



(12) PATENT

(19) NO

(11) 339457

(13) B1

NORGE

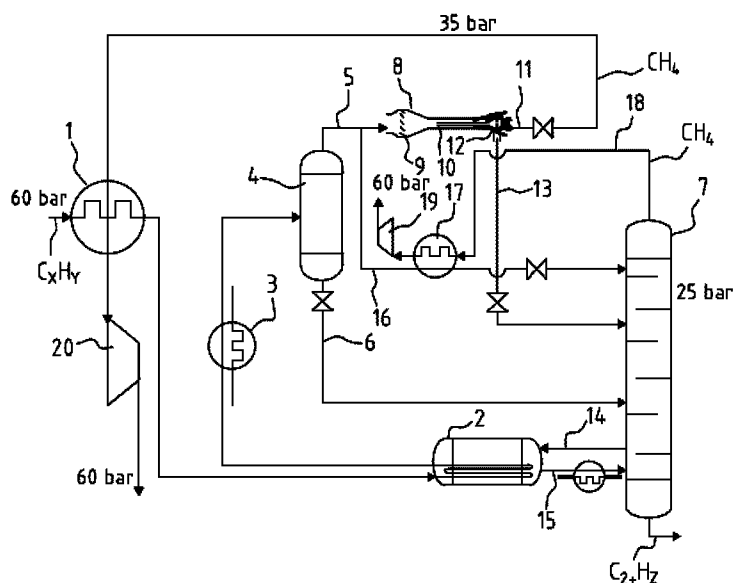
(51) Int Cl.

F25J 3/02 (2006.01)
B01D 45/16 (2006.01)
B01D 53/00 (2006.01)
B01D 53/24 (2006.01)
F25B 9/04 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20074831	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2006.02.24 PCT/EP2006/060260
(22)	Inng.dag	2007.09.21	(85)	Videreføringsdag	2007.09.21
(24)	Løpedag	2006.02.24	(30)	Prioritet	2005.02.24, EP, 05101420
(41)	Alm.tilgj	2007.09.21			
(45)	Meddelt	2016.12.12			
(73)	Innehaver	Twister BV, Einsteinlaan 10, NL-2289CC RIJSWIJK, Nederland			
(72)	Oppfinner	Cornelis Antonie Tjeenk Willink, c/o Twister BV, Einsteinlaan 10, NL-2289CC RIJSWIJK, Nederland Marco Betting, c/o Twister BV, Einsteinlaan 10, NL-2289CC RIJSWIJK, Nederland Jacob Michiel Brouwer, c/o Twister BV, Einsteinlaan 10, NL-2289CC RIJSWIJK, Nederland Pascal van Eck, c/o Twister BV, Einsteinlaan 10, NL-2289CC RIJSWIJK, Nederland			
(74)	Fullmektig	Tandbergs Patentkontor AS, Postboks 1570 Vika, 0118 OSLO, Norge			
(54)	Benevnelse	Fremgangsmåte og system for kjøling av en naturgasstrøm, og separering av den avkjølte strøm i forskjellige fraksjoner			
(56)	Anførte publikasjoner	US 3296807 A US 4140504 A			
(57)	Sammendrag				

En fremgangsmåte for å kjøle en naturgasstrøm (C_xH_y) og separere den kjølte gasstrøm i forskjellige fraksjoner med forskjellig kokepunkt, for eksempel metan, etan, propan, butan og kondensater, omfatter: å kjøle gasstrømmen (1, 2) og separere den kjølte gasstrøm i en innløpsseparasjonstank (4), en fraksjoneringsøyle (7) hvor en metanrik fluidfraksjon (CH_4) blir separert fra en metanmager fluidfraksjon (C_2+H_2), å mate minst en del av den metanrike fluidfraksjon fra innløpsseparasjonstanken (4) til en syklonekspansjons- og separasjonsinnretning (8) som fortrinnsvis har en isentropisk ekspansjonsvirkningsgrad på minst 80 %, for eksempel en supersonisk eller tiansonisk syklon, og å mate den metanutarmede fluidfraksjon fra syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen (8) inn i fraksjoneringsøylen (7) for ytterligere separasjon.



Oppfinnelsen angår en fremgangsmåte og et system for å kjøle en naturgasstrøm og separere den nedkjølte gasstrøm i forskjellige fraksjoner, for eksempel ved metan, etan, propan, butan og kondensater.

5 I olje- og gassindustrien blir naturgass produsert, behandlet og transportert til sluttbrukere.

Gassbehandling kan omfatte flytendegjøring av minst en del av naturgassstrømmen. Hvis en naturgasstrøm blir flytendegjort, kan det oppnås en rekke såkalte naturgassvæsker (NGL) som omfatter flytende naturgass eller LNG (som hovedsakelig omfatter metan eller C_1 eller CH_4), etan (C_2), flytende petroleumsgass eller LPG (som hovedsakelig omfatter propan og butan eller C_3 og C_4) og kondensat (som hovedsakelig omfatter C_5+ -fraksjoner).

Dersom gassen blir produsert og transportert til regionale kunder via en rørledning (nett), blir varmeverdien av gassen begrenset til spesifikasjoner. For rikere gasstrømmer krever dette behandling midtstrøms for å gjenvinne C_2+ -væsker som blir solgt som restprodukter.

