22 sa výhodne oddelí a prechádza chladiacimi zónami 33b a 33a a vychádza z výmenníka 33 (prúd 38) na použitie ako palivo.

Výhodný proces 30 expanzie na použitie v praxi uskutočnenia podľa obr. 2, 5, 6 a 7 je znázornený na obr 8. K obr. 8: Prúd 11 plynu sa rozdeľuje medzi dva separátne prúdy 100 a 101. Prúd 100 plynu sa chladí vo výmenníku 102 tepla chladným reziduálnym plynom v linke 104. Prúd 101 sa chladí postranným prevarovacím výmenníkom 105 tepla, ktorým kvapalina, zbavená metánu odteká z kolóny 130 odlučovača metánu. Chladené prúdy 100 a 101 sa znovu zmiešajú a spojený prúd 103 prichádza do konvenčného separátora 106 fáz. Separátor 106 rozdeľuje prúd 103 na prúd 107 kvapaliny a prúd 108 pary. Prúd 108 pary expanduje, napríklad turboexpandérom 109, na zníženie svojho tlaku. Táto expanzia ďalej plyn ochladí predtým ako sa privedie do hornej oblasti kolóny 80 odlučovača metánu. Kondenzovaný prúd 107 kvapaliny prechádza Joule-Thomsonovým ventilom 110 na expanziu a ďalšie chladenie prúdu 107 kvapaliny predtým, ako pritečie do kolóny 80 odlučovača metánu.

Reziduálny plyn z hornej časti kolóny 80 odlučovača metánu sa zavádza do výmenníka 102 tepla a prechádza kompresorom 111, ktorý je poháňaný aspoň sčasti expandérom 109. Komprimovaný prúd 16, bohatý na metán, opúšťajúci proces 30 expanzie, sa ďalej spracováva v súlade s praxou tohto vynálezu. Odlučovač metánu produkuje pri dne prúd 12, ktorý je tvorený prevažne kvapalinami zemného plynu (NGL), predovšetkým etánom, propánom, butánom, pentánom a

ťažšími uhľovodíkmi. Ďalšie príklady expanzného procesu 30, vhodného na využitie tohto vynálezu v praxi, sú opísané v U.S. patente 4 698 081 a v Gas Conditioning and Processing, Volume 3 z Advanced Techniques and Applications, John M. Campbell and Co., Tulsa, Oklahoma (1982).

Obr. 9 znázorňuje blokovú schému výhodného MCR systému 45 na využitie v uskutočneniach, znázornených na obr. 1, 2, 3, 4 a 6. K obr. 9: Prúd 27 priteká do konvenčného kompresora 150 na kompresiu chladiva. Z kompresora 150 sa komprimovaný prúd 151 chladí prechodom konvenčným chladičom 152, či už vzduchovým alebo vodným chladičom predtým ako prúd 151 vstupuje do konvenčného separátora 153 fáz. Para zo separátora 153 fáz prichádza ako prúd 154 do kompresora 155. Komprimovaná para chladiva (prúd 156) z kompresora 155 sa chladí konvenčným chladičom 157 za produkcie chladeného prúdu 18 chladiva. Prúd 158 kvapaliny zo separátora 152 fáz sa čerpá čerpadlom 159 na približne rovnaký tlak ako je výstupný tlak kompresora 155. Komprimovaná kvapalina z čerpadla 159 (prúd 160) sa spojuje s prúdom 156 predtým ako je chladený chladičom 157.

Obr. 10 je bloková schéma výhodného MCR systému 45 na využitie v uskutočneniach znázornených na obr. 5 a 7. MCR systém, znázornený na obr. 10, je podobný MCR systému 45 z obr. 9, s výnimkou, že potom, čo sa kvapalný prúd 160 chladiva a prúd 156 pary spoja a chladia chladičom 157 chladený prúd z chladiča 157 prichádza do konvenčného separátora 161 fáz. Para vychádzajúca zo separátora 161 sa stáva prúdom 21 pary a kvapalina, vychádzajúca zo separátora 161 fáz sa stáva prúdom 18 kvapaliny.

Príklady

Na ilustráciu uskutočnení, znázornených na obrázkoch bola vykonaná simulovaná hmotne energetická bilancia a výsledky sú uvedené nižšie v tabuľkách 1 až 7. Údaje prezentované dolu v tabuľkách umožňujú lepšie pochopenie uskutočnení, vyobrazených na obr. 1 až 7, ale vynález nemusí byť konštruovaný ako nevyhnutne nimi obmedzený. Teploty a rýchlosti prietoku, uvedené v tabuľkách, nemajú obmedzovať vynález, ktorý môže mať veľa obmien v teplotách a rýchlo-

stiach prietoku z pohľadu poučení, obsiahnutých v tomto vynáleze. Tabuľky zodpovedajú obrázkom takto Tabuľka 1 zodpovedá obr. 1, tabuľka 2 zodpovedá obr. 2, tabuľka 3 zodpovedá obr 3, tabuľka 4 zodpovedá obr. 4, tabuľka 5 zodpovedá obr. 5, tabuľka 6 zodpovedá obr. 6 a tabuľka 7 zodpovedá obr 7.

Údaje boli získané využitím komerčne dostupného programu simulácie procesov, nazývaného HYSYS™, aj keď sa dajú použiť iné komerčne dostupné simulačné programy k vývoju údajov, vrátane napríklad HYSIM™, PROII™ a ASPEN PLUS™, ktoré sú odborníkom všetky dôverne známe z doterajšieho stavu techniky.

Údaje uvedené v tabuľke 3, predpokladajú, že uskutočnenie, znázornené na obr. 3, bolo vybavené na chladenie privádzaného prúdu 10 propánovým systémom 40 chladenia.

Pri použití základnej blokovej schémy znázornenej na obr. 3 a s použitím prúdu privádzaného plynu toho istého zloženia a teploty bol celkový inštalovaný príkon na výrobu konvenčného LNG pri tlaku, blízkom atmosférickému a teplote -160 °C (-256 °F) viac než dvojnásobný oproti celkovému inštalovanému príkonu, požadovanému na produkciu PLNG, pri využití uskutočnenia, znázorneného na obr. 3: 185 680 kW (249 000 hp) na produkciu LNG verzus 89 040 kW (119 400 hp) na produkciu PLNG. Toto porovnanie bolo urobené s použitím procesného simulátora HYSYS™.

Odborník, ktorý pozná doterajší stav techniky, zvlášť, ak je poučený o výhodách tohto vynálezu, objaví mnohé modifikácie a variácie vyššie diskutovaných špecifických procesov. Napríklad sa môže v súlade s týmto vynálezom využiť rozmanitosť teplôt a tlakov v závislosti od celkovej konštrukcie systému a zloženia privádzaného plynu. Tiež súbor chladenia privádzaného plynu môže byť doplnený alebo prekonfigurovaný v závislosti od požiadaviek na celkovú konštrukciu na dosiahnutie optimálnych a efektívnych podmienok výmeny tepla. Ako je vyššie diskutované, nemajú špecifické, uvedené uskutočnenia a príklady limitovať alebo obmedzovať predmet ochrany vynálezu, ktorý je nižšie určený patentovými nárokmi a ich ekvivalentami

Tabuľka 1

Prúd	Fáza	Tlak		Teplota		Rýchl. prietoku		Zloženie, mol %				
	Para/ Kvapal.	kPa	psia	°C	°F	kgmol/ hod	lbmol/ hod	C_1	C_2	C_{3+}	CO_2	N_2
10	P	5,571	808	21.1	70	7172	15,813	84.06	6.87	8.6	0.18	0.29
11	P	5,502	798	13.3	56	7172	15,813	84.06	6.87	8.6	0.18	0.29
18	P/K	2,068	300	13.3	56	9613	21,193	20	46	34	0	0
19	K	5,295	768	-93.9	-137	7172	15,813	84.06	6.87	8.6	0.18	0.29
20	K	2,586	375	-95.6	-140	7172	15,813	84.06	6.87	8.6	0.18	0.29
22	P	2,586	375	-94.4	-138	797	1,757	98	0.68	0.09	0.05	1.18
23	K	1,793	260	-103.3	-154	9613	21,193	20	46	34	0	0
24	P/K	414	60	-106.1	-159	9613	21,193	20	46	34	0	0
25	P/K	379	55	-99.4	-147	9613	21,193	20	46	34	0	0
27	P	345	50	11.1	52	9613	21,193	20	46	34	0	0
28	K	2,448	355	-103.3	-154	428	944	98	0.68	0.09	0.05	1.18
29	K	2,586	375	-95.6	-140	7620	16,801	84.85	6.52	8.11	0.18	0.34
38	P	2,517	365	11.1	52	384	846	98	0.68	0.09	0.05	1.18

Tabuľka 1 - pokračovanie

Príkon

	Príkon hp	Príkon kW
Kompresory		
Kompresory MCR chladiaceho systému 45		
Stupeň 1	13,800	10,291
Stupeň 2	4,700	3,505
Expandér		
Expandér 34	–270	–201
Čerpadlá		
Čerpadlo 36	2	1
Čerpadlo MCR chladiaceho systému 45	110	82
Čistý príkon	18,300	13,647
Celkom inštalované	18,900	14,094

