



(12) PATENT

(19) NO

(11) 337398

(13) B1

NORGE

(51) Int Cl.

C10G 9/20 (2006.01)
C22C 38/40 (2006.01)
C07C 4/02 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20050493	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2003.05.08 PCT/EP2003/04827
(22)	Inng.dag	2005.01.28	(85)	Videreføringsdag	2005.01.28
(24)	Løpedag	2003.05.08	(30)	Prioritet	2002.07.25, DE, 10233961
(41)	Alm.tilgj	2005.03.17			
(45)	Meddelt	2016.04.04			
(73)	Innehaver	Schmidt + Clemens GmbH + Co KG, Edelstahlwerk Kaiserau, Leppestrasse 2, DE-51789 LINDLAR, Tyskland			
(72)	Oppfinner	Benno Ganser, An der Hühnerhecke 4, DE-63755 ALZENAU, Tyskland Rolf Kirchheiner, Teichstrasse 70, DE-58644 ISERLOHN, Tyskland Peter Wölper, Am Escheberger Weg 37, DE-34289 ZIERENBERG, Tyskland Dietlinde Jakobi, Bülowstrasse 19, DE-50733 KÖLN, Tyskland			
(74)	Fullmektig	Håmsø Patentbyrå ANS, Postboks 171, 4302 SANDNES, Norge			
(54)	Benevnelse	Ribberør for termisk spalting av hydrokarboner			
(56)	Anførte publikasjoner	EP 1136541 A1 US 5950718 A			
(57)	Sammendrag				

I en fremgangsmåte for termisk spalting av hydrokarboner under nærvær av damp, passerer ladeblandingen gjennom eksternt oppvarmede rør med spiralformede indre ribber, og for å gjøre temperaturen i rørveggen og i rørtverrsnittet mer ensartet, så vel som å redusere avleiringen av pyrolysekoks på rørets innervegg, blir en virvelstrøm generert i gassblandingen og blir gradvis smeltet sammen i en kjernesone med en overveiende aksial strømning med økende radial avstand fra ribbene.

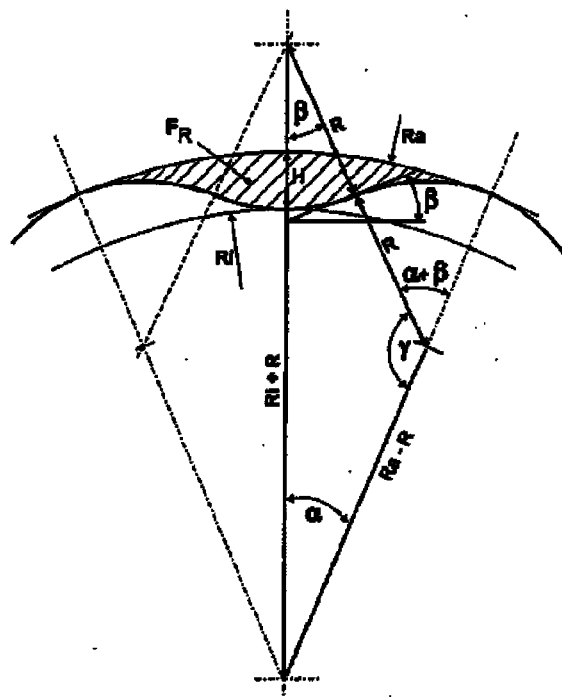


Illustration of a profile segment for mathematical definition of flank angle (β) and profile radii (R)

RIBBERØR FOR TERMISK SPALTING AV HYDRO-KARBONER

Oppfinnelsen vedrører et ribberør for termisk spalting (cracking) av hydrokarboner under nærvær av damp, i hvilken ladeblandingen blir ført gjennom eksternt oppvarmede rør med spiralformede indre ribber.

5 Rørovner i hvilke en hydrokarbon/dampblanding blir ført gjennom en serie av individuelle eller buktende rør (spaltingsrørspiraler) ved temperaturer over 750°C fremstilt av varmebestandige krom-nikkel-stållegeringer med en høy motstand mot oksidering eller avskal-
ling og en høy motstand mot karburering (oppkulling) har vist seg egnet til høytemperatur
pyrolyse av hydrokarboner (derivater av råolje). Rørspiralene innbefatter vertikalt førende,
10 rette rørseksjoner som er festet til hverandre via U-formede rørbend eller er anordnet par-
allelt med hverandre; de er vanligvis varmet opp ved hjelp av sideveggbrennere og i noen
tilfeller ved hjelp av bunnbrennere og derfor har hva som er kjent som en lys side som
vender mot brennerne, og en mørk side som er forskjøvet med 90° med hensyn dertil, det
vil si går i samme retning som raden av rør. De gjennomsnittlige temperaturer i rørmaterialet
15 (tube metal temperatur = TMT) er i noen tilfeller over 1000°C.

Levetiden til spaltingsrørene avhenger i svært betydelig grad av krypmotstanden og kar-
bureringsmotstanden og også forkoksingsraten til rørmaterialet. En avgjørende faktor for
forkoksingsraten, det vil si veksten av et sjikt av karbonavleiringer (pyrolysekoks), på rø-
rets innveg er, i tillegg til typen av anvendte hydrokarboner, temperaturen til spaltings-
20 gassen i området ved innerveggen og det som er kjent som driftsbelastningen, som skju-
ler påvirkningen av systemtrykket og oppholdstiden i rørsystemet på utbyttet av etylen.
Driftsbelastningen er satt på grunnlag av gjennomsnittlig utgangstemperatur på spaltings-
gassen (f.eks. 850°C). Jo høyere gasstemperaturen i nærheten av rørrinnerveggen er over
denne temperatur, jo mer omfattende blir veksten av sjiktet av pyrolysekoks, og den isole-
25 rende virkning av dette sjikt tillater temperaturen å øke enda ytterligere. Selv om krom-
nikkel-stål-legeringer som inneholder 0,4 % karbon, over 25 % krom og over 20 % nikkel,
for eksempel 35 % krom, 45 % nikkel og hvis formålstjenlig 1 % niob, og som er brukt som

rørmateriale, har en høy motstand mot karburering, diffunderer karbonet inn i rørveggen ved defekter i oksidsjiktet, hvor det fører til betraktelig karburering som kan beløpe seg til karboninnhold fra 1 % til 3 % ved veggdybder fra 0,5 til 3 mm. Dette er forbundet med betydelig sprøhet i rørmaterialet, med risiko for sprekkdannelse i tilfelle av fluktuerende termiske belastninger, særlig når ovnen startes opp og stenges av.

For å bryte ned karbonavleiringene (forkoksingen) på rørets innervegg, er det nødvendig at spaltingsoperasjonen avbrytes fra tid til annen for at pyrolysekoksen kan bli brent ved hjelp av en damp/luft-blanding. Dette krever at driften stanses for opptil 36 timer, og dermed har en betydelig ugunstig effekt på økonomien til prosessen.

Det er også kjent fra GB patent 969 796 å bruke spaltingsrør med indre ribber. Selv om ribber av denne type fører til et indre overflateområde som er ganske mange prosent større, for eksempel 10%, med en korresponderende forbedring av varmeoverføring, er de også forbundet med ulempen ved et betydelig øket trykktap sammenliknet med et glatt rør, på grunn av friksjon ved den forstørrede indre overflate. Det høyere trykktap krever et høyere systemtrykk, hvilket uvilkårlig endrer oppholdstiden og har en ugunstig effekt på utbyttet. En tilleggsfaktor er at de kjente rørmaterialer med høyt innhold av karbon og krom ikke lenger kan profileres ved kaldbearbeiding, for eksempel kaldtrekking. De har den ulempe at deres deformasjonsegenskap avtar meget når varmestyrken stiger. Dette har ført til de høye temperaturer i rørmetall på for eksempel opp til 1050°C, hvilket er ønskelig med hensyn til utbyttet av etylen, noe som krever bruk av sentrifugestøpte rør. Siden sentrifugestøpte rør imidlertid bare kan fremstilles med en sylindrisk vegg, kreves spesielle formingsprosesser, for eksempel fjerning av materiale ved elektrolytisk maskinering eller en formende sveiseprosess dersom rør med indre ribber skal produseres.