Hvis den regionale gassproduksjonen overstiger det regionale gassforbruk, kan ikke kostbare gassoverføringsnett rettferdiggjøres og følgelig kan gassen flytendegjøres til LNG som kan skipes som gods. Ved produksjon av C_1 -væsker blir C_2+ -væsker produsert samtidig og solgt som biprodukter.

Tradisjonelle NGL-gjenvinningsanlegg er basert på kryogene kjøleprosesser for å kondensere de lettere produktene i gasstrømmen. Disse kjøleprosessene omfatter: mekanisk kjøling (MR), Joule Thompson (JT)-ekspansjon og turboekspandere (TE), eller en kombinasjon (f.eks. MR-JT). Disse NGL-gjenvinningsprosessene er blitt optimalisert over de siste 10 år med hensyn til spesifikk kompresjonsytelse (dvs. MW/ton NGL/hr). Disse optimaliseringene omfatter ofte: 1) smart utveksling av varme mellom forskjellige prosesstrømmer, 2) forskjellige matetrau/matebrett i fraksjoneringssøylen/kolonnen og 3) rektifisering av mager olje (dvs. søylerefluks).

Det faktiske operasjonstrykk er mest følsomt for den spesifikke kompresjonsytelse i fraksjoneringssøylen. Jo høyere operasjonstrykk jo lavere blir den spesifikke kompresjonsytelse, men jo lavere blir også den relative flyktigheten mellom komponentene i fraksjoneringen (f.eks. $C_1 - C_2+$ for en av-metaniserer, $C_2- - C_3+$ for en av-etaniserer etc.), noe som fører til flere trau og følgelig en større søyle og/eller mindre renhet i den overliggende strøm.

35 Det europeiske patent 0182643 og US patentene 4 061 481, 4 140 504, 4 157 904, 4 171 964 og 4 278 457 til Ortloff Corporation beskriver forskjellige fremgangsmåter for å behandle naturgasstrømmer når gasstrømmen blir kjølt og separert i forskjellige fraksjoner, for eksempel metan, etan, propan, butan og kondensater.

En ulempe med de kjente kjøle- og separeringsmetoder er at de omfatter stor og dyr kjøling og kjøleenheter som har et svært høyt energiforbruk. Disse kjente metodene er enten basert på isentalpiske kjølemetoder (dvs. Joule Thompson kjøling og mekanisk kjøling) eller nær isentropiske kjølemetoder (dvs. turboekspander, syklonekspansjons- og separasjonsinnretninger). De nær isentropiske metoder er mest energieffektive, men normalt også de mest kostbare når det brukes turboekspandere. Imidlertid er syklonekspansjons- og separasjonsinnretninger mer kostnadseffektive mens de samtidig opprettholder en høy energieffektivitet, selv om de er mindre effektive enn turboekspanderinnretninger.

Bruk av en kostnadseffektiv syklonekspansjons- og separasjonsinnretning i kombinasjon med en isentalpisk kjølesyklus (for eksempel ekstern kjølesyklus) kan gjenopprette den maksimalt oppnåelige energieffektivitet.

Det er derfor et formål med oppfinnelsen å tilveiebringe en fremgangsmåte som angitt i krav 1 og et system som angitt i krav 4 for å kjøle og separere en naturgasstrøm som er mer effektiv og mindre omfattende og rimeligere enn kjente fremgangsmåter.

Ifølge oppfinnelsen er det tilveiebrakt en fremgangsmåte for å kjøle en naturgasstrøm og separere den kjølte gasstrøm i forskjellige fraksjoner med forskjellige kokepunkt, for eksempel metan, etan, propan, butan og kondensater, idet fremgangsmåten omfatter:

- å kjøle gasstrømmen i minst én varmeveksler,
- å separere den kjølte gasstrøm i en innløpsseparasjonstank til en metananrikt fluidfraksjon og en metanutarmet fluidfraksjon,
- å mate metanutarmet fluidfraksjon fra innløpsseparasjonstanken til en fraksjonerings søyle hvor metanrik fluidfraksjon blir separert fra metanmager fluidfraksjon,
- å mate minst en del av den metananrikede fluidfraksjon fra innløpsseparasjonstanken til en syklonekspansjons- og separasjonsinnretning hvor fluidfraksjonen blir ekspandert og derved ytterligere kjølt og separert til en metanrik, vesentlig gassformig fluidfraksjon og en metanutarmet, vesentlig flytende fluidfraksjon, og
- å mate den metanutarmede fluidfraksjon fra syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen til fraksjonerings søylen for ytterligere separasjon,
- idet syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen omfatter:
 - a) en sammenstilling av virvelgivende skovler for å bevirke en virvlende bevegelse av den metananrikede fluidfraksjon anordnet oppstrøms av en dyse hvor en metananrikt fluidfraksjon blir akselerert og ekspandert for derved ytterligere å bli kjølt slik at sentrifugalkreftene separerer den virvlende fluidstrøm til en metanrik fluidfraksjon og en metanutarmet fluidfraksjon, eller

b) en strupeventil med en utløpsdel som er forsynt med en virvelgivende anordning som bevirker en virvlende bevegelse av fluidstrømmen som strømmer gjennom fluidutløpskanalen for derved å få væskedråper til å virvle mot den ytre periferi av fluidutløpskanalen og koalesere.