Tabuľka 2

	Fáza	Tlak		Teplota		Rýchl. prietoku		Zloženie, mol %				
Prúd	Para/ Kvapal.	kPa	psia	°C	°F	kgmol/ hod	lbmol/ hod	C_1	C_2	C_{3+}	CO_2	N_2
10	P/K	5,585	810	21.1	70	36,707	80,929	92.6	3.9	2.48	0.98	0.04
11	P/K	5,516	800	4.4	40	36,707	80,929	92.6	3.9	2.48	0.98	0.04
12	K	4,757	690	206.7	404	682	1,504	3.97	9.54	85.44	1.05	0
13	P/K	5,019	728	62.2	144	115	253	11.21	32.57	53.25	2.97	0
14	K	138	20	26.7	80	508	1,120	0	0	100	0	0
15	P/K	3,378	490	13.3	56	55	121	25.81	50.63	23.56	0	0
16	P	5,019	728	5.0	41	36,010	79,392	94.27	3.79	0.92		
17	P	5,019	728	4.4	40	36,159	79,721	94.02	3 88	1.08	0.98	0.04
18	P/K	2,068	300	13.3	56	52,048	114,750	25.81	50.63	23.56	0	0
19	K	4,813	698	-93.3	-136	36,159	79,721	94.02	3 88	1.08	0.98	0 04
20	K	2,861	415	-95.6	-140	36,159	79,721	94.02	3.88	1.08	0.98	0.04
22	P	2,827	410	-90.0	-130	2,988	6,589	99.11	0.46	0.01	0.28	0.14
23	K	1,793	260	-99.4	-147	52,048	114,750	25.81	50.63	23.56	0	0
24	P/K	414	60	-108.3	-163	52,048	114,750	25.81	50.63	23.56	0	0
25	P/K	379	55	-104.4	-156	52,048	114,750	25.81	50.63	23.56	0	0
27	P	345	50	10.0	50	52,048	114,750	25.81	50.63	23.56	0	0
28	K	2,689	390	-99.4	-147	1,584	3,492	99.11	0.46	0.01	0.28	0.14
29	K	2,861	415	-95.6	-140	37,703	83,125	94.23	3.74	1.03	0.96	0.04
38	P	2,758	400	10.0	50	1,410	3,108	99.11	0.46	0.01	0.28	0.14

Tabuľka 2 - pokračovanie

Príkon

	Príkon hp	Príkon kW
Kompresory		
Kompresor expanzného procesu 30	2,300	1,715
Kompresory MCR chladiaceho systému 45		
Stupeň 1	75,000	55,928
Stupeň 2	28,000	20,880
Rekompresor frakcionač. zariadenia 35	10	7
Expandéry		
Expandér expanzného procesu 30	−2,300	−1,715
Expandér 34	−1,050	−783
Čerpadlá		
Čerpadlo 36	10	7
Čerpadlo MCR chladiaceho systému 45	480	358
Čerpadlo produktu frakcionač. zariadenia 35	20	15
Čistý príkon	102,500	76,435
Celkom inštalované	109,200	81,432

Tabuľka 3

	Fáza	Tlak		Teplota		Rýchl. prietoku		Zloženie, mol %				
Prúd	Para/ Kvapal.	kPa	psia	°C	°F	kgmol/ hod	lbmol/ hod	C_1	C_2	C_{3+}	CO_2	N_2
10	P/K	5,516	800	4.4	40	36,707	80,929	92.6	3.9	2.48	0.98	0 04
11	P/K	5,378	780	-34.4	-30	36,707	80,929	92.6	3.9	2.48	0.98	0.04
12	K	5,378	780	187 8	370	817	1,801	5.43	13 04	80.05	1 48	0
13	P/K	5,295	768	61.7	143	169	373	12.33	33.85	50 47	3 35	0
14	K	138	20	26.7	80	548	1,208	0	0	100	0	0
15	P/K	3,378	490	13.3	56	90	198	26.05	54 69	19 26	0	0
16	P	5,295	768	-34.4	-30	35,910	79,172	94.58	3.69	0 72	0.97	0.04
17	P/K	5,295	768	-33.9	-29	36,060	79,502	94.2	3.83	0.95	0 98	0.04
18	P/K	2,586	375	-34.4	-30	26,995	59,517	25	75	0	0	0
18a	P	2,723	395	13.3	56	26,995	59,517	25	75	0	0	0
19	K	5,088	738	-92.8	-135	36,060	79,502	94 2	3.83	0.95	0 98	0.04
20	K	2,861	415	-95.6	-140	36,060	79,502	94.2	3.83	0.95	0.98	0 04
22	P	2,827	410	-90.0	-130	2988	6,589	99.11	0.46	0.01	0.28	0 14
23	K	2,310	335	-99.4	-147	26,995	59,517	25	75	0	0	0
24	P/K	414	60	-107.8	-162	26,995	59,517	25	75	0	0	0
25	P/K	379	55	-103.3	-154	26,995	59,517	25	75	0	0	0
27	P	345	50	-35.6	-32	26,995	59,517	25	75	0	0	0
27a	P	276	40	7.8	46	26,995	59,517	25	75	0	0	0
28	K	2,689	390	-99.4	-147	1429	3,152	99.11	0.46	0.01	0.28	0 14
29	K	2,861	415	-95.6	-140	37,504	82,686	94.38	3.7	0.93	0.95	0 04
38	P	2,758	400	-35.6	-32	1,559	3,437	99.11	0.46	0 01	0 28	0.14

Tabuľka 3 - pokračovanie

Príkon

	Príkon hp	Príkon kW
Kompresory		
Kompresor chladiaceho systému 40		
Stupeň 1	14,600	10,887
Stupeň 2	29,700	22,148
Kompresory MCR chladiaceho systému 45		
Stupeň 1	52,700	39,299
Stupeň 2	21,100	15,735
Rekompresor frakcionač. zariadenia 35	20	15
Expandér		
Expandér 34	-1,200	-895
Čerpadlá		
Čerpadlo 36	10	7
Čerpadlo produktu frakcionač.zariadenia 35	25	19
Čistý príkon	117,000	87,248
Celkom inštalované	119,400	89,038

Tabuľka 4

Prúd	Fáza	Tlak		Teplota		Rýchl. prietoku		Zloženie, mol %				
	Para/ Kvapal.	kPa	psia	°C	°F	kgmol/ hod	lbmol/ hod	C_1	C_2	C_{3+}	CO_2	N_2
10	P/K	5,585	810	21.1	70	36,707	80,929	92.6	3.9	2.48	0.98	0.04
11	P/K	5,516	800	4.4	40	36,707	80,929	92.6	3.9	2.48	0.98	0.04
11a	P/K	5,378	780	–34.4	–30	36,707	80,929	92.6	3.9	2.48	0.98	0.04
12	K	5,378	780	187.8	370	817	1,801	5.43	13.04	80.05	1.48	0
13	P/K	5,295	768	61.7	143	169	373	12.33	33.85	50.47	3.35	0
14	K	138	20	26.7	80	548	1,208	0	0	100	0	0
15	P/K	3,378	490	13.3	56	90	198	26.05	54 69	19.26	0	0
16	P	5,295	768	–34.4	–30	35,910	79,172	94.58	3.69	0.72	0 97	0.04
18	P/K	2,758	400	13.3	56	43,331	95,534	26.25	50.5	23.25	0	0
19	K	5,088	738	–92.8	–135	36,060	79,502	94.2	3.83	0 95	0.98	0.04
20	K	2,861	415	–95.6	–140	36,060	79,502	94.2	3.83	0.95	0.98	0.04
22	P	2,827	410	–90.0	–130	2,988	6,589	99.11	0.46	0.01	0.28	0.14
23	K	2,275	330	–99.4	–147	43,331	95,534	26.25	50.5	23.25	0	0
24	P/K	414	60	–108.3	–163	43,331	95,534	26.25	50.5	23.25	0	0
25	P/K	379	55	–104.4	–156	43,331	95,534	26.25	50.5	23.25	0	0
27	P	310	45	11.7	53	43,331	95,534	26.25	50.5	23.25	0	0
28	K	2,689	390	–99.4	–147	1,584	3,492	99.11	0.46	0.01	0.28	0.14
29	K	2,861	415	–95.6	–140	37,654	83,016	94.4	3.69	0.92	0.95	0.04
38	P	2,758	400	–41.1	–42	1,405	3,097	99.11	0.46	0.01	0.28	0.14

Tabuľka 4 - pokračovanie

Príkon

	Príkon hp	Príkon kW
Kompresory		
Kompresory MCR chladiaceho systému 45		
Stupeň 1	70,500	52573
Stupeň 2	31,900	23,788
Rekompresor frakcionačného zariadenia 35	20	15
Expandér		
Expandér 34	–1,200	–895
Čerpadlá		
Čerpadlo 36	10	7
Čerpadlo MCR chladiaceho systému 45	670	500
Čerpadlo produktu frakcionač. zariadenia 35	25	19
Čistý príkon	101,900	75,988
Celkom inštalované	104,300	77,778