EP1,136,541A1 og US5,950,718 viser noen andre spaltingsløsninger.

På bakgrunn av dette er oppfinnelsen basert på problemet med å forbedre økonomien i den termiske spalting av hydrokarboner i rørformede ovner med eksternt oppvarmede rør som har spiralførmede indre ribber.

Oppfinnelsen er definert av det selvstendige patentkravet. De selvstendige kravene definerer fordelaktige utførelser av oppfinnelsen.

Formålet er oppnådd ved et ribberør hvor en virvelstrøm blir generert i den umiddelbare nærhet av ribbene til fortrinnsvis sentrifugestøpte rør, og denne virvelstrøm blir konvertert til en kjernesone med en overveiende aksial flyt med økende radial avstand fra ribbene.

Overgangen mellom den ytre sone med virvelstrømmen og kjernesonen med den overveiende aksiale flyt er gradvis, for eksempel parabolisk.

I ribberøret ifølge oppfinnelsen, tar virvelstrømmen opp den løsrevne turbulens ved ribbeflankene, slik at turbulensen ikke blir resirkulert lokalt i form av en kontinuerlig sirkulerende flyt inn i ribbeforsenkningene. Til tross for de åpenbart lengre distansene dekket av partiklene gjennom spiralbanene, er gjennomsnittlig oppholdstid lavere enn i et glatt rør og dessuten mer homogen gjennom tverrsnittet (se Fig. 7). Dette blir bekreftet av den høyere generelle hastighet i det profilerte rør med virvel (profil 3) sammenliknet med røret med rette ribber (profil 2). Dette sikres særskilt dersom virvelstrømmen i området ved ribbene, henholdsvis ribbene har en vinkel på 20° til 40°, for eksempel 30°, fortrinnsvis 25 til 32,5°, i forhold til rørets lengdeakse.

I ribberøret ifølge oppfinnelsen blir tilførselen av varme, som uunngåelig er forskjellig på lys- og skyggesiden av røromkretsen, kompensert for i rørveggen og rørets indre, og varmen blir hurtig spredt innover til kjernesonen. Dette er forbundet med en reduksjon i risikoen for lokal overoppheting av prosessgassen ved rørveggen, med den resulterende dannelse av pyrolysekoks. Dessuten er den termiske belastning på rørmaterialet lavere på grunn av temperaturkompensasjonen mellom lys- og skyggesiden, hvilket øker levetiden. Endelig blir temperaturen i ribberøret ifølge oppfinnelsen også gjort mer ensartet i rørtverrsnittet, hvilket fører til et forbedret olefinutbytte. Grunnen til dette er at uten den radiale temperaturkompensering ifølge oppfinnelsen i rørets indre, ville overspalting finne sted ved den varme rørvegg og rekombinering av spaltingsprodukter ville oppstå i senter av røret.

Enn videre blir et laminært flytsjikt, som er karakteristisk for turbulente strømmer, med sterkt redusert varmeoverføring dannet med et glatt rør og i sterkere grad med ribbeprofiler med en indre omkrets som er øket med mer enn 5%, for eksempel 10%, med ribber. Denne laminære strømning fører til økt dannelse av pyrolysekoks med en dårlig termisk ledningsevne. De to sjikt til sammen krever større tilførsel av varme eller en høyere brennerkapasitet. Dette øker rørmetallets temperatur (TMT) og forkorter levetiden tilsvarende.

Oppfinnelsen hindrer dette i kraft av det faktum at den indre omkrets av profilen utgjør rundt høyst 5 %, for eksempel 4 % eller til og med 3,5 %, med hensyn på omkretsen på innhyllingssirkelen som berører ribbeforsenkningene. Imidlertid kan den indre omkrets være opp til 2 % mindre enn innhyllingssirkelen. Med andre ord, den relative profilomkret-

sen utgjør høyst 1,05 til 0,98 % av omkretsen til innhyllingssirkelen. Følgelig utgjør differensen i areal til profilrøret ifølge oppfinnelsen, det vil si dets samlede indre overflateareal, i forhold til et glatt rør med diameter tilsvarende innhyllingssirkelen høyst +5 % til -2 % eller 1,05 til 0,98 ganger arealet til det glatte rør.

- 5 Rørprofilen ifølge oppfinnelsen muliggjør en mindre rørtetthet (kg/m) sammenliknet med et ribberør i hvilket den indre omkrets av profilen er minst 10 % større enn omkretsen til innhyllingssirkelen. Dette blir demonstrert ved en sammenlikning mellom to rør med samme hydrauliske diameter og følgelig det samme trykktap og det samme termiske resultat.

- 10 En ytterligere fordel med den profilerte omkrets ifølge oppfinnelsen (relativ profilomkrets) med hensyn til innhyllingssirkelomkretsen er hurtigere oppvarming av ladegassen ved en redusert rørmøtalltemperatur.

- 15 Virvelstrømmen ifølge oppfinnelsen reduserer i sterk grad omfanget av laminærsjiktet; dessuten er det tilknyttet en hastighetsvektor rettet mot rørets senter, hvilket reduserer oppholdstiden til spaltingsradikaler og/eller spaltingsprodukter ved den varme rørvegg og den kjemiske og katalytiske dekomponeringen derav til å danne pyrolysekoks.

- 20 I tillegg blir temperaturdifferensen mellom ribbeforsenkninger og ribber, som ikke er uvesentlige med hensyn til innvendig profilerte rør med høye ribber, kompensert for ved virvelstrømmen ifølge oppfinnelsen. Dette øker tiden mellom to påkrevde koks fjerningsoperasjoner. Uten virvelstrømmen ifølge oppfinnelsen oppstår en ikke ubetydelig temperaturdifferanse mellom ribbetoppene og grunnlinjen til ribbeforsenkningene. Oppholdstiden til spaltingsproduktene som er tilbøyelig til å danne koks, er kortere med hensyn til spaltingsrør tilveiebrakt med spiralformede indre ribber. Dette avhenger av beskaffenheten til ribbene i de enkelte omstendigheter.

I diagrammet:

- | | | |
|----|----------------------------|--|
| 25 | viser den øverste kurve: | profil 6: 16° stigning |
| | viser den midterste kurve: | profil 3: 30° stigning |
| | viser den nederste kurve: | profil 4: 3 finner med 16°
stigning |

- 30 Kurvene viser tydelig at den høyere periferihastighet til profil 6 med 4,8 mm høye ribber blir brukt opp innen ribbeforsenkningene, mens derimot periferihastigheten til profilen ifølge oppfinnelsen med en ribbehøyde på bare 2 mm penetrerer inn i kjernen av strømmen.

Til tross for at periferihastigheten til profil 4 med bare 3 ribber er tilnærmet like høy, forårsaker den ingen spiralakselerasjon i kjernestrømningen.

Ifølge kurvene vist i diagrammet presentert i Fig. 2, forårsaker profilen ifølge oppfinnelsen en spiralakselerasjon i ribbeforsenkningene (øverste gren av kurven) som dekker store deler av rørets tverrsnitt og er derfor ansvarlig for homogenisering av temperaturen i røret. Den lavere periferihastighet ved ribbetoppene (nederste gren av kurven) sikrer ytterligere at ingen turbulens og tilbakestrømning oppstår.