5 Fortrinnsvis blir naturgasstrømmen kjølt i en varmevekslersammenstilling som omfatter en første varmeveksler og en kjøleenhet, slik at den metananrikede fluidfraksjon leveres til et innløp av syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen som har en temperatur mellom -20 og -60 grader Celsius og den kjølte metananrikede fraksjon fra syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen bringes til å passere
10 gjennom en første varmeveksler for å kjøle gasstrømmene.

Det er også foretrukket at varmevekslersammenstillingen videre omfatter en andre varmeveksler hvor den kjølte naturgasstrøm fra den første varmeveksler blir ytterligere kjølt før naturgasstrømmen blir ført til kjøleenheten, og at det kalde fluid fra en bunndel av fraksjoneringsøylen vil bli levert til den andre varmeveksler for kjøling
15 av naturgasstrømmen i denne varmeveksler.

Det er videre foretrukket at det benyttes en syklonekspansjons- og separasjonsinnretning som er fremstilt av selskapet Twister B.V. og solgt under varemerket "Twister". Forskjellige utførelser av denne syklonekspansjons- og separasjonsinnretning er beskrevet i den internasjonale patentsøknad WO 03/029739, EP
20 1 017 465, US 6 524 368 og US 6 776 825. Kjølingen inne i syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen kan etableres ved å akselerere matestrømmen i dysen til en transonisk eller supersonisk hastighet. I transonisk eller supersonisk tilstand vil trykket falle til typisk en faktor på 1/3 av matetrykket, og i mellomtiden vil temperaturen falle til typisk en faktor på $\frac{3}{4}$ i forhold til matetemperaturen. Forholdet mellom T-fallet pr.
25 enhet P-fall for en gitt matesammensetning ble bestemt med den isentropiske effektivitet av ekspansjonen som vil være minst 80 %. Den isentropiske effektivitet uttrykker de friksjons- og varmetap som oppstår inne i syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen.

Oppfinnelsen skal beskrives nærmere i det følgende under henvisning til
30 tegningene, der:

fig. 1 er et flytskjema av en fremgangsmåte og et system for å kjøle og fraksjonere en naturgasstrøm i overensstemmelse med oppfinnelsen,

fig. 2A viser et langsgående, seksjonert riss av en syklonekspansjons- og separasjonsinnretning forsynt med en JT-strupeventil som er forsynt med en
35 fluidvirvleanordning,

fig. 2B viser et forstørret riss av utløpskanalen av strupeventilen på fig. 1A,

fig. 2C illustrerer virvelbevegelsen av fluidstrømmen i utløpskanalen av strupeventilen på fig. 2A og 2B, og

fig. 2D viser konsentrasjonen av væskedråper i den ytre periferi av utløpskanalen av strupeventilen på fig. 2A og 2B.

Fig. 1 viser et flytskjema av en fremgangsmåte og et system ifølge oppfinnelsen for å kjøle og fraksjonere en naturgasstrøm.

5 En naturgasstrøm C_xH_y blir komprimert fra omtrent 60 bar til mer enn 100 bar i en matekompressor 20 og først kjølt i en luftkjøler 21, slik at naturgasstrømmen får et trykk på omtrent 100 bar når den blir ført til den første gass-gass-varmeveksler 1. Naturgasstrømmen blir deretter kjølt i en andre varmeutveksler 2 og deretter i en kjøleenhet 3. Naturgasstrømmen ut fra den andre varmeveksler 2 blir separert i en
10 innløpsseparator 4 til en metananrikt fraksjon 5 og en metanutarmet fraksjon 6.

Den metanutarmede fraksjon 6 blir ført til en fraksjonerings søyle/kolonne 7 mens den metananrikede fraksjon 5 blir matet til en syklonekspansjons- og separasjonsinnretning 8.

Syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen 8 omfatter virvelskovler 9, en
15 dyse 10 hvor den virvlende fluidblanding blir akselerert til transonisk eller supersonisk hastighet, et sentralt hovedfluidutløp 11 for å avgi en metananrikt fluidfraksjon CH_4 fra separatorene 8 og ved et ytre, andre fluidutløp for å avgi en kondenserbar, anrikt og metanmager andre fluidfraksjon til et ledningsrør 13. Den andre fluidfraksjon blir ført via ledningsrøret 13 til fraksjonerings søylen 7.

20 Den første varmeveksler 1 er en gass-gass-varmeveksler hvor naturgassstrømmen CH_4 blir kjølt med den magre hovedgasstrøm CH_4 fra det sentrale hovedutløp 11 av syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen 8. Den forhåndskjølte matestrøm ut fra den første varmeveksler 1 blir ytterligere kjølt i den andre varmeveksler 2 som kan være en gass-væske-varmeveksler som blir kjølt ved å
25 mate den med væske fra ett eller flere av buntrauene i fraksjonerings søylen 7 som vist med pilene 14 og 15. Den forhåndskjølte naturgassmatestrøm blir så superkjølt i kjøleenheten 3 som blir drevet av en kjølemaskin (enten en mekanisk kjøleenhet eller en absorpsjonskjølemaskin).