Tabuľka 5

Prúd	Fáza	Tlak		Teplota		Rýchlosť prietoku		Zloženie, mol %				
	Para/ Kvapal.	kPa	psia	°C	°F	kgmol/ hod	lbmol/ hod	C_1	C_2	C_{3+}	CO_2	N_2
10	P/K	5,585	810	21.1	70	36,707	80,929	92.6	3.9	2.48	0.98	0.04
11	P/K	5,516	800	4.4	40	36,707	80,929	92.6	3.9	2.48	0.98	0.04
12	K	4,757	690	206.7	404	682	1,504	3.97	9.54	85.44	1.05	0
13	P/K	5,019	728	62.2	144	115	253	11.21	32.57	53.25	2.97	0
14	K	138	20	26.7	80	508	1,120	0	0	100	0	0
15	P/K	3,378	490	13.3	56	55	121	25.81	50.63	23.56	0	0
16	P	5,019	728	5.0	41	36,010	79,392	94.27	3.79	0.92	0.98	0.04
17	P	5,019	728	4.4	40	36,159	79,721	94.02	3.88	1.08	0.98	0.04
18	K	2,068	300	17.8	64	18,827	41,508	4.81	37.97	57.22	0	0
19	K	4,813	698	-93.3	-136	36,159	79,721	94.02	3.88	1.08	0.98	0.04
20	K	2,861	415	-95.6	-140	36,159	79,721	94.02	3.88	1.08	0.98	0.04
21	P	2,068	300	17.8	64	40,343	88,945	33.69	57.67	8.64	0	0
22	P	2,827	410	-90.0	-130	2,988	6,589	99.11	0.46	0.01	0.28	0.14
23	K	1,793	260	-99.4	-147	40,343	88,945	33.69	57.67	8.64	0	0
24	P/K	414	60	-113.9	-173	40,343	88,945	33.69	57.67	8.64	0	0
25	P/K	379	55	-110.6	-167	40,343	88,945	33.69	57.67	8.64	0	0
27	P	345	50	9.4	49	59,170	130,453	24.5	51.4	24.1	0	0
28	K	2,689	390	-99.4	-147	1,434	3,163	99.11	0.46	0.01	0.28	0.14
29	K	2,861	415	-95.6	-140	37,554	82,796	94.21	3.75	1.04	0.96	
38	P	2,758	400	9.4	49	1,559	3,437	99.11	0.46	0.01	0.28	0.14

Tabuľka 5 - pokračovanie

Príkon

	Príkon hp	Príkon kW
Kompresory		
Kompresor expanzného procesu 30	2,300	0
Kompresory MCR chladiaceho systému 45		
Stupeň 1	84,900	63,311
Stupeň 2	31,800	23,714
Rekompresor frakcionačného zariadenia 35	10	7
Expandéry		2
Expandér expanzného procesu 30	–2,300	–1,715
Expandér 34	–1,050	–783
Čerpadlá		0
Čerpadlo 36	10	7
Čerpadlo MCR chladiaceho systému 45	500	373
Čerpadlo produktu frakcionačného zariadenia 35	20	15
Čistý príkon	116,200	86,652
Celkom inštalované	122,900	91,648

Tabuľka 6

Prúd	Fáza	Tlak		Teplota		Rýchlosť prietoku		Zloženie, mol %				
	Para/ Kvapal.	kPa	psia	°C	°F	kgmol/ hod	lbmol/ hod	C_1	C_2	C_{3+}	CO_2	N_2
10	P/K	5,585	810	21.1	70	36,707	80,929	92.6	3.9	2.48	0.98	0.04
11	P/K	5,516	800	4.4	40	36,707	80,929	92.6	3.9	2.48	0.98	0.04
12	K	4,757	690	206.7	404	682	1,504	3.97	9.54	85.44	1.05	0
13	P/K	5,019	728	62.2	144	115	253	11.21	32.57	53.25	2.97	0
14	K	138	20	26.7	80	508	1,120	0	0	100	0	0
15	P/K	3,378	490	13.3	56	55	121	25.81	50.63	23.56	0	0
16	P	5,019	728	5.0	41	36,010	79,392	94.27	3.79	0.92	0.98	0.04
17	P	5,019	728	6.7	44	37,753	83,235	94.23	3.74	1.04	0.95	0.04
18	P/K	2,068	300	13.3	56	53,343	117,606	26	50	24	0	0
19	K	4,813	698	-93.3	-136	37,753	83,235	94.23	3 74	1.04	0.95	0 04
20	K	2,861	415	-95.6	-140	37,753	83,235	94.23	3.74	1.04	0.95	0.04
22	P	2,827	410	-90.0	-130	2,988	6,589	99.11	0.46	0.01	0.28	0.14
23	K	1,862	270	-93.3	-136	53,343	117,606	26	50	24	0	0
24	P/K	414	60	-105.0	-157	53,343	117,606	26	50	24	0	0
27	P	379	55	8.9	48	53,343	117,606	26	50	24	0	0
32	P	5,019	728	62.8	145	1,609	3,547	99.11	0.46	0.01	0.28	0.14
38	P	2,758	400	8.9	48	1,380	3,042	99.11	0.46	0.01	0.28	0.14

Tabuľka 6 - pokračovanie

	Príkon hp	Príkon kW
	Príkon	
Kompresory		
Kompresor expanzného procesu 30	2,300	1,715
Kompresory MCR chladiaceho systému 45		
Stupeň 1	73,900	55,107
Stupeň 2	25,100	18,717
Rekompresor frakcionačného zariadenia 35	10	7
Kompresor 39	1,100	820
Expandéry		
Expandér expanzného procesu 30	-2,300	-1,715
Expandér 34	-1,100	-820
Čerpadlá		
Čerpadlo MCR chladiaceho systému 45	480	358
Čerpadlo produktu frakcionač. zariadenia 35	20	15
Čistý príkon	99,500	74,197
Celkom inštalované	106,300	79,268

Tabuľka 7

	Fáza	Tlak		Teplota		Rýchlosť prietoku		Zloženie, mol %				
Prúd	Para/ Kvapal.	kPa	psia	°C	°F	kgmol/ hod	lbmol/ hod	C_1	C_2	C_{3+}	CO_2	N_2
10	P/K	5,585	810	21.1	70	36,707	80,929	92.6	3.9	2.48	0.98	0.04
11	P/K	5,516	800	4.4	40	36,707	80,929	92.6	3.9	2.48	0.98	0.04
12	K	4,757	690	206.7	404	682	1,504	3.97	9.54	85.44	1.05	0
13	P/K	5,019	728	62.2	144	115	253	11.21	32.57	53.25	2.97	0
14	K	138	20	26.7	80	508	1,120	0	0	100	0	0
15	P/K	3,378	490	13.3	56	55	121	25.81	50.63	23.56	0	0
16	P	5,019	728	5.0	41	36,010	79,392	94.27	3.79	0.92	0.98	0.04
17	P	5,019	728	2.2	36	37,604	82,906	94.22	3.75	1.03	0.98	0.04
18	K	2,689	390	19.4	67	19,673	43,375	6.66	45.52	47.82	0	0
19	K	4,606	668	–93.3	–136	37,604	82,906	94.22	3.75	1.03	0.96	0.04
20	K	2,861	415	–95.6	–140	37,604	82,906	94.22	3.75	1.03	.096	0.04
21	P	2,689	390	19.4	67	32,773	72,254	35.21	57.81	6.98	0.0	0
22	P	2,827	410	–90.0	–130	2,988	6,589	99.11	0.46	0.01	0.28	0.14
23	K	2,275	330	–93.3	–136	32,773	72,254	35.21	57.81	6.98	0	0
24	P/K	483	70	–109.4	–165	32,773	72,254	35.21	57.81	6.98	0	0
25	P/K	414	60	–51.1	–60	32,773	72,254	35.21	57.81	6.98	0	0
26	P/K	2,482	360	–45.6	–50	32,773	72,254	35.21	57.81	6.98	0	0
27	P	379	55	12.8	55	52,446	115,629	24.5	53.2	22.3	0	0
32	P	5,033	730	–53.3	–64	1,484	3,272	99.11	0.46	0.01	0.28	0.14
38	P	2,723	395	12.8	55	1,509	3,327	99.11	0.46	0.01	0.28	0.14
41	K	2,482	360	–45.6	–50	19,673	43,375	6.66	45.52	47.82	0	0
42	P/K	414	60	–54.4	–66	19,673	43,375	6.66	45.52	47.82	0	0
43	P/K	414	60	–51.1	–60	52,446	115,629	24.5	53.2	22.3	0	0

Tabuľka 7 - pokračovanie

Príkon

	Príkon hp	Príkon kW
Kompresory		
Kompresor expanzného procesu 30	2,300	1,715
Kompresory MCR chladiaceho systému 45		
Stupeň 1	80,000	59,656
Stupeň 2	31500	23,490
Rekompresor frakcionač. zariadenia 35	10	7
Kompresor 39	450	3.36
Expandéry		
Expandér expanzného procesu 30	-2,300	-1,715
Expandér 34	-980	-731
Čerpadlá		
Čerpadlo MCR chladiaceho systému 45	690	515
Čerpadlo produktu frakcionač. zariadenia 35	20	15
Čistý príkon	111,700	83,295
Celkom inštalované	118,300	88,216

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Spôsob skvapalňovania komprimovaného prúdu plynu bohatého na metán, **vyznačujúci sa tým,** že zahrnuje kroky skvapalňovania prúdu plynu vo výmenníku tepla, ktorý je chladený viaczložkovým chladiacim systémom s uzavretou slučkou, na výrobu kvapalného produktu bohatého na metán, majúceho teplotu nad asi -112 ^{0}C (-170 ^{0}F) a tlak, postačujúci na to, aby kvapalný produkt bol na alebo pod svojim bodom tvorby bubliniek, a privádzanie kvapalného produktu do skladovacích prostriedkov pri teplote nad asi -112 ^{0}C (-170 ^{0}F)

2. Spôsob podľa nároku 1, **vyznačujúci sa tým,** že ďalej zahrnuje zníženie tlaku kvapalného produktu expanznými prostriedkami pred privádzaním kvapalného produktu do skladovacích prostriedkov, pričom tieto expanzné prostriedky produkujú prúd kvapaliny pri teplote nad asi -112 ^{0}C (-170 ^{0}F) a tlaku, postačujúceho na to, aby kvapalný produkt bol na alebo pod svojim bodom tvorby bubliniek.