Fig. 3 viser tverrsnittet av tre testrør, innbefattet deres data; disse rør innbefatter profil 3 ifølge oppfinnelsen. Hver av diagrammene indikerer temperaturprofilen tvers over rørets radius på skyggesiden og på lyssiden. En sammenlikning av diagrammene avslører den lavere temperaturdifferanse mellom rørvegg og rørsenter og den lavere gasstemperatur ved rørveggen med hensyn til profil 3 ifølge oppfinnelsen.

Virvelstrømmen ifølge oppfinnelsen sikrer at fluktuasjonen i innerveggtemperaturen langs omkretsen av røret, det vil si mellom lys- og skyggesiden, er mindre enn 12°C , selv om rørs spiralene, som vanligvis er anordnet parallelle rader, i en rørovn blir oppvarmet eller påvirket av forbrenningsgasser ved hjelp av sideveggbrennere kun på motstående sider og at rørene derfor hver har en lysside mot brennerne, og en skyggeside, som er forskjøvet 90° med hensyn dertil. Den gjennomsnittlige rørmøtalltemperatur, det vil si differensen i rørmøtalltemperaturen på lys- og skyggesiden, fører til indre spenninger, og avgjør der ved levetiden til rørene. Derfor fører reduksjonen i gjennomsnittlig rørmøtalltemperatur på 11° i et rør ifølge oppfinnelsen med åtte ribber med en stigning på 30° , en indre rørdiameter på 38,8 mm og en ytre rørdiameter på 50,8 mm, det vil si en differanse i høyde mellom ribbebunner og ribbetopper på 2 mm sammenliknet med et glatt rør med den samme diameter, basert på en gjennomsnittlig levetid på 5 år, som kan sees i diagrammet presentert i Fig. 4, til en kalkulert økning i levetid til omtrent 8 år ved en arbeidstemperatur på 1050°C .

Temperaturfordelingen mellom lys- og skyggesiden for de tre profilene vist i Fig. 3 kan finnes i diagrammet vist i Fig. 5. Det lavere nivå på temperaturkurven for profilen 3 sammenliknet med det glatte rør (profil 0) og det betraktelig smalere fluktasjonsområdet for profil 3-kurven sammenliknet med profil 1-kurven er verd å legge merke til.

En spesielt hensiktsmessig temperaturfordeling oppstår dersom isothermene løper i spiralform fra rørets innervegg til strømningens kjerne.

En mer ensartet temperaturfordeling over tverrsnittet oppnås spesielt dersom periferihastigheten bygges opp innen 2 til 3 m og deretter forblir konstant gjennom hele lengden av røret.

Med et mål å oppnå et høyt olefinutbytte med en relativt kort rørlengde, burde ribberøret ifølge oppfinnelsen drives slik at temperaturhomogenitetsfaktoren over tverrsnittet og temperaturhomogenitetsfaktoren i forhold til på den hydrauliske diameter er over 1 i forhold til homogenitetsfaktoren til et glatt rør ($H_{G\emptyset}$). I denne kontekst er homogenitetsfaktorer definert som følger:

$$H_{G\emptyset}[-]H_{P\emptyset} = \Delta T_0 \cdot d_x / \Delta T_x \cdot d_0$$

Strømningskonfigurasjonen ifølge oppfinnelsen, innbefattende kjernestrøm og virvelstrøm, kan oppnås med et ribberør i hvilket flankevinkelen til ribbene, som i hvert tilfelle er kontinuerlige gjennom lengden av en rørseksjon, det vil si at den eksterne vinkel mellom finneflankene og rørets radius, er 16° til 25° , foretrukket 19° til 21° . En flankevinkel av denne type, spesielt i kombinasjon med en ribbestigning fra 20° til 40° , for eksempel $22,5^\circ$ til $32,5^\circ$, sikrer at det som oppstår i ribbeforsenkningene ikke er en mer eller mindre kontinuerlig virvelstrøm som returnerer til ribbeforsenkningene bak ribbeflankene og fører til dannelsen av uønskede "twisters" i ribbeforsenkningene. Snarere blir turbulensen som dannes i ribbeforsenkningene, revet løs fra ribbeflankene og tatt opp av virvelstrømmen. Virvelenergien bevirket av ribbene akselererer gasspartiklene og fører til en høyere samlet hastighet. Dette fører til en reduksjon i rørmottemperatur, og gjør også den sistnevnte mer ensartet, så vel som at den gjør temperaturen og oppholdstiden over rørets tverrsnitt mer ensartet. Beskaffenheten til ribberøret ifølge oppfinnelsen kan sees fra illustrasjonene av et rørsegment i Fig. 6 og de tilhørende karakteristiske parametere

- Hydraulisk diameter D_h i mm, $R_i \leq D_h/2$
- Flankevinkel β
- Ribbehøyde H
- Innhyllingssirkelradius $R_a = R_i + H$ og $D_a = 2 \times R_a$
- Sentervinkel α
- Kurvatures radius $R = R_a (\sin \alpha/2 \sin \beta + \sin \alpha)$
- Innhyllingssirkelomkrets $2\pi R_a$
- Vinkel i den skjevinklede trekant $\gamma = 180 - (\alpha + \beta)$
- Indre radius $R_i = 2R (\sin \gamma / \sin \alpha) - R$
- Finnehøyde $H = R_a - R_i$

- Profilomkrets $U_P = 2 \times \text{antall ribber} \times \pi R / 180 (2 \beta + \alpha)$
- Ribbeoverflateareal F_R
- Innhyllingssirkelens areal $F_a = \pi D_a^2 / 4$
- Areal av den indre sirkel $F_i = \pi \cdot D_i$
- 5 - Profilareal innen omhyllingssirkelen $F_P = F_R \times \text{antall ribber}$
- Profilomkrets $U_p = (1,05 \text{ to } 0,98) \cdot 2 \pi R a$

Ribbene og ribbeforsenkningene som er lokalisert mellom ribbene, kan være av speil-symmetrisk konstruksjon i tverrsnitt og grense opp til hverandre eller kan danne en bølge-
linje med i hvert tilfelle de samme kurvaturradier. Flankevinkelen oppstår derved mellom
10 tangentene til de to kurvaturradier ved berøringspunktet og rørets radius. I dette tilfellet er
ribbene relativt grunne; ribbehøyde og flankevinkel er tilpasset hverandre på en slik måte
at den hydrauliske diameter til profilen fra forholdet $4 \times \text{fri tverrsnitt/profilomkrets}$ er større
enn eller lik profilens indre sirkel. Den hydrauliske diameter er derfor i den indre tredjedel
av profilhøyden. Følgelig øker ribbehøyden og antall ribber når diameteren blir større, slik
15 at virvelstrømmen blir vedlikeholdt i den retning og intensitet som er nødvendig for profi-
lens aksjon.

En større strømningshastighet (Fig. 2) oppstår mellom ribbene eller i ribbeforsenkningene,
som fører til en selvrensende virkning, det vil si til en reduksjon i mengdene av avleiret
pyrolysekoks.

20 Dersom ribbene blir fremstilt ved påleggssveising eller dekkssveising hvor et sentrifugal-
støpt rør anvendes, forblir rørvæggen mellom ribbene i det vesentlige uendret, slik at
ribbeforsenkningene ligger på en felles sirkel som samsvarer med den indre omkretsen til
det sentrifugalstøpte rør.