Væskene som dannes under denne 3-trinns forhåndskjølingsrute blir separert
30 fra en fremdeles gassformig, metananrikt fraksjon i innløpsseparatoren 4 og matet til ett av de nedre traueene i fraksjonerings søylen 7 siden den inneholder alle de tunge produkter som finnes i matingen (dvs. C_4+).

Gassen som kommer over toppen av innløpsseparatoren er mager i forhold til de tyngre hydrokarboner (f.eks. inneholder hovedsakelig C_4-). Den dype NGL-
35 ekstrahering (f.eks. C_2-C_4) utføres i den sykloniske ekspansjons- og separasjonsinnretning 8 hvor gassen blir ekspandert nær isentropisk. I syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen 8 faller temperaturen ytterligere til kryogeniske forhold hvor nesten alle C_2+ -komponenter blir flytendegjort og separert. Med den kryogeniske separasjonen inne i syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen 8, slipper C_1 -gasser

frem sammen med C₂+-væskene. En viss mol-fraksjon av C₁ vil oppløses i C₂+væskene. Denne C₂+-rike strøm blir ført til fraksjoneringsøylen 7 hvor et skarpt kutt mellom lette og tunge produkter blir etablert, for eksempel C₁ – C₂+ (avmetaniserer), C₂- – C₃+ (avetaniserer) osv.

5 For å etablere et rent toppprodukt fra fraksjoneringsøylen 7, frembringes en mager væskerefluks for å absorbere den letteste komponenten som bør forlate bunnen av søylen (f.eks. C₂ for en avmetaniserer). Refluksstrømmen blir frembrakt ved å ta en sidestrøm 16 fra syklonekspansjons- og separasjonsinnretningens 8 mating mens denne sidestrøm senere kjøles i en gass-gass-forkjøler 17 med den overliggende gasstrøm 18
10 (dvs. toppproduktet CH₄) fra fraksjoneringsøylen 7 og isentalpisk ekspandere den forkjølte sidestrøm 16 til søyletrykket. Under denne isentalpiske ekspansjon vil nesten alle hydrokarbonene flytendegjøres og bli matet som refluks til topptrauet av fraksjoneringsøylen 7.

C₁-gasstrømmene produsert fra : 1) hovedfluidutløpet 11 i syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen 8 (typisk 80 % hovedstrøm) og 2) topputløps-ledningsrøret 18 av fraksjoneringsøylen 7 (typisk 20 % sekundærstrøm), blir komprimert separat i eksportkompressorer 19 og 20 til et eksporttrykk på omtrent 60 bar. I det viste eksempel er eksporttrykket omtrent likt matetrykket av naturgasstrømmen CH₄ ved innløpet av den første varmeveksler 1. Begge eksportkompressorene 19 og 20
20 kompenserer følgelig friksjons- og varmetapene som oppstår i syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen 8. Disse tapene er høyere dersom ekspansjonen i syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen 8 er dypere og følgelig blir eksportkompressorytelsene proporsjonalt høyere. Den mekaniske ytelse til kjøleenheten 3 er hovedsakelig proporsjonal med forskjellen mellom den høye
25 kondensatortemperatur (T_{cond}) og den lave fordampertemperatur (T_{evap}). Hvis T₀ betegner omgivelsestemperatur vil: T_{cond} > T₀ > T_{evap}. Generelt fører dette til uttrykket for Carnot-virkningsgraden eller den teoretiske, maksimale kjøleytelse per enhet mekanisk ytelse for kjøleenheten 3:

$$30 \quad C.O.P_{Carnot} = \frac{Q_{cooling}}{W_{refrig}} = \frac{T_{evap}}{T_{cond} - T_{evap}}$$

For en propankjøleenhetsyklus med T_{evap} = -30 °C og T_{cond} = 40 °C, blir Carnot C.O.P lik 3,5. I en virkelig kjølemaskin vil tapene minske C.O.P, slik at: C.O.P_{actual} ≈ 2,5. For hver MW-kompressorytelse kan således 2,5 MW kjøleytelse
35 oppnås.

For en matestrøm på 10 kg/s og en spesifikk varme på 2,5 kJ/kg.K, vil en grad kjøling kreve 25 kW/K kjøleytelse. Følgelig vil kjølingen fra -20 °C → -30 °C vil kreve

en kjøleytelse på 250 kW. For en fordampningstemperatur på $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ vil dette tilsvare en mekanisk ytelse for kjøleenheten på 100 kW. Hvis tilleggskjølingen på $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ skal etableres ved en ekstra ekspansjon i en syklonekspansjons- og separasjonsinnretning, vil ekspansjonsforholdet (P/P_{feed}) måtte minske fra standardverdien $0,3 \rightarrow 0,25$ (dvs. dypere ekspansjon). Dette fører til et større trykktap over syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen 8, og følgelig en ekstra eksportkompressorytelse på omtrent 200 kW.

Hvis fordampertemperaturen i kjøleenheten 3 velges i det kryogeniske området som kan sammenliknes med NGL-reflukstemperaturer, dvs. $T_{\text{evap}} = -70\text{ }^{\circ}\text{C}$, vil C.O.P._{actual} for kjølemaskinen falle til $\approx 1,3$. Som konsekvens vil en kjøling fra $-60\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow -70\text{ }^{\circ}\text{C}$ fremdeles kreve en kjøleytelse på 250 kW selv om dette tilsvarer en mekanisk ytelse av kjøleenheten på 192 kW. Hvis denne tilleggskjøling skal oppnås i syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen 8, vil ekspansjonsforholdet fremdeles avta fra $0,3 \rightarrow 0,25$ selv om den ekstra nødvendige kompressorytelse blir redusert fra 200 kW til 170 kW. Dette forklares hovedsakelig ved at ytelsen til enhver kompressor er mindre ved lavere sugetemperatur og følgelig også den ytterligere ytelse.