3. Spôsob podľa nároku 1, **vyznačujúci sa tým,** že ďalej zahrnuje privádzanie vyvareného plynu, rezultujúceho z vyparovania skvapalneného zemného plynu, do výmenníka tepla, pričom tento vyvarený plyn sa aspoň čiastočne skvapalňuje výmenníkom tepla, a kompresiu skvapalneného vyvareného plynu, pričom tento komprimovaný vyvarený plyn má teplotu nad asi -112 ^{0}C (-170 ^{0}F) a tlak, postačujúci, aby kvapalný produkt bol na alebo pod svojim bodom tvorby bubliniek.

4. Spôsob podľa nároku 3, **vyznačujúci sa tým,** že výmenník tepla ďalej zahrnuje prvú chladiacu zónu a druhú chladiacu zónu, pracujúcu pri nižšej

teplote ako prvá chladiaca zóna, privádzanie prúdu plynu podľa nároku 1 do prvej chladiacej zóny na skvapalnenie a privádzanie vyvareného plynu do druhej chladiacej zóny na skvapalnenie.

5. Spôsob podľa nároku 4, **vyznačujúci sa tým**, že ďalej zahrnuje oddelenie časti vyvareného plynu predtým ako vyvarený plyn príde do výmenníka tepla, a privádzanie oddelenej časti vyvareného plynu do prvej chladiacej zóny na ohriatie oddelenej časti vyvareného plynu a na ochladenie prúdu plynu vo výmenníku tepla a využitie ohriateho oddeleného vyvareného plynu ako paliva.

6. Spôsob podľa nároku 1, **vyznačujúci sa tým**, že ďalej zahrnuje kompresiu vyvareného plynu, rezultujúceho z vyparovania skvapalneného zemného plynu, na tlak približne rovný tlaku prúdu plynu, privádzaného do výmenníka tepla a spojovanie komprimovaného vyvareného plynu s prúdom plynu predtým, ako sa prúd plynu dostane do výmenníka tepla.

7. Spôsob podľa nároku 1, **vyznačujúci sa tým**, že ďalej zahrnuje privedenie vyvareného plynu, rezultujúceho z vyparovania skvapalneného zemného plynu, do výmenníka tepla na chladenie vyvareného plynu, kompresiu vyvareného plynu a spojovanie komprimovaného vyvareného plynu s prúdom plynu a privedenie spojeného vyvareného plynu a prúdu plynu do výmenníka tepla na skvapalnenie

8. Spôsob podľa nároku 7, **vyznačujúci sa tým**, že ďalej zahrnuje, po prietoku vyvareného plynu výmenníkom tepla a pred kompresiou ochladeného vyvareného plynu, oddelenie časti vyvareného plynu a využitie oddelenej časti ako paliva.

9. Spôsob podľa nároku 3, **vyznačujúci sa tým**, že výmenník tepla zahrnuje prvú chladiacu zónu, druhú chladiacu zónu a tretiu chladiacu zónu, pričom druhá chladiaca zóna pracuje pri teplote pod teplotou prvej chladiacej zóny a nad teplotou tretej chladiacej zóny, a že ďalej zahrnuje kroky privádzania vyvareného plynu do tretej chladiacej zóny na skvapalnenie vyvareného plynu, oddelenie časti vyvareného plynu pred prechodom treťou chladiacou zónou, a prechod oddeleného vyvareného plynu druhou chladiaci zónou na ohriatie oddeleného vyvareného plynu a využitie ohriateho oddeleného vyvareného plynu ako paliva.

10. Spôsob podľa nároku 1, **vyznačujúci sa tým**, že prúd plynu obsahuje metán a uhľovodíkové zložky ťažšie ako metán, a že ďalej zahrnuje odstránenie prevažnej časti ťažších uhľovodíkov frakcionáciou na výrobu prúdu pary, bohatého na metán a prúdu kvapaliny, bohatého na ťažšie uhľovodíky, načo sa prúd pary skvapalní výmenníkom tepla.

11. Spôsob podľa nároku 10, **vyznačujúci sa tým**, že prúd kvapaliny, bohatý na ťažšie uhľovodíky sa ďalej frakcionuje, pričom produkuje paru, bohatú na etán, ktorá sa spojuje s prúdom, bohatým na metán podľa nároku 7.

12. Spôsob podľa nároku 10, **vyznačujúci sa tým**, že ďalej zahrnuje chladenie privádzaného prúdu pred frakcionáciou privádzaného prúdu.

13. Spôsob podľa nároku 1, **vyznačujúci sa tým**, že výmenník tepla zahrnuje prvú chladiacu zónu a druhú chladiacu zónu, pričom prvá chladiaca zóna je chladená prietokom viaczložkového kvapalného chladiva prvou chladiacou zónou na chladenie kvapalného chladiva, prietok kvapalného chladiva prostriedkami expanzie tlaku na ďalšie zníženie teploty kvapalného chladi-

va, a pretekanie chladiva z expanzného prostriedku prvou chladiacou zónou, prietok viaczložkového chladiva v podobe pary prvou a druhou chladiacou zónou na zníženie jeho teploty, prietok chladeného chladiva v podobe pary expanzným prostriedkom, prietok expandovaného chladiva druhou chladiacou zónou a potom prvou chladiacou zónou, a skvapalňovanie prúdu plynu prechodom tohto prúdu plynu prvou chladiacou zónou a druhou chladiacou zónou, na výrobu kvapalného produktu, majúceho teplotu nad asi -112 ^{0}C (-170 ^{0}F) a tlak, postačujúci, aby kvapalný produkt bol na alebo pod svojim bodom tvorby bubliniek.

14. Spôsob podľa nároku 1, **vyznačujúci sa tým**, že spôsob ďalej zahrnuje tieto kroky:

(a) chladenie prúdu plynu na uskutočnenie čiastočného skvapalnenia prúdu plynu,

(b) separáciu čiastočne kondenzovaného prúdu plynu na kvapalinu, bohatú na uhľovodíky ťažšie ako metán a prúd pary, bohatý na metán,

(c) frakcionáciu skvapalnenej časti v aspoň jednej frakcionačnej kolóne na výrobu prúdu pary, bohatej na etán a prúdu kvapaliny, bohatej na uhľovodíky ťažšie než etán a odstránenie prúdu kvapaliny z procesu,

(d) spojovanie prúdu pary, bohatej na metán a prúdu pary, bohatej na etán a privádzanie spojeného prúdu do výmenníka tepla podľa nároku 1, pričom sa spojený prúd skvapalňuje, a

(e) pred privedením spojeného prúdu kvapaliny do skladovacích prostriedkov expanziu aspoň časti podchladenej kvapaliny na výrobu kvapalného produktu, majúceho teplotu nad asi -112 ^{0}C (-170 ^{0}F) a tlak, postačujúci, aby kvapalný produkt bol na alebo pod svojim bodom tvorby bubliniek.

15. Spôsob podľa nároku 14, **vyznačujúci sa tým**, že chladenie prúdu zemného plynu v kroku (a) je aspoň čiastočne zabezpečované propánovým systémom chladenia s uzavretou slučkou.

16. Spôsob podľa nároku 14, **vyznačujúci sa tým**, že spôsob ďalej zahrnuje privádzanie vyvarených pár, rezultujúcich z vyparovania skvapalneného zemného plynu, do výmenníka tepla na výrobu druhého prúdu skvapalneného zemného plynu, majúceho teplotu nad asi -112 ^{0}C (-170 ^{0}F) a tlak, postačujúci, aby kvapalný produkt bol na alebo pod svojim bodom tvorby bubliniek, a spojovanie druhého prúdu skvapalneného zemného plynu s expandovaným skvapalneným plynom z kroku (e) nároku 14.

17. Spôsob podľa nároku 14, **vyznačujúci sa tým**, že výmenník tepla z kroku (d) zahrnuje prvú chladiacu zónu a druhú chladiacu zónu, pracujúcu pri nižšej teplote ako prvá chladiaca zóna, pričom prúdy bohaté na metán z kroku (b) a kroku (c) nároku 14 prichádzajú do prvej chladiacej zóny, a vyvarené pary, rezultujúce z vyparovania skvapalneného zemného plynu, majúce teplotu nad asi -112 ^{0}C (-170 ^{0}F) prichádzajú do druhej chladiacej zóny na skvapalnenie

18. Spôsob podľa nároku 10, **vyznačujúci sa tým**, že prúd plynu vstupuje do procesu pri zvýšenej teplote v rozsahu od 0 ^{0}C do asi 50 ^{0}C a zvýšenom tlaku v rozsahu od asi 2 758 kPa (400 psia) do asi 8 274 kPa (1200 psia) a kvapalný produkt, produkovaný procesom, má tlak vyšší ako asi 1 724 kPa (250 psia) a teplotu nad asi -112 ^{0}C (-170 ^{0}F).