Uavhengig av rørets indre diameter har forsøk vist at totalt 8 til 12 ribber er tilstrekkelig til
25 å oppnå strømningskonfigurasjonen ifølge oppfinnelsen.

Med hensyn til ribberøret ifølge oppfinnelsen, er forholdet mellom kvotientene til varme-
overføringskoeffisientene Q_R/Q_0 og kvotienten til trykktapene $\Delta P_R/\Delta P_0$ i vanntesten, under
anvendelse og iakttagelse av likhetslovene og ved bruk av Reynolds tall gitt for en naf-
ta/damp-blanding, fortrinnsvis fra 1,4 til 1,5, hvor R betegner et ribberør og 0 betegner et
30 glatt rør.

Overlegenheten til ribberøret ifølge oppfinnelsen (profil 3) sammenliknet med et glatt rør
(profil 0) og et ribberør med åtte parallelle ribber (profil 1), mellom hvilke den radiale av-

stand mellom ribbebunnene og ribbetoppene er 4,8 mm, blir illustrert ved dataene presentert i tabellen nedenfor. Ribberørene har alle 8 ribber og den samme omhyllingssirkelen.

PROFIL:	0	1	3
Fluidtemp. ved 9950 mm i senteret T_m [°C]	843,6	848,1	843,0
Fluidtemp. ved 9950 mm i kanten T_r [°C]	888,9	894	874,8
Temperaturområde ved 9950 mm $\Delta T = T_m - T_r$ [°C]	45,3	45,9	31,8
Homogenitetsfaktor for det glatte rør H ved $H_t = \Delta T_g / \Delta T_k$	1	0,9869281	1,42455283
Hydraulisk diameter D_h [m]	0,0380	0,0256	0,0344
Homogenitetsfaktor referert til hydraulisk diameter basert på det glatte rør $H_{t\emptyset} : H_{t\emptyset} = \Delta T_0 \cdot d_x / \Delta T_x \cdot d_0$	1	0,8477193	1,3420556
Klassifikasjon av H:	2	2	1

5 I denne kontekst er den hydrauliske diameter definert som følger:

$$D_{hydr} = 4 \times (\text{fri tverrsnitt}) / \text{intern omkrets};$$

den korresponderer foretrukket med den indre diameter til et sammenlignbart glatt rør og derved resulterer i en homogenitetsfaktor på 1,425.

10 I vannprøven ga ribberøret ifølge oppfinnelsen en varmeoverføring (Q_R) som var 2,56 ganger høyere enn det glatte rør, med et trykktap (ΔP_R) som var bare 1,76 ganger høyere.

Fig. 7 sammenlikner tre forskjellige profilrør, innbefattet et rør ifølge oppfinnelsen med 8 ribber med en helning på i hvert tilfelle 30°, med et rør med en glatt innvendig vegg (glatt rør). Den hydrauliske diameter, den aksiale hastighet, oppholdstid og trykktapet er angitt for hvert tverrsnitt.

De anvendte startdata var de kvantitative gjennomstrømningene i et glatt rør med indre diameter 38 mm i drift, hvilket er identisk med den hydrauliske diameter. Ved bruk av likhetslovene (samme Reynolds tall), ble disse data konvertert ved beregning til varmt vann og brukt som grunnlag for prøvene (jfr. forholdet til kvotientene for varmeoverføring og trykktap for prøvene med vann og den tilsiktede homogenitetsfaktor for beregningen ved bruk av gasser).

De forskjellige hastighetsprofilene oppstår fra de samme kvantitative gjennomstrømningene ved forskjellige hydrauliske diameter (gjensidig forhold).

Sammenlikningen av hastigheter for profilene 2 og 3, som har identiske tverrsnitt, illustrerer den forbedrede hastighet, akselerasjon og oppholdstid med rørene ifølge oppfinnelsen (profil 3). For den samme hydrauliske diameter, fører hastighetskomponenten i omkretsretningen, forårsaket av virvelen bevirket av ribbene, til at strømmen blir løsrevet fra rørveggen og bevirker en spiralstigende hastighet over hele tverrsnittet.

Den styrte spiralstrøm fører varmen fra rørveggen inn i strømmen og derved fordeler den mer jevnt enn i en vanlig, ikke-styrt turbulent strøm (glatt rør, profilene 1 og 2). Det samme gjelder for oppholdstiden til partiklene. Den spiralstyrte strøm fordeler partiklene mer enhetlig over tverrsnittet, mens akselerasjonen ved profilflankene reduserer den gjennomsnittlige oppholdstid. Med hensyn til profil 1, er grunnen den betydelige forsnevring av strømmen og friksjonstapet ved den store indre overflaten til profilen.

Avhengig av materialet kan ribbene ifølge oppfinnelsen fremstilles av for eksempel et sentrifugestøpt rør, fra endene av et rør med aksialt parallelle ribber rotert med hensyn til hverandre, eller ved at den indre profil blir fremstilt ved deformasjon av en sentrifugestøpt rør, for eksempel ved varmestøping, varmtrekking eller kaldforming ved hjelp av et profileringsverktøy, for eksempel en flytende dor eller en dorstang med en ytre profil som korresponderer med rørets indre profil.

Et antall varianter av skjæremaskiner for den indre profilering av rør er kjent, for eksempel fra DE-patent 195 23 280. Disse maskiner er også egnet til fremstilling av et ribberør ifølge oppfinnelsen.

Med hensyn til varmforming, bør deformerings Temperaturen fastsettes på en slik måte at den mikrostrukturelle tekstur blir delvis ødelagt i området til den innvendige overflate, og følgelig blir rekrystallisert ved et senere stadium under påvirkning av driftstemperaturen. Resultatet av dette er en finkornet mikrostruktur som tillater hurtig diffusjon av krom, sili-

sium og/eller aluminium gjennom den austenittiske matrise til rørets indre overflate, der et oksidisk beskyttende sjikt raskt blir dannet.

Ribbene ifølge oppfinnelsen kan også fremstilles ved påleggssveising; i dette tilfelle er det ikke mulig å tildanne en buet ribbebase mellom de individuelle ribber, men snarere opp-
5 rettholdes vesentlig den originale profilen til rørets indre vegg der.

Rørets indre overflate ifølge oppfinnelsen burde ha den lavest mulige ruhet; den kan derfor gattes, for eksempel mekanisk poleres eller elektrolytisk jevnes.

Passende rørmateriale for bruk i etylenanlegg er jern og/eller nikkellegeringer som inneholder 0,1 % til 0,5 % karbon, 20 til 35 % krom, 20 til 70 % nikkel, opp til 3 % silisium, opp
10 til 1 % niob; opp til 5 % wolfram og tilsetninger av hafnium, titan, sjeldne jordarter eller zirkonium, i hvert tilfelle opp til 0,5 %, og opp til 6 % aluminium.