Som konklusjon fra ovennevnte: for temperaturforløpet $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow -30\text{ }^{\circ}\text{C}$ er det mer effektivt å oppnå tilleggskjøling fra kjøleenheten 3 enn fra en dypere ekspansjon i syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen 8. Det motsatte er tilfelle for temperaturforløpet $-60\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow -70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ettersom COP av kjølemaskinen i kjøleenheten 3 faller gradvis med lavere temperaturer og krever mer kjøleeffekt. Som konsekvens, for den kombinerte syklonekspansjons- og separasjonsinnretningskjøleenhetsyklus 3,8, kan et optimum finnes for kjøleytelsen per enhet mekanisk ytelse ved å foreta et tydelig skille av de mekaniske ytelser mellom 1) mate-kompressoren og 2) kompressoren i kjølemaskinen i kjøleenheten 3.

Kjølingen i syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen 8 kan etableres ved å akselerere matestrømmen i dysen 10 til transonisk eller supersonisk hastighet. Ved transonisk eller supersonisk tilstand har trykket falt til typisk en faktor på $1/3$ av matetrykket, mens temperaturen faller til typisk en faktor på $3/4$ i forhold til matetemperaturen. Forholdet av T-fallet per enhet P-fall for en gitt matesammensetning blir bestemt med den isentropiske virkningsgrad av ekspansjonen som vil være $\geq 80\%$. Den isentropiske virkningsgrad uttrykker friksjons- og varmetapene som opptrer i syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen.

I den ekspanderte tilstand inne i syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen 8 er det meste av C_2+ -komponentene flytendegjort i en fin dråpedispersjon og separert via det ytre, sekundære fluidutløp 12. Ekspansjonsforholdet (P/P_{feed}) blir valgt slik at minst den angitte C_xH_y -gjenvinning blir kondensert til væske i dysen 10. Utenfor dysen 10 hvor fluidstrømmen blir akselerert og følgelig ekspandert og avkjølt, blir strømmen i syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen

8 delt i en væskeanrikt C_2+ -strøm (omtrent 20 masse%) og en væskemager C_1 -strøm (omtrent 80 % masse%).

C_1 -hovedstrømmen blir retardert i en diffuser i det sentrale fluidutløp 11, noe som fører til en stigning av trykk og temperatur. P-stigningen og den tilhørende T-
 5 stigning i diffuseren bestemmes både av den isentropiske virkningsgrad av ekspansjonen og den isentropiske virkningsgrad av gjenkomprimeringen. Den isentropiske virkningsgrad av ekspansjonen bestemmer den gjenværende kinetiske energi ved inngangen av diffuseren, mens den isentropiske virkningsgrad av gjenkomprimeringen bestemmes av tapene i diffuserutførelsen. Den isentropiske
 10 virkningsgrad av gjenkomprimeringen for syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen er omtrent 85 %. Det resulterende utløpstrykk av C_1 -hovedstrømmen er følgelig lavere enn matetrykket, men imidlertid høyere enn utløpstrykket av C_2+ -våtstrømmen, hvilket er lik fraksjonerings søylens driftstrykk.

Som et resultat av gjenkomprimeringen er temperaturen av C_1 -hovedstrømmen
 15 høyere enn temperaturen øverst i fraksjonerings søylen. Følgelig er den potensielle ytelse av C_1 -hovedstrøm for å forkjøre matingen, begrenset. Sistnevnte er en iboende begrensning ved en transonisk eller supersonisk syklonekspansjons- og separasjonsinnretning. Den iboende effektivitet av syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen er at den produserer en konsentrert superkjølt C_2+ -våtstrøm som mater
 20 fraksjonerings søylen. Både den reduserte strømningsmengde som mater fraksjonerings søylen og den relativt lave temperatur muliggjør separasjonsprosessen i søylen. For et LPG-system som omfatter en syklonekspansjons- og separasjonsinnretning, blir optimaliseringen C_2+ -gjenvinningen funnet ved frembringelse av en dypere ekspansjon i syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen (dvs. en minskning
 25 av forholdet P/P_{feed}) og/eller ved reduksjon av slippgasstrøm som kommer sammen med C_2+ -våtstrømmen. Begge foranstaltninger vil føre til en økning av trykktapet som må komprimeres til eksporttrykk.

Det er foretrukket at det ut fra termodynamiske simuleringer anslås et optimum for C_2+ -ytelse/MW-kompressorytelse for en viss ytelse av kjølekompressoren mot
 30 ytelsen av eksportkompressoren for å kompensere for trykktapet i syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen. Den nevnte kombinerte syklus kompenserer for mangelen med begrenset forkjøling. Fordamperen i kjølesyklusen kan være koplet til innløpet av syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen 8 for å superkjøle matestrømmen.