19. Spôsob podľa nároku 1, **vyznačujúci sa tým**, že viaczložkový systém chladenia má chladivo, zahrnujúce metán, etán, propán, bután, pentán, oxid uhličitý, sírovodík a dusík

20. Spôsob skvapalňovania prúdu zemného plynu, zahrnujúceho metán, propán a ťažšie uhľovodíky na výrobu skvapalneného zemného plynu, majúceho tlak vyšší ako asi 1 724 kPa (250 psia) a teplotu nad asi -112 ^{0}C (-170 ^{0}F), **vyznačujúci sa tým**, že spôsob zahrnuje tieto kroky:

(a) privádzanie prúdu zemného plynu do prvej chladiacej zóny viaczložkového výmenníka tepla, pričom tento viaczložkový výmenník tepla zahrnuje tri chladiace zóny, s druhou chladiacou zónou, pracujúcou pri teplote pod teplotou prvej chladiacej zóny a nad teplotou tretej chladiacej zóny,

(b) frakcionáciu privádzaného chladeného prúdu zemného plynu na separáciu prúdu, bohatého na metán od prúdu ťažších uhľovodíkov,

(c) frakcionáciu prúdu ťažších uhľovodíkov na výrobu prúdu, bohatého na etán a prúdu, obsahujúceho uhľovodíky ťažšie než etán, a odstránenie uhľovodíkov, ťažších než etán z procesu,

(d) spojovanie prúdu, bohatého na metán z kroku (b) a prúdu, bohatého na etán z kroku (c) a privádzanie spojeného prúdu do druhej chladiacej zóny viaczložkového systému chladenia a chladenie spojeného prúdu na výrobu podchladeného kondenzátu,

(e) expanziu aspoň časti podchladeného kondenzátu na získanie skvapalneného zemného plynu, majúceho tlak vyšší ako asi 1 724 kPa (250 psia) a teplotu nad asi -112 ^{0}C (-170 ^{0}F), a

(f) privádzanie plynu, rezultujúceho z vyparovania skvapalneného zemného plynu, obsiahnutého v skladovacej nádobe, do tretej chladiacej

zóny viaczložkového systému chladenia na výrobu druhého prúdu skvapalneného zemného plynu a spojovanie druhého prúdu skvapalneného zemného plynu so skvapalneným zemným plynom, produkovaným v kroku (e)

21. Spôsob skvapalňovania prúdu zemného plynu, zahrnujúceho metán, propán a ťažšie uhľovodíky na výrobu skvapalneného zemného plynu, majúceho tlak vyšší ako asi 1 724 kPa (250 psia) a teplotu nad asi -112 ^{0}C (-170 ^{0}F), **vyznačujúci sa tým**, že spôsob ďalej zahrnuje tieto kroky:

(a) chladenie prúdu zemného plynu propánovým chladiacim systémom,

(b) frakcionáciu chladeného prúdu zemného plynu na separáciu prúdu bohatého na metán a prúdu ťažších uhľovodíkov,

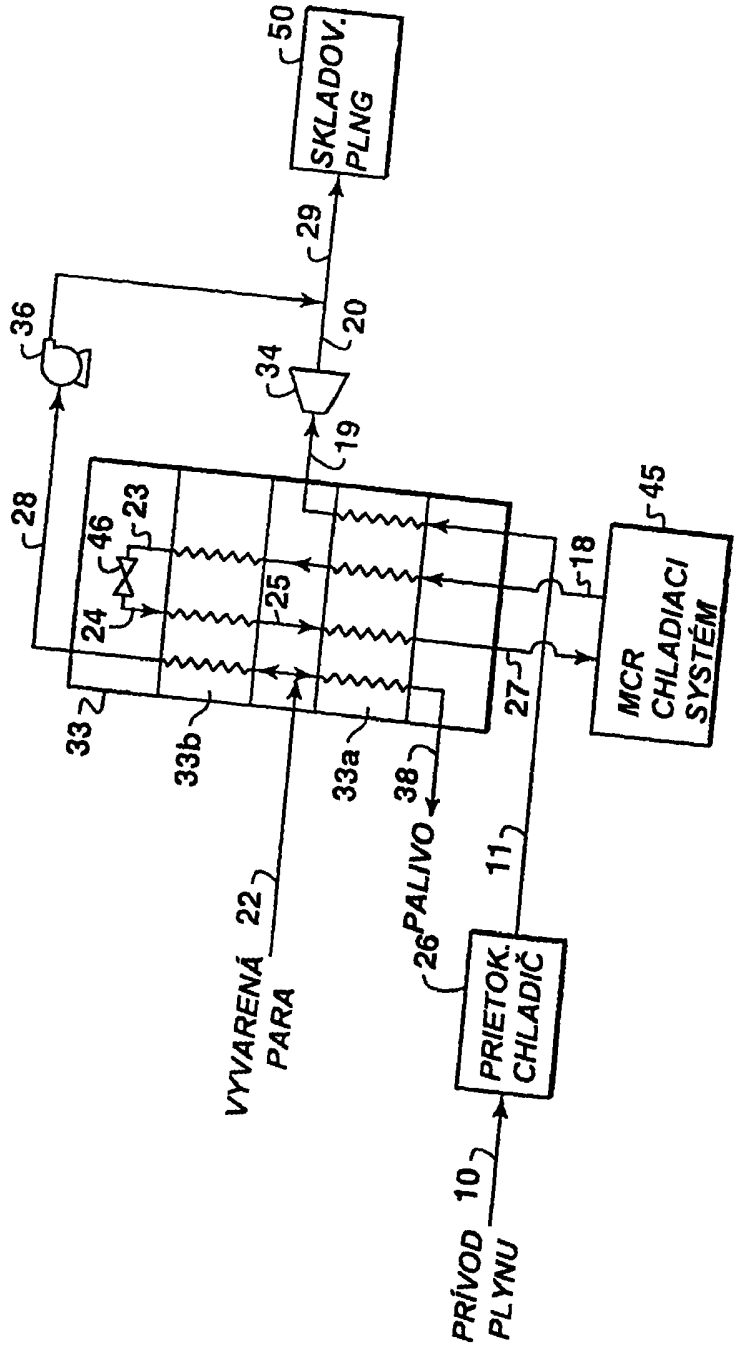
(c) frakcionáciu prúdu ťažších uhľovodíkov na produkciu prúdu, bohatého na etán a aspoň jedného prúdu, obsahujúceho uhľovodíky ťažšie než etán, a odstránenie uhľovodíkov ťažších než etán z procesu,

(d) spojovanie prúdu, bohatého na metán z kroku (b) a prúdu, bohatého na etán z kroku (c) a privádzanie spojeného prúdu do prvej chladiacej zóny viaczložkového systému chladenia, majúceho prvú chladiacu zónu, chladenú viaczložkovou kvapalinou a viaczložkovou parou v súvislosti s výmenou tepla so spojeným prúdom, bohatým na metán a prúdom bohatým na etán, na výrobu podchladeného kondenzátu, a

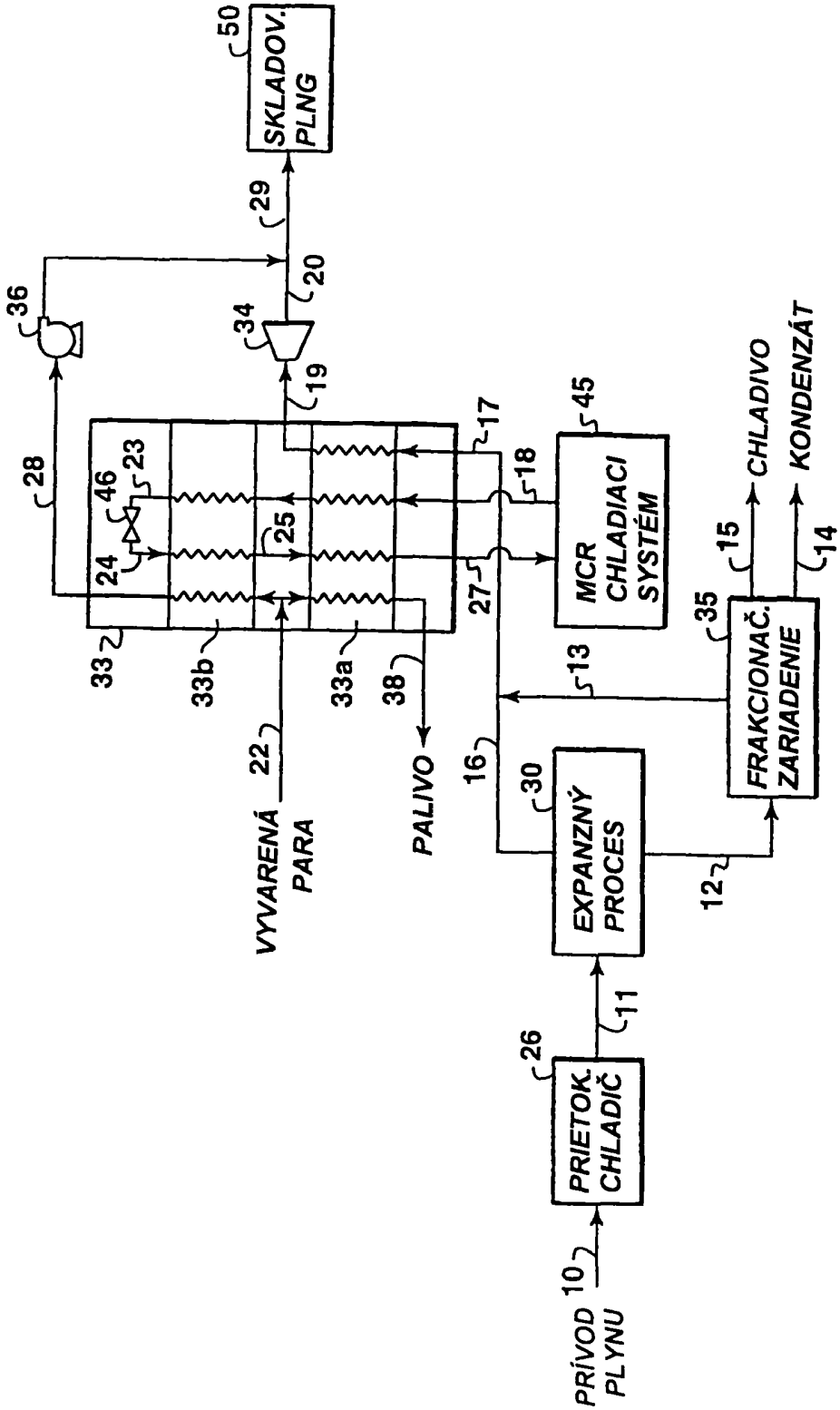
(e) expanziu aspoň časti podchladeného kondenzátu na získanie skvapalneného zemného plynu, majúceho tlak vyšší ako asi 1 724 kPa (250 psia) a teplotu nad asi -112 ^{0}C (-170 ^{0}F)