P a t e n t k r a v

1. Ribberør for termisk spalting av hydrokarboner i nærvær av damp, k a -
r a k t e r i s e r t v e d at ribberøret er forsynt med spiralformede ind-
re ribber, hvor ribbene er anordnet i en stigningsvinkel på 20° til 40° i forhold til
5 rørets lengdeakse, og hvor ribbene har en flankevinkel (β) som er 16° til 25°.
2. Ribberør ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at stigningsvin-
kelen til ribbene er 22.5° til 32.5°.
3. Ribberør ifølge krav 1 eller 2, k a r a k t e r i s e r t v e d at flan-
kevinkelen (β) er 19° til 21°.
- 10 4. Ribberør ifølge krav 1 til 3, k a r a k t e r i s e r t v e d at ribberø-
ret er forsynt med 6 til 12 ribber.
5. Ribberør ifølge krav 1 til 4, k a r a k t e r i s e r t v e d at den hyd-
rauliske diameteren av ribberøret er i det minste lik diameteren av den indre sir-
kelen (R_i).
- 15 6. Ribberør ifølge krav 1 til 5, k a r a k t e r i s e r t v e d at forholdet
mellom kvotienten til varmeoverføringskoeffisientene Q_R/Q_0 og kvotienten til
trykktapene $\Delta P_R/\Delta P_0$ i en vanntest er 1,4 til 1,5, hvor R betegner et ribberør og
0 betegner et glatt rør.
7. Ribberør ifølge krav 1 til 6, k a r a k t e r i s e r t v e d at krum-
20 mingsradiusen (R) til ribbetverrsnittet er 3,5 til 20 mm.
8. Ribberør ifølge krav 1 til 7, k a r a k t e r i s e r t v e d at ribbe-
høyden (H) er fra 1,25 til 3 mm.
9. Ribberør ifølge krav 1 til 8, k a r a k t e r i s e r t v e d at det frie
tverrsnitt innenfor profilomkretsen (U_p) utgjør 85 til 95 % av arealet til omhyl-
25 lingskurven (F_a).
10. Ribberør ifølge hvilket som helst av kravene 1 til 9, k a r a k t e r i -
s e r t v e d at profilarealet (F_p) utgjør 40 til 50 % av ringarealet mellom
omhyllingssirkelen og den indre sirkel.

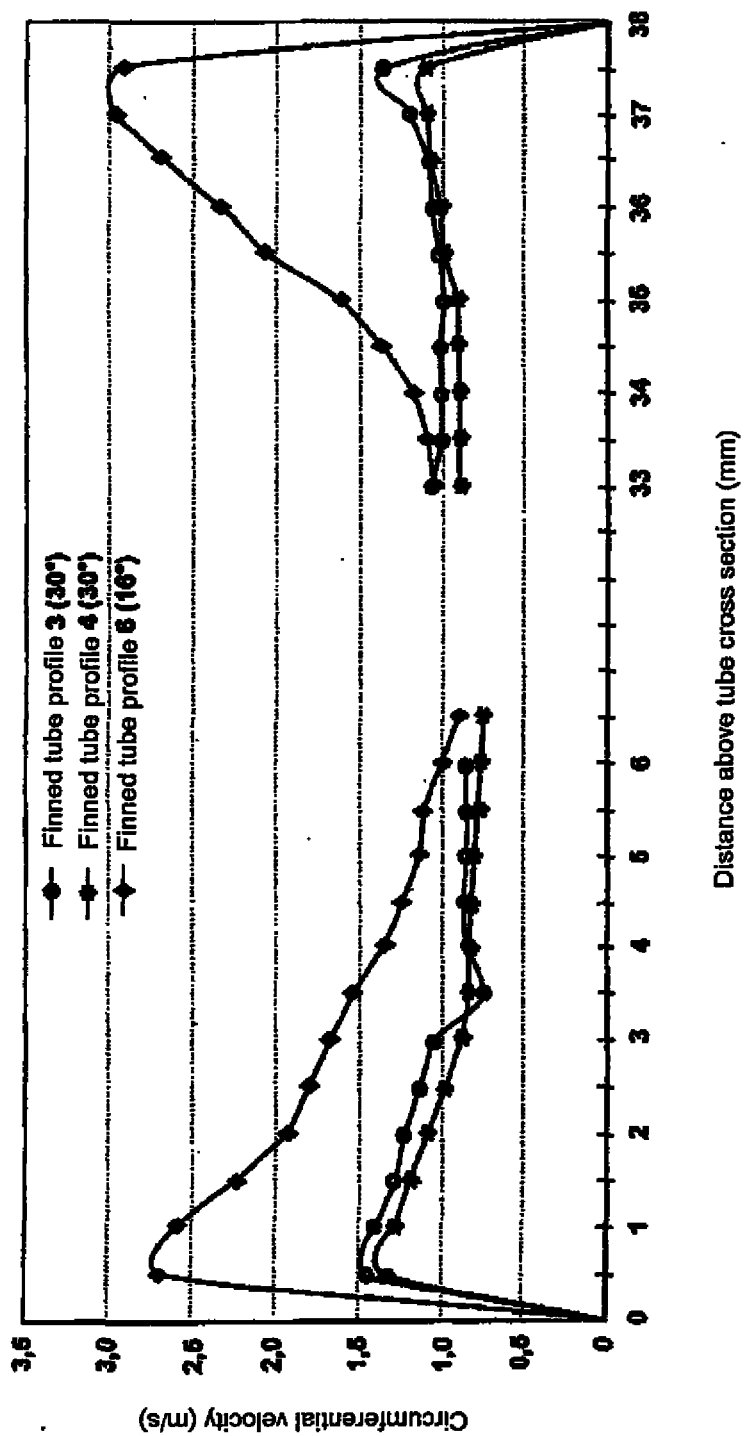
11. Ribberør ifølge krav 1 til 10, hvor ribberøret er sentrifugalstøpt, k a r a k -
t e r i s e r t v e d at det sentrifugalstøpte røret består av en nikkelle-
gering som består av 0,1 til 0,5 % av karbon, 20 til 35 % av krom, 20 til 70 % av
nikkel, opp til 3 % av silisium, opp til 1 % av niob; opp til 5 % av wolfram og i
5 hvert tilfelle opp 0,5 % til av hafnium, titan, sjeldne jordarter, zirkonium, og opp
til 6 % aluminium.
12. Ribberør ifølge krav 11, hvor legeringen ytterligere inneholder, individuelt eller i
kombinasjon med hverandre, minst 0,02 % av silisium, 0,1 % av niob, 0,3 % av
wolfram og 1,5 % av aluminium.

Figurtekster

Figur	Referanse	Norsk tekst
Fig. 1	Distance above	Avstand over rørtverrsnittet (mm)
	Circumferential velocities in profiles...	Periferihastigheter i profiler med uensartet stigning med hensyn til rørraksen
	Circumferential velocity	Periferihastighet (m/s)
	Finned tube profile	Ribberørprofil
Fig. 2	Tube radius	Rørradius (mm)
	Distribution of the circumferential...	Fordeling av omkretshastigheter i profil 3 med 30° stigning over radien til det profilerte rør
	Circumferential velocity	Periferihastighet (m/s)
	Fin valleys	Ribbebunner
	Fin peaks	Ribbetopper
Fig. 3	Profile shapes with temperature profile...	Profilformer med temperaturprofil i fluidet (nafta) ved 9950 mm plottet over en radius i røret (topp = profiltopp, bunn = profilbunn)
	Peak	Topp
	Valley	Bunn
	Dark side	Skyggeside
	Profile	Profil
	Tube radius mm	Rørradius mm
	Light side	Lysside
	Smooth tube	Glatt rør