Fig. 2A-2D viser en Joule Thomson (JT) eller annen strupeventil som er
 35 forsynt med fluidvirvelanordning som kan brukes som et alternativ til syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen 8 vist på fig. 1.

JT-strupeventilen vist på fig. 2A-2D har en ventilgeometri som forbedrer koaleseringsprosessen av dråper som formes under ekspansjonen langs strømningsbanen til en Joule-Thomson- eller annen strupeventil. Disse større dråpene

kan separeres bedre enn i det tilfellet hvor en tradisjonell Joule-Thomson eller annen strupeventil brukes. For trausøyer reduserer dette medrivningen av væske til de øvre traue og forbedrer følgelig traueffektiviteten.

Ventilen vist på fig. 2A omfatter et ventilhus 21 hvor et stempelventillegeme 5 22 og en tilhørende perforert hylse 23 er glidbart anordnet, slik at når et tannhjul 24 på en ventilaksel 25 dreies, vil en tannet stempelstang 26 skyve stempelventillegemet opp og ned inn i en fluidutløpskanal 27 som vist med pilen 28. Ventilen har en fluidinnløpskanal 29 med en ringformet nedstrømsdel 29A som kan omslutte stempelet 22 og/eller den perforerte hylse 23, og strømmen av fluid som får strømme fra 10 fluidinnløpskanalen 29 inn i fluidutløpskanalen 27, blir regulert av den aksiale posisjon av stempelventillegemet 22 og den tilhørende perforerte hylse 23. Den perforerte hylse 23 omfatter skrå ikke-radiale perforeringer 30 som får fluidet til å strømme i en virvelbevegelse i fluidutløpskanalen 27 som vist med pilen 34. Et prosjektilformet virvelledende legeme 35 er festet til stempelventillegemet 22 og anordnet koaksialt 15 med en sentral akse 31 i det indre av den perforerte hylse 23 og fluidutløpskanalen 27 for å forbedre og regulere virvelbevegelsen 34 av fluidstrømmen i utløpskanalen 27.

Fluidutløpskanalen 27 omfatter en rørformet strømningsdeler 39 som atskiller et hovedfluidutløpsledningsrør 11 for transport av metananrikt fraksjon tilbake til den første varmeveksler 1 vist på fig. 1, fra et ringformet, andre fluidutløp 40 for transport 20 av metanutarmet fraksjon via ledningsrøret 13 til fraksjoneringsøylen 7 vist på fig. 1.

Fig. 2B viser i detalj at de skrå eller ikke-radiale perforeringer 30 er sylindriske og boret i en valgt delvis tangential orientering i forhold til den sentrale akse 31 av fluidutløpskanalen 27, slik at den langsgående akse 32 av hver av perforeringene 30 krysser den sentrale akse 31 i en avstand D som er mellom 0,2 og 1 og fortrinnsvis 25 mellom 0,5 og 0,99 ganger den innvendige radius R av hylsen 23.

På fig. 2B er den nominelle materialtykkelse av den perforerte hylse 23 benevnt med t og bredden av de sylindriske perforeringer 30 er benevnt med d . I en alternativ utførelse av ventilen ifølge oppfinnelsen, kan perforeringene 30 være ikke-sylindriske, for eksempel firkantede, rektangulære eller stjerneformet, og i et slikt 30 tilfelle er bredden d av perforeringene 30 en gjennomsnittsbredde dannet som fire ganger tverrsnittsarealet av perforeringen 30 dividert med omkretsen av perforeringen 30. Det er foretrukket at forholdet d/t er mellom 0,1 og 2 og mer foretrukket mellom 0,5 og 1.

De skrå perforeringer 30 frembringer en virvelstrøm i fluidstrømmen som 35 strømmer gjennom fluidutløpskanalen 27 som vist med pilen 34. Virvelbevegelsen kan også bevirkes av en spesifikk geometri av ventilkanten og/eller virvelføringslegemet 35. I ventilen ifølge oppfinnelsen er det tilgjengelige frie trykk brukt for isentalpisk ekspansjon for å frembringe en virvelstrøm i fluidstrømmen. Den kinetiske energi blir

da hovedsakelig bortledet ved dempning av virvelen langs en forlenget rørlengde nedstrøms av ventilen.

Fig. 2C og 2D viser at fordelingen med å frembringe en virvelstrøm i utløpskanalen av ventilen, er todelt:

- 5 1. Vanlig hastighetsmønster → mindre grenseflateskjærkraft → mindre dråpeoppbrytning → større dråper.
2. Konsentrasjonen av dråper i den ytre periferi 27A av strømningsarealet av fluidutløpskanalen 27 → stor tetthet → forbedret koalesens → større dråper 38.

Selv om hvilken som helst Joule-Thomson- eller annen strupeventil kan brukes for å frembringe en virvelstrøm i syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen i fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen, er det foretrukket å bruke en strupeventil som levert av Mokveld Valves B.V. og som er beskrevet i deres internasjonale patentsøknad WO 2004083691.