(f) privádzanie plynu, rezultujúceho z vyparovania skvapalneného zemného plynu, obsiahnutého v skladovacej nádobe, do druhej chladiacej zóny viaczložkového chladiaceho systému na produkciu druhého

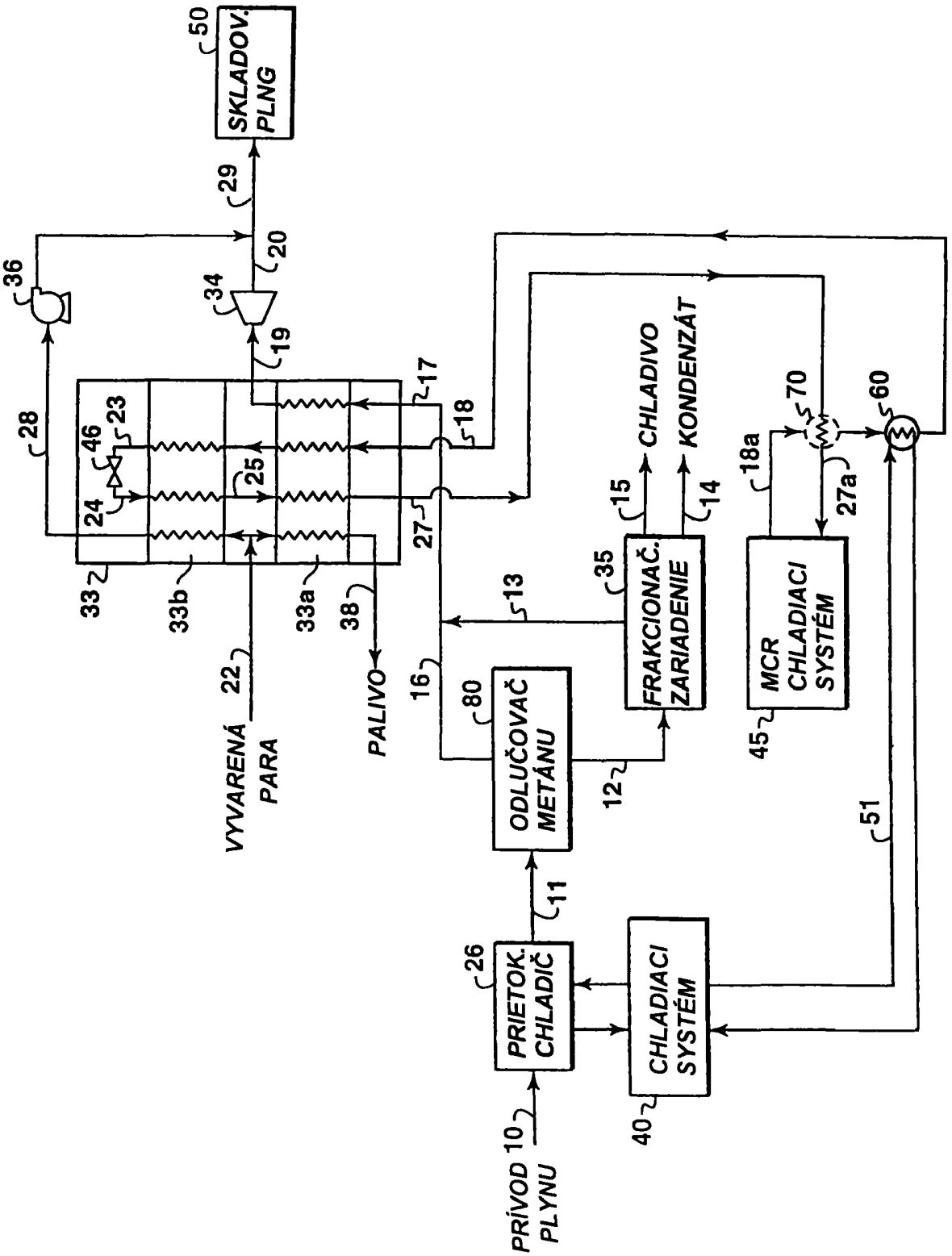
prúdu skvapalneného zemného plynu, a spojovanie druhého prúdu skvapalneného zemného plynu so skvapalneným zemným plynom, produkovaným v kroku (e).


50
SKLADOV.
PLNG
29
20
36
34
19
28
46
23
24
25
18
45
MCR
CHLADIACI
SYSTÉM
33
33b
33a
38
27
PALIVO
11
22
26
VYVARENÁ
PARA
PRIETOK.
CHLADIČ
10
PRÍVOD
PLYNU

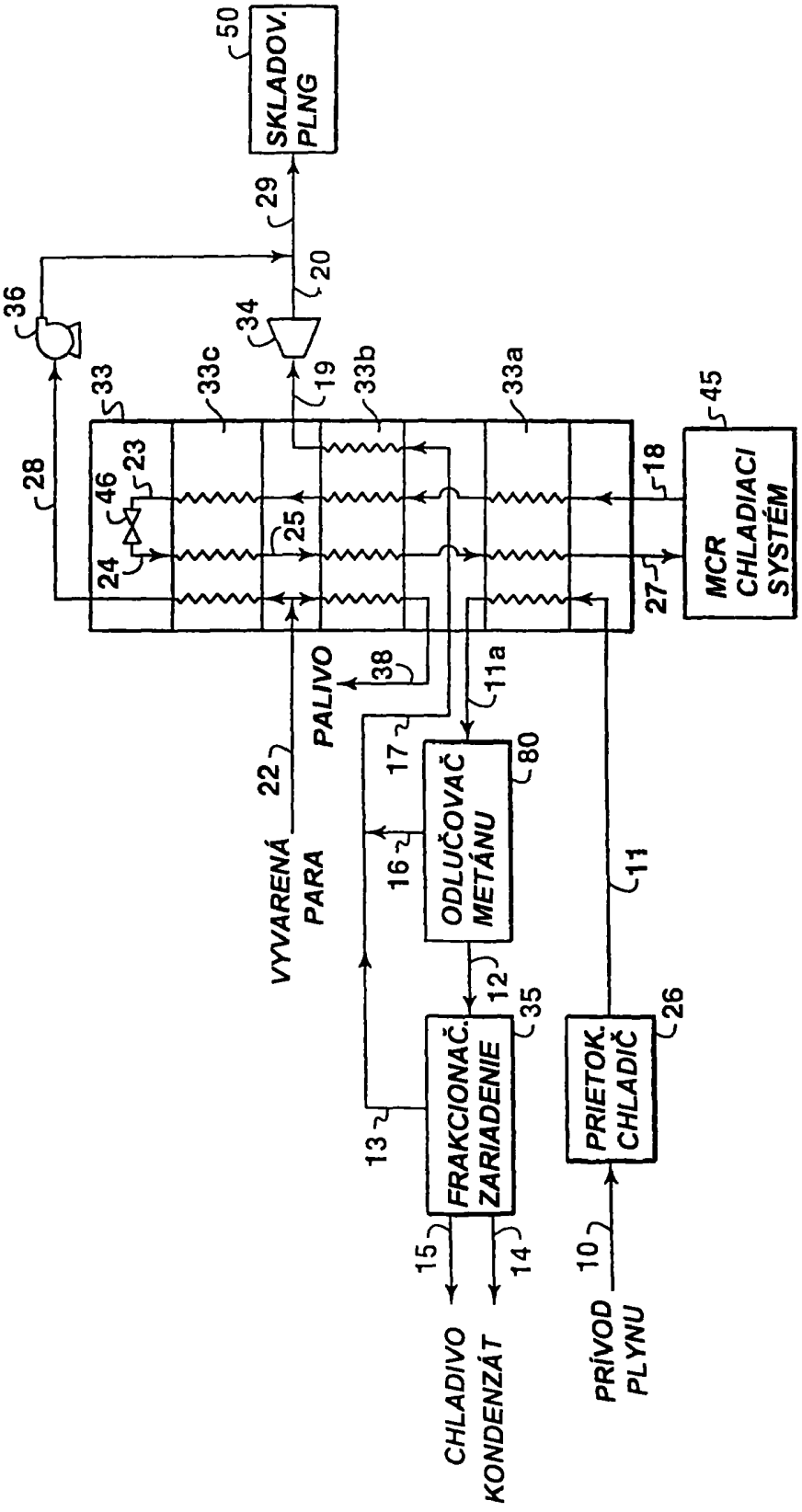
Obr. 1


50
SKLADOV. PLNG
29
20
36
34
19
28
46
23
24
25
17
18
45
MCR CHLADIACI SYSTÉM
27
35
15
CHLADIVO
14
KONDENZÁT
33
33b
33a
38
22
VYVARENÁ PARA
PALIVO
16
13
30
EXPANZNÝ PROCES
FRAKCIONAČ. ZARIADENIE
12
26
PRIETOK. CHLADIČ
11
10
PRÍVOD PLYNU