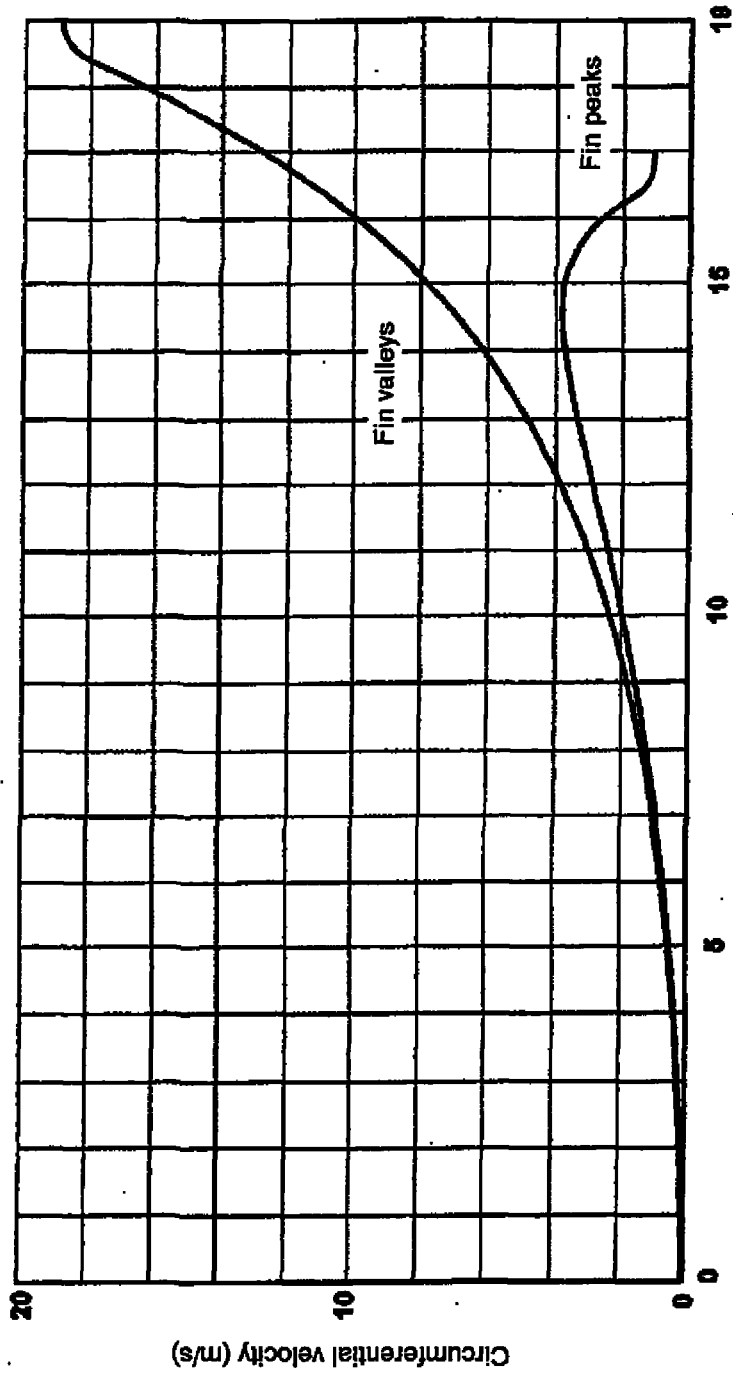
Figur	Referanse	Norsk tekst
Fig. 4	Tube circumference from...	Røromkrets fra lyssiden til skyggesiden (°) Sammenligning av rørmøtalltemperaturer
	Temperature	Temperatur
	Outer	Ytre
	Inner	Indre
	Profile	Profil
	Smooth tube	Glatt rør
Fig. 5		Røromkrets fra lyssiden til skyggesiden (°) Temperaturfordeling på rørets innervegg ved 9950 mm
	Temperature	Temperatur
	Profile	Profil
	Smooth tube	Glatt rør
Fig. 6	Illustration of a profile for...	Illustrasjon av et profilsegment for matematisk definisjon av flankevinkel (β) og profilradier (R)
Fig. 7	Comparison of the flow velocities, ...	Sammenligning av strømningshastighetene, oppholdstidene og trykktapene for den samme massegjennomstrømning etter 9950 mm opp- varmet rørlengde
	Pressure loss	Trykktap
	Residence time	Oppholdstid
	Axial velocity	Aksial hastighet
	Smooth tube	Glatt rør

Figur	Referanse	Norsk tekst
	Profile	Profil
	Profile 2 with...	Profil 2 med rette ribber
	Profile 3 with...	Profil 3 med 30° stigning



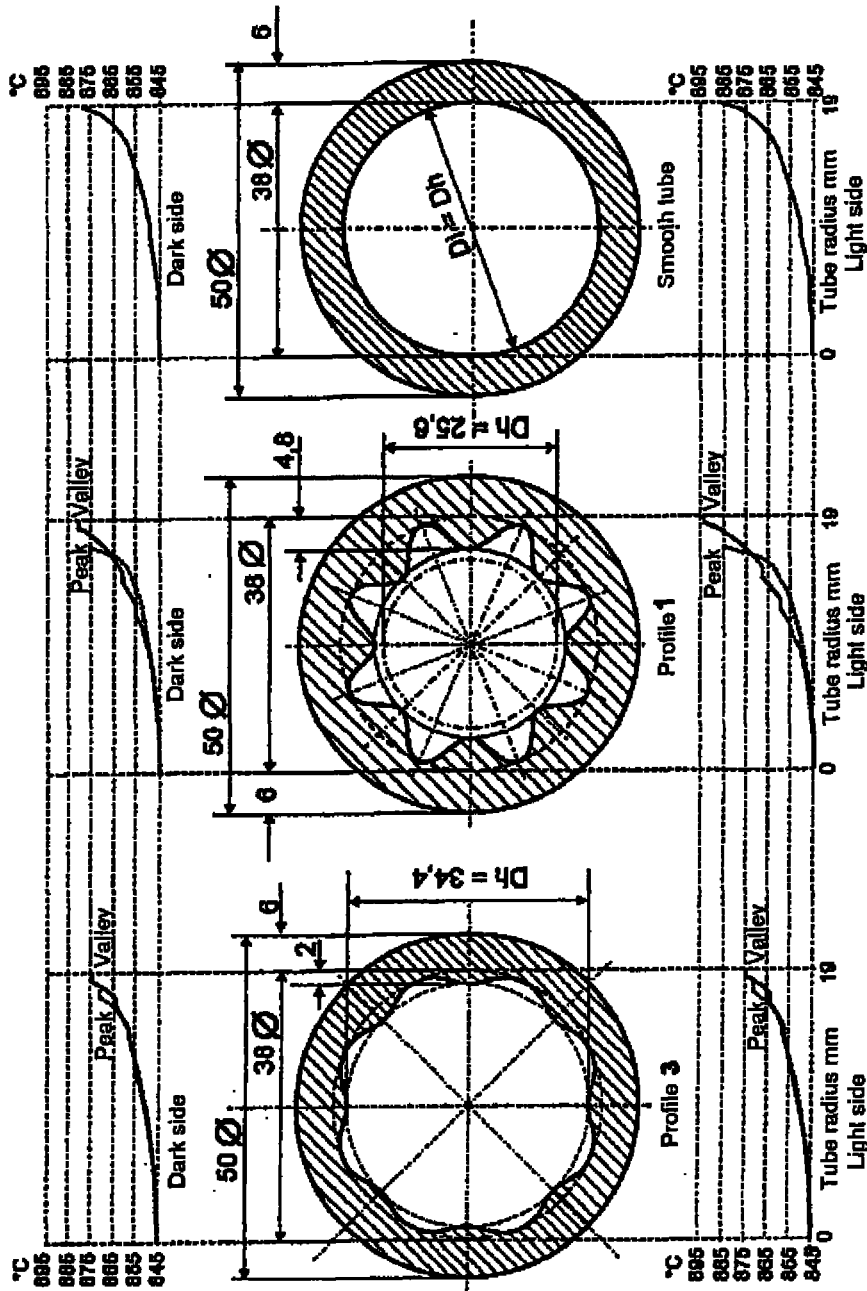
Circumferential velocities in profiles with differing inclination with respect to the tube axis

Fig. 1



Distribution of the circumferential velocities in profile 3 with 30° pitch over the radius of the profiled tube