Man vil forstå at hver kjøle- og separeringsmetode som brukes i NGL-
 15 gjenvinningsystemer, har sitt tydelige optimum når det gjelder energieffektivitet. Det skal også bemerkes at de nær isentropiske kjølemetoder er mer energieffektive enn de isentalpiske metoder, og at av de isentropiske kjølemetoder er syklonekspansjonsinnretninger mer kostnadseffektive enn turboekspandermaskiner selv om de er mindre energieffektive. I overensstemmelse med oppfinnelsen er det overraskende blitt
 20 oppdaget at kombinasjonen av en isentalpisk kjølesyklus (for eksempel en mekanisk kjøleenhet) og en nær isentropisk kjølemetode, fortrinnsvis syklonekspansjons- og separasjonsinnretninger, gir en synergi med hensyn til energieffektivitet, dvs. total ytelse per enhetsvolum NGL som produseres. Man vil forstå at forskjellige syklonekspansjons- og separasjonsinnretninger gir forskjellige isentropiske
 25 virkningsgrader.

En foretrukket dysesammenstilling i syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen ifølge oppfinnelsen omfatter en sammenstilling med virvelgivende skovler anordnet oppstrøms av dysen, og gir en isentropisk virkningsgrad $\geq 80\%$, mens andre syklonekspansjons- og separasjonsinnretninger med en tangential
 30 innløpsdel og som benytter en motstrømsvirvelstrøm (for eksempel Ranque Hilsch virvelrør) har en vesentlig lavere isentropisk ekspansjonsvirkningsgrad $< 60\%$.

P a t e n t k r a v

5 1. Fremgangsmåte for å kjøle en naturgasstrøm og separere den nedkjølte gasstrøm i forskjellige fraksjoner med forskjellig kokepunkt, for eksempel metan, etan, propan, butan og kondensater, omfattende:

- å kjøle gasstrømmen i minst én varmevekslersammenstilling (1, 2,3),
 - å separere den kjølte gasstrøm i en innløpsseparasjonstank (4) til en
 10 metananrikt fluidfraksjon (5) og en metanutarmet fluidfraksjon (6), **karakterisert ved:**

- å mate den metanutarmede fluidfraksjon (6) fra innløpsseparasjonstanken (4) til en fraksjonerings søyle (7) hvor den metanrike fluidfraksjon blir separert fra en metanmager fluidfraksjon,

15 - å mate minst en del av den metananrikede fluidfraksjon (5) fra innløpsseparasjonstanken (4) til en syklonekspansjons- og separasjonsinnretning (8) hvor fluidfraksjonen blir ekspandert og derved ytterligere avkjølt og separert til en metanrik, vesentlig gassformig fluidfraksjon (11) og en metanutarmet, vesentlig flytende fluidfraksjon (13), og

20 - å mate den metanutarmede fluidfraksjon (13) fra syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen (8) inn i fraksjonerings søylen (7) for ytterligere separasjon,

- hvor syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen (8) omfatter:
 a) en sammenstilling av virvelgivende skovler (9) for å bevirke en virvelbevegelse av den metananrikede fluidfraksjon (5), hvor skovlene (9) er anordnet oppstrøms av en
 25 dyse (10) i hvilken den metananrikede fluidfraksjon (5) blir akselerert og ekspandert og derved ytterligere kjølt, slik at sentrifugalkrefter separerer den virvlende fluidstrøm til en metanrik fluidfraksjon og en metanutarmet fluidfraksjon, og syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen (8) videre omfatter en sammenstilling av virvelgivende skovler (9) som rager ut i en i det minste delvis radial retning fra et torpedoformet,
 30 sentralt legeme oppstrøms av dysen, og som har større ytterdiameter enn dysens (10) innerdiameter, eller

b) en strupeventil med en utløpsdel som er forsynt med en virvelgivende anordning (23) som bevirker en virvelbevegelse, ved perforeringer (30) i delvis tangential orientering i forhold til en sentral akse (31) av fluidutløpskanalen (27), av
 35 fluidstrømmen som strømmer gjennom fluidutløpskanalen (27), for derved å bringe væskedråper til å virvle mot den ytre periferi av fluidutløpskanalen (27) og til å koalesere.

2. Fremgangsmåte ifølge krav 1, **karakterisert ved** at naturgasstrømmen blir kjølt i en varmevekslersammenstilling som omfatter en første varmeveksler (1) og en

kjøleenhet (3), slik at den metananrikede fluidfraksjon (5) som tilføres til et innløp av syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen (8) har en temperatur mellom -20 og -60 grader Celsius, og hvor den kjølte metanrike fraksjon fra syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen blir ført gjennom den første varmeveksler (1) for å kjøle
5 gasstrømmen.

3. Fremgangsmåte ifølge krav 1 eller 2, **karakterisert ved** at varmevekslersammenstillingen videre omfatter en andre varmeveksler (2) hvor den kjølte naturgasstrøm fra den første varmeveksler (1) blir ytterligere kjølt før naturgasstrømmen blir matet til kjøleenheten, og hvor kaldt fluid fra en bunndel av fraksjoneringsøylen (7) blir tilført den andre varmeveksler (2) for kjøling av
10 naturgasstrømmen i den andre varmeveksler (2).