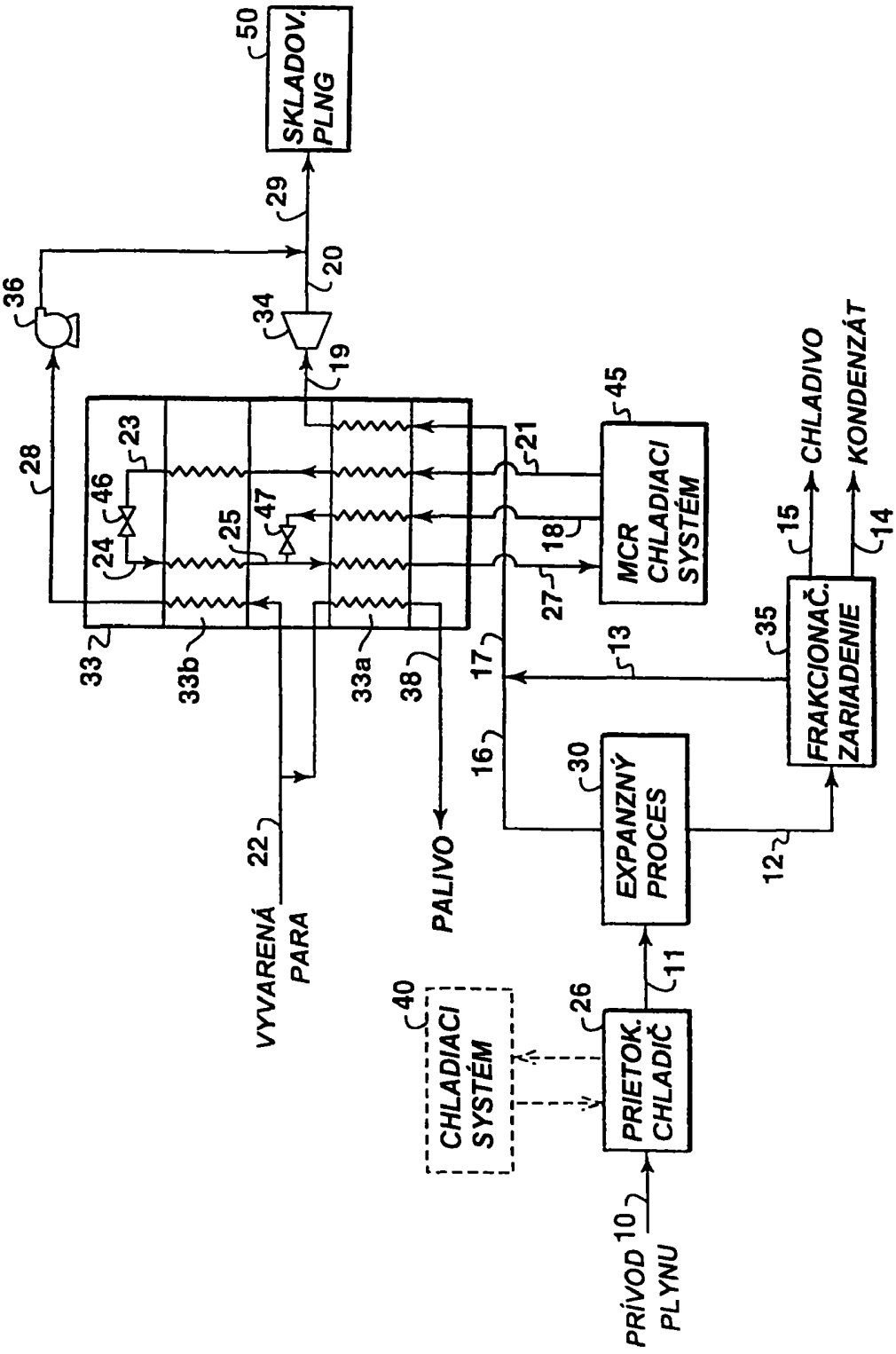
Obr. 2


SKLADOV. PLNG
50
29
20
36
34
19
28
46
23
25
24
17
18
27
33
33b
33a
38
22
VYVARENÁ PARA
PALIVO
16
80
ODLUČOVAČ METÁNU
13
35
FRAKCIONAČ. ZARIADENIE
15
CHLADIVO
KONDENZÁT
14
18a
70
60
27a
MCR CHLADIACI SYSTÉM
45
12
11
51
26
PRIETOK. CHLADIČ
CHLADIACI SYSTÉM
40
PRÍVOD PLYNU
10

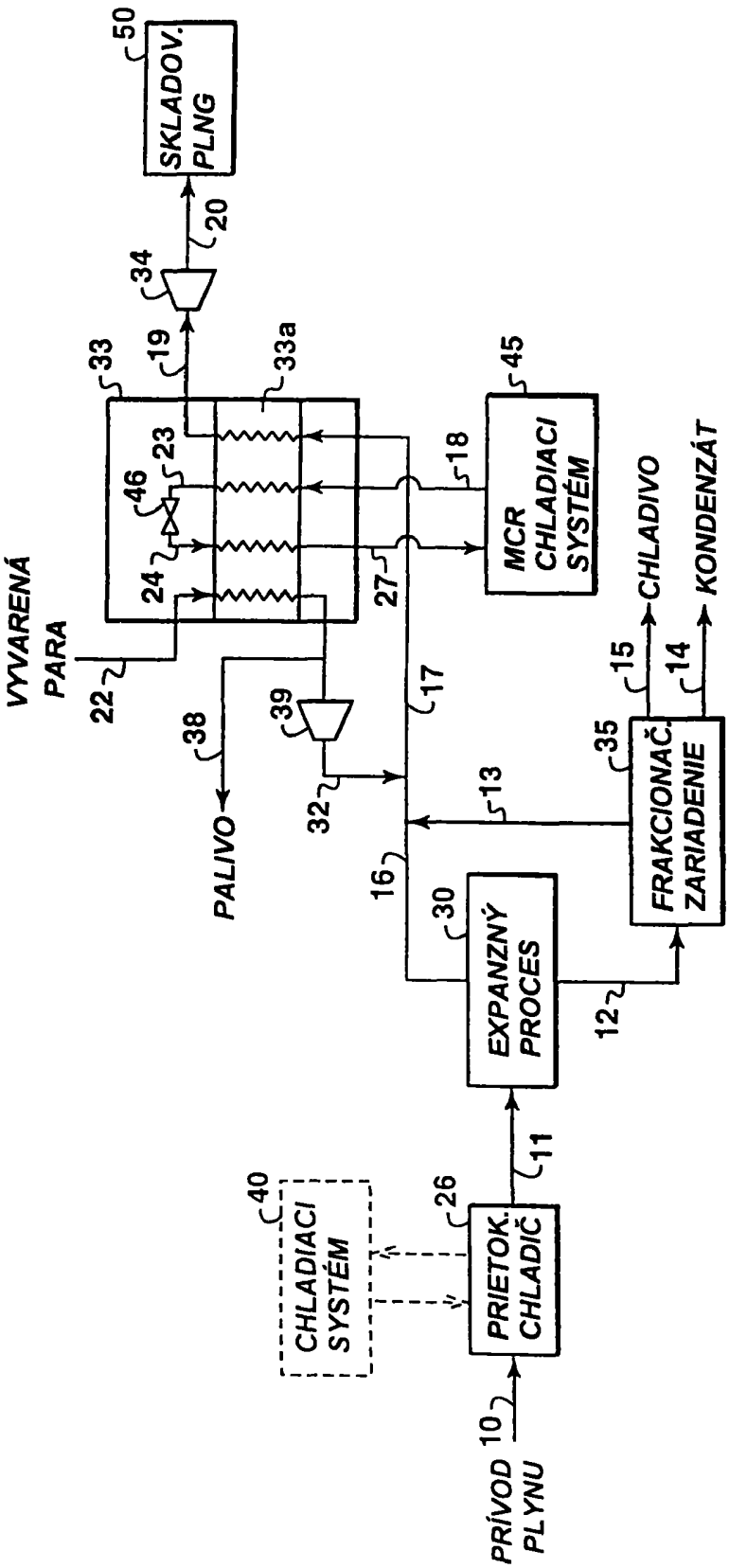
Obr. 3


50
SKLADOV. PLNG
29
20
36
34
19
33
33c
33b
33a
45
MCR CHLADIACI SYSTÉM
18
28
46
23
24
25
27
38
11a
PALIVO
22
VYVARENÁ PARA
17
16
ODLUČOVAČ METÁNU
80
11
12
35
26
FRAKCIONAČ. ZARIADENIE
PRIETOK. CHLADIČ
13
15
14
10
CHLADIVO KONDENZÁT
PRÍVOD PLYNU