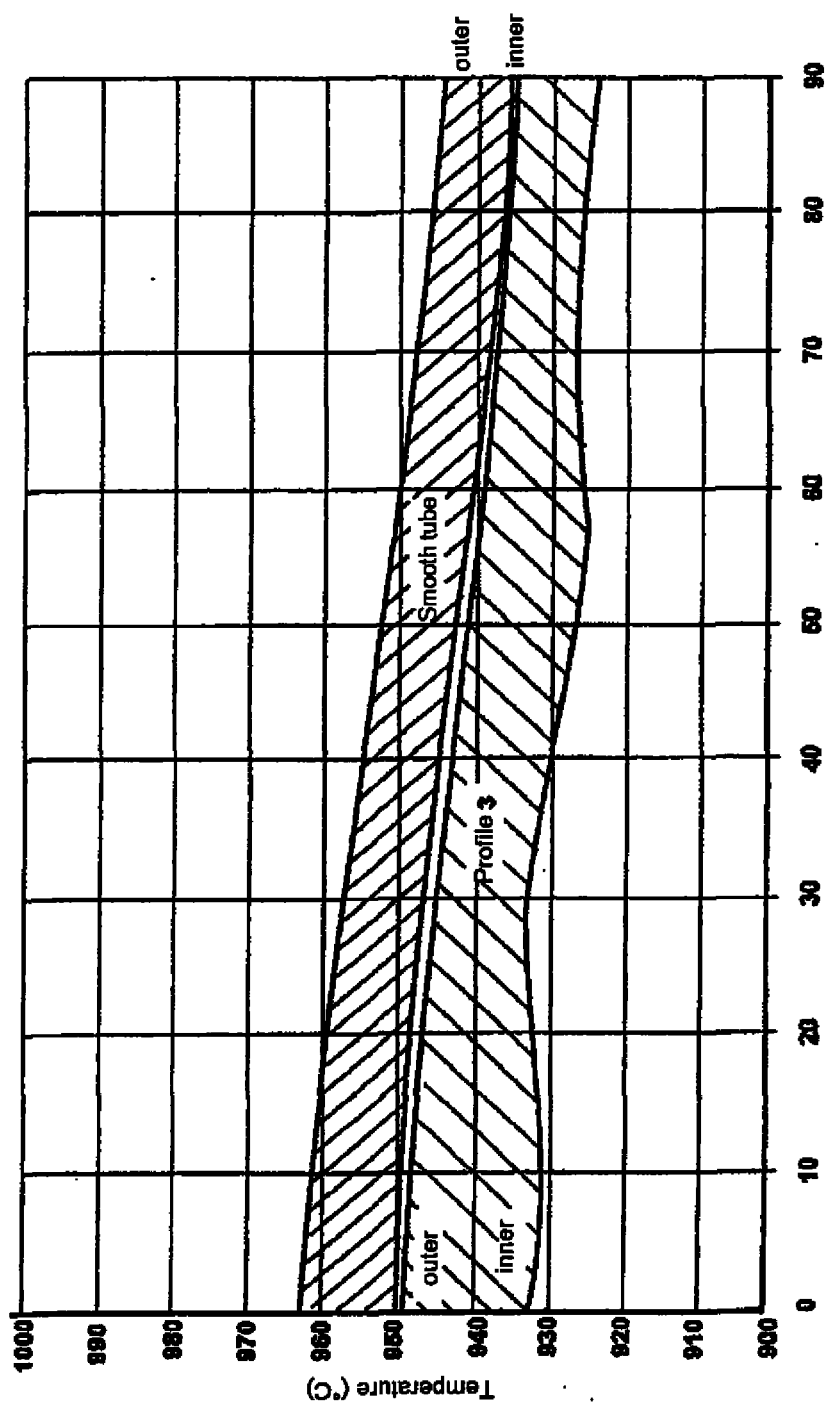
Fig. 2



Profile shapes with temperature profile in the fluid (naphtha) at 9950 mm plotted over a radius in the tube (peak = profile peak, valley = profile valley)

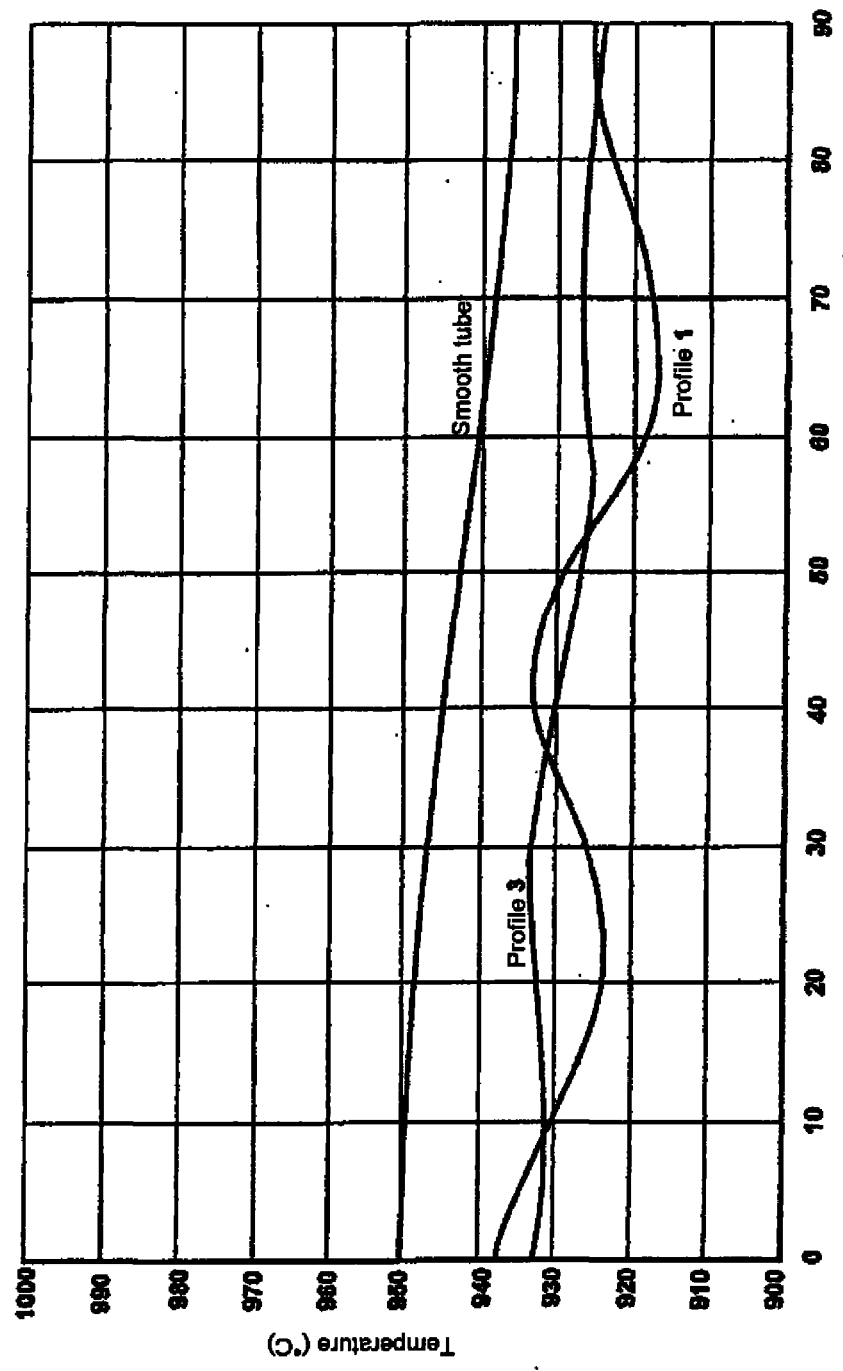
Fig. 3

417



Tube circumference from the light side to the dark side (°)
Comparison of the tube metal temperatures