4. System for å kjøle en naturgasstrøm og separere den nedkjølte gasstrøm i forskjellige fraksjoner med forskjellig kokepunkt, for eksempel metan, etan, propan, butan og kondensater, idet systemet omfatter;

- 15 - minst én varmevekslersammenstilling (1, 2, 3) for å kjøle naturgasstrømmen,
- en innløpssepareringstank (4) for å separere den kjølte naturgasstrøm med et øvre utløp for å avgi en metananriket fluidfraksjon (5) og et nedre utløp for å avgi en metanutarmet fluidfraksjon (6), **karakterisert ved** :
 - 20 - en fraksjoneringsøyel (7) som er koplet til det nedre utløp av innløpssepareringstanken (4), i hvilken øylen minst noe av den metanutarmede fluidfraksjon som avgis fra det nedre utløpet av innløpssepareringstanken (4) blir ytterligere separert i en metanrik, vesentlig gassformig fluidfraksjon og en metanmager, vesentlig flytende fluidfraksjon,
 - en syklonekspansjons- og separasjonsinnretning (8) som er koplet til det øvre
25 utløp av innløpssepareringstanken (4), i hvilken innretning den metananrikede fluidfraksjon (5) blir ekspandert og derved ytterligere kjølt og separert til en metanrik fluidfraksjon og en metanutarmet fluidfraksjon (6), og
 - et tilførselsledningsrør for å mate den metanutarmede fluidfraksjon fra syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen til fraksjoneringsøylen for ytterligere
30 separasjon,
 - hvor syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen omfatter::
 - a) en sammenstilling av virvelgivende skovler (9) for å påtvinge en virvelbevegelse på den metananrikede fluidfraksjon (5), idet skovlene (9) er anordnet oppstrøms av en
35 dyse (10) hvor den metananrikede fluidfraksjon (5) blir akselerert og ekspandert og derved ytterligere kjølt, slik at sentrifugalkrefter separerer virvelfluidstrømmen i en metanrik fluidfraksjon og en metanutarmet fluidfraksjon (6), og syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen videre omfatter en sammenstilling av virvelgivende skovler som rager ut i en i det minste delvis radial retning fra et torpedoformet, sentralt legeme oppstrøms av dysen, og som har større ytterdiameter enn dysens innerdiameter, eller

b) en strupeventil med en utløpsdel som er forsynt med en virvelgivende anordning (23) som bevirker en virvelbevegelse ved perforeringer (30) i delvis tangential orientering i forhold til en sentral akse (31) av fluidutløpskanalen (27), av fluidstrømmen som strømmer gjennom fluidutløpskanalen, for derved å bringe væskedråper til å virvle mot den ytre periferi av fluidutløpskanalen (27) og koalesere.

5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
70
75
80
85
90
95
100
105
110
115
120
125
130
135
140
145
150
155
160
165
170
175
180
185
190
195
200
205
210
215
220
225
230
235
240
245
250
255
260
265
270
275
280
285
290
295
300
305
310
315
320
325
330
335
340
345
350
355
360
365
370
375
380
385
390
395
400
405
410
415
420
425
430
435
440
445
450
455
460
465
470
475
480
485
490
495
500
505
510
515
520
525
530
535
540
545
550
555
560
565
570
575
580
585
590
595
600
605
610
615
620
625
630
635
640
645
650
655
660
665
670
675
680
685
690
695
700
705
710
715
720
725
730
735
740
745
750
755
760
765
770
775
780
785
790
795
800
805
810
815
820
825
830
835
840
845
850
855
860
865
870
875
880
885
890
895
900
905
910
915
920
925
930
935
940
945
950
955
960
965
970
975
980
985
990
995

5. System ifølge krav 4, **karakterisert ved** at syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen er en strupeventil som omfatter et hus (21), et ventillegeme (22) som er bevegelig anordnet i huset (21), slik at ventillegemet (22) styrer fluidstrømmen fra en fluidinnløpskanal (29) inn i fluidutløpskanalen (27) av ventilen som videre omfatter en perforert hylse (23) via hvilken fluid strømmer fra fluidinnløpskanalen (29) inn i fluidutløpskanalen (27) hvis ventillegemet (22) ved bruk tillater fluid å strømme fra fluidinnløpskanalen (29) inn i fluidutløpskanalen (27), idet minst noen perforeringer (30) av hylsen (23) har en i det minste delvis tangential orientering i forhold til en langsgående akse av hylsen, slik at flerfasefluidstrømmen bringes til å virvle i fluidutløpskanalen og væskedråper bringes til å virvle mot den ytre periferi av fluidutløpskanalen (27) og til å koalesere til større væskedråper.

6. System ifølge krav 4, **karakterisert ved** at en gassvæske-separasjonssammenstilling (39) er koplet til utløpskanalen (27) fra strupeventilen, i hvilken sammenstilling væske- og gassfaser av fluidet som avgis av ventilen blir i det minste delvis separert.

7. System ifølge krav 4, **karakterisert ved** at systemet videre omfatter en matekompressor og en luftkjøler som er anordnet oppstrøms av den første varmeveksler (1).

8. System ifølge krav 4, **karakterisert ved** at systemet er forsynt med en temperaturreguleringsanordning som er konfigurert for å opprettholde temperaturen i et innløp til syklonekspansjons- og separasjonsinnretningen mellom -20 og -60 grader Celsius.

9. Fremgangsmåte ifølge krav 1, **karakterisert ved** at syklonekspansjonsinnretningen (8) omfatter en dyse (10) og den isentropiske virkningsgrad av ekspansjonen i dysen (10) i syklonekspansjonsinnretningen (8) er minst 80 %.

1/2

FIG. 1