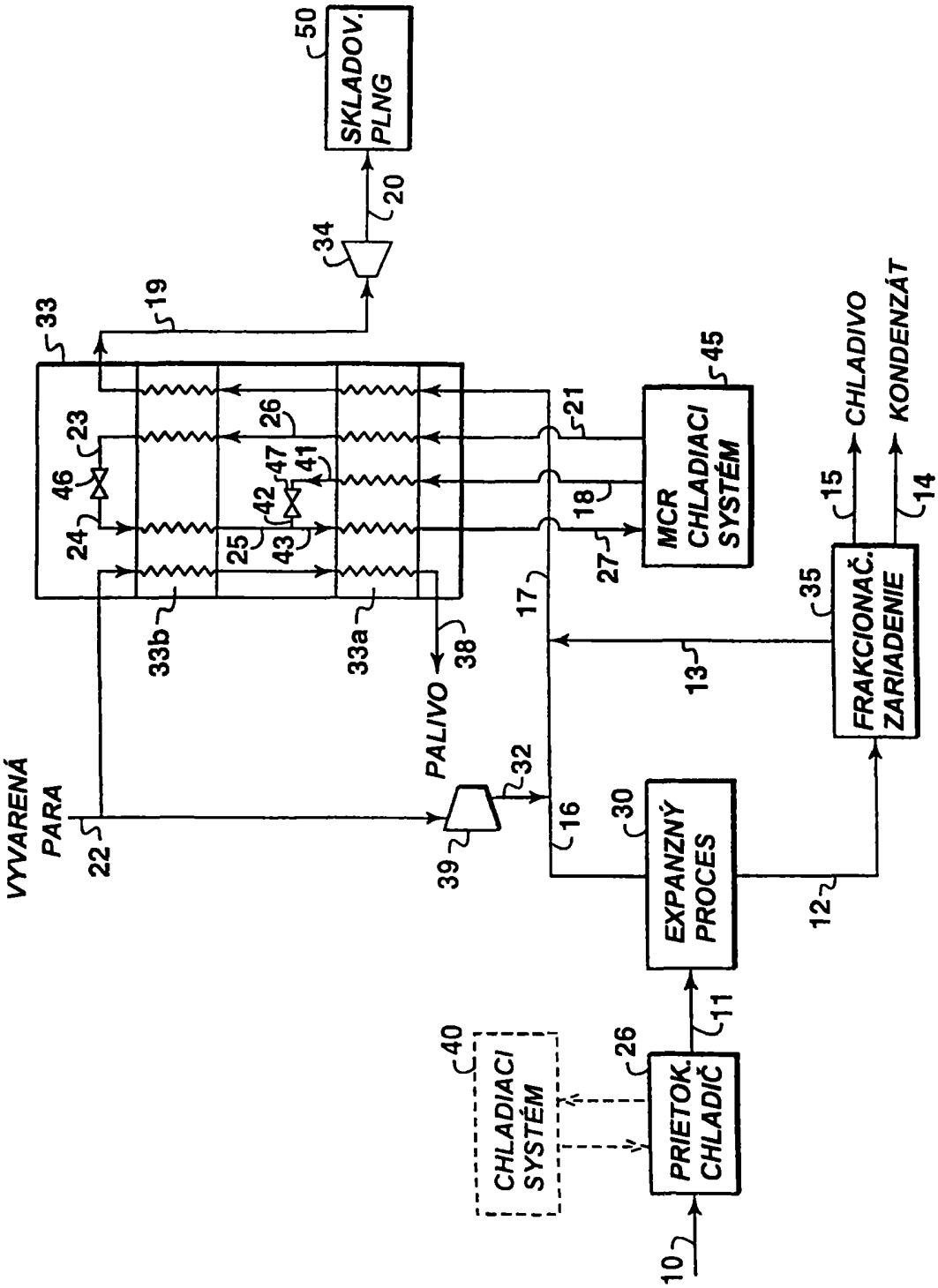
Obr. 4


50
SKLADOV. PLNG
29
20
36
34
19
28
23
46
24
25
47
21
45
MCR CHLADIACI SYSTÉM
18
27
33
33b
33a
38
17
13
35
15
CHLADIVO
14
KONDENZÁT
16
30
EXPANZNÝ PROCES
12
FRAKCIONAČ. ZARIADENIE
22
VYVARENÁ PARA
PALIVO
40
CHLADIACI SYSTÉM
26
11
PRIETOK. CHLADIČ
10
PRÍVOD PLYNU

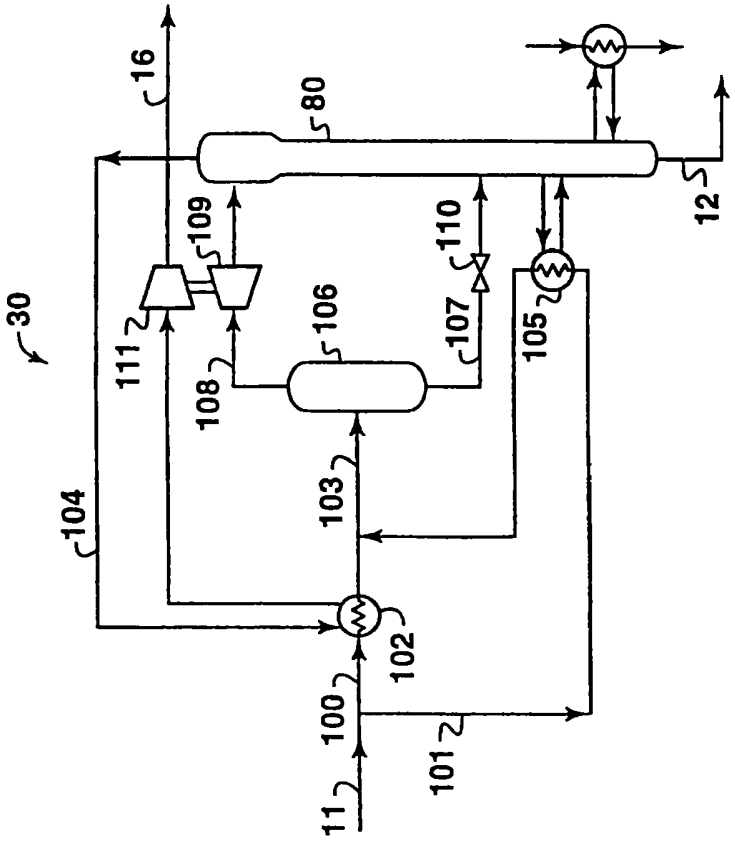
Obr. 5


PRÍVOD PLYNU
10
PRIETOK. CHLADIČ
26
CHLADIACI SYSTÉM
40
11
EXPANZNÝ PROCES
30
12
FRAKCIONAČ. ZARIADENIE
35
13
14
KONDENZÁT
15
CHLADIVO
16
17
MCR CHLADIACI SYSTÉM
45
18
27
VYVARENÁ PARA
22
24
23
46
33
19
33a
34
20
SKLADOV. PLNG
50
38
PALIVO
39
32

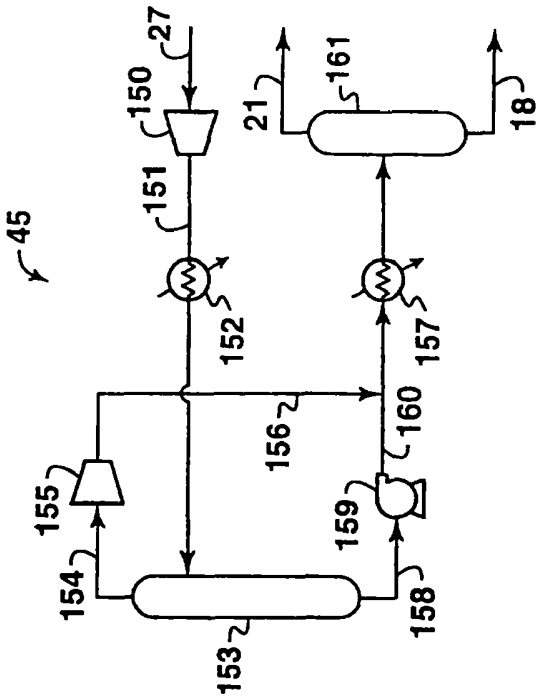
Obr. 6


SKLADOV. PLNG
50
20
34
19
33
23
46
24
26
47
41
42
25
43
33b
33a
38
PALIVO
32
39
VYVARENÁ PARA
22
21
MCR CHLADIACI SYSTÉM
45
18
27
17
16
30
EXPANZNÝ PROCES
11
12
13
35
FRAKCIONAČ. ZARIADENIE
15
CHLADIVO
14
KONDENZÁT
40
CHLADIACI SYSTÉM
26
PRIETOK. CHLADIČ
10

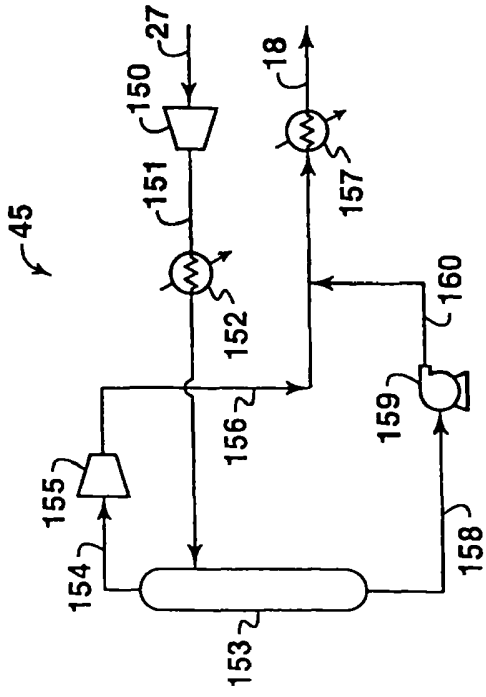
Obr. 7



Obr. 8


45
150
27
151
152
155
154
153
156
159
158
157
160
21
161
18

Obr. 10


45
150
27
151
152
155
154
153
156
159
158
157
18
160

Obr. 9