Fig. 4



Tube circumference from the light side to the dark side (°)
Temperature distribution on the tube inner wall at 9950 mm

Fig. 5

6/7

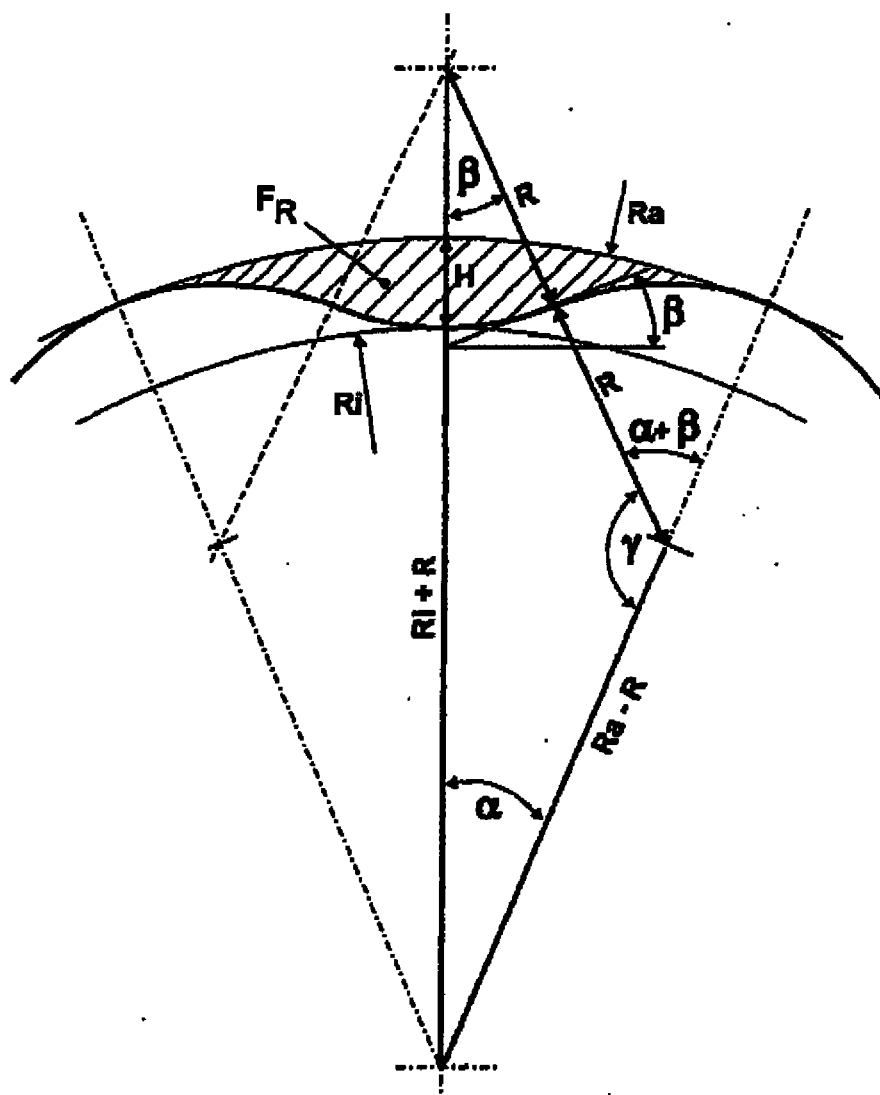
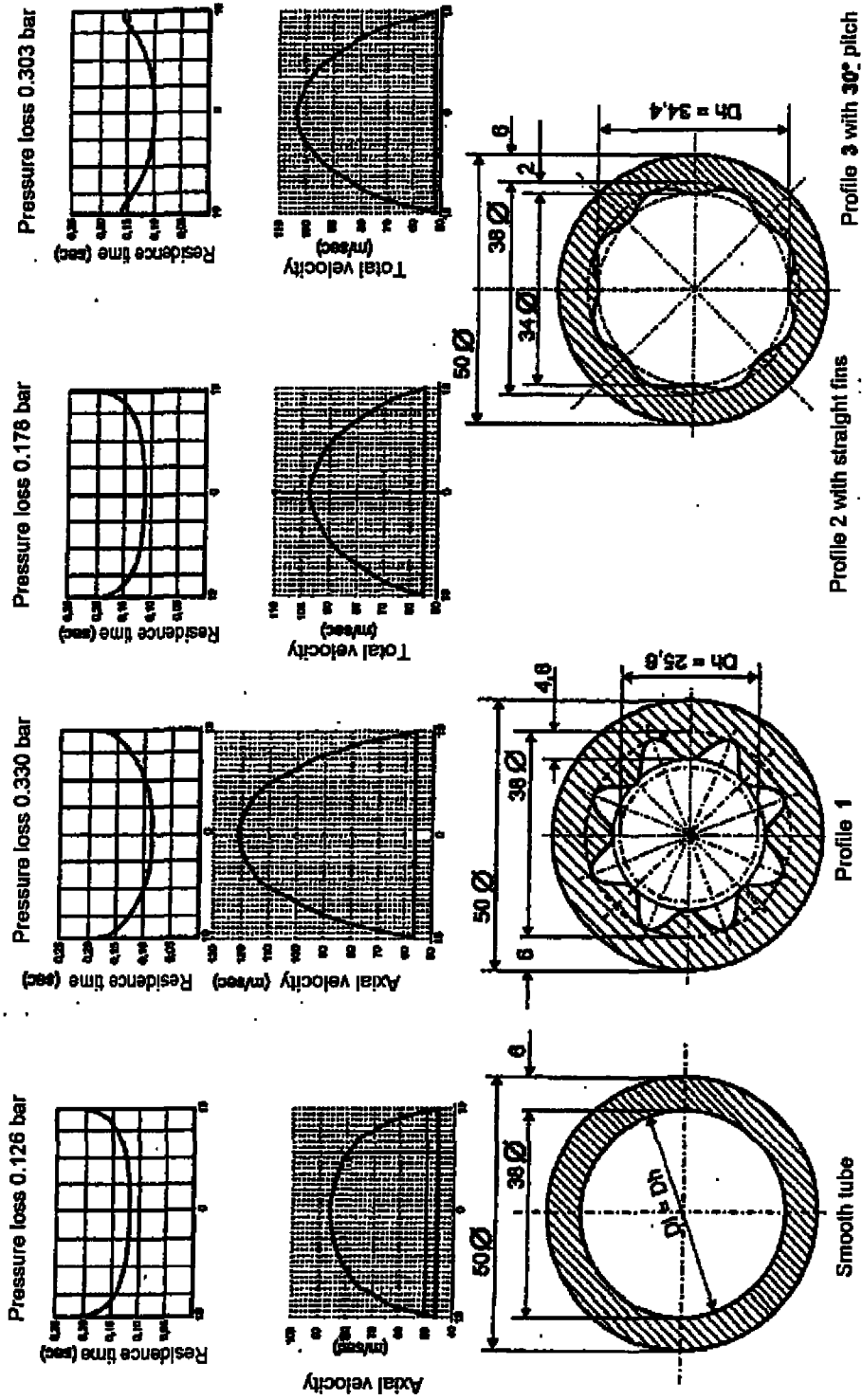


Illustration of a profile segment for mathematical definition of flank angle (β) and profile radii (R)

Fig. 6



Comparison of the flow velocities, the residence times and the pressure losses for the same mass throughput after 9950 mm heated tube length

Fig. 7