

SCIENCA REVUO de Internacia Sciencia Asocio Esperantista BEOGRAD, Jugoslavio	El Vol. 25 n-ro 1 (105) 20.02.1974.
---	---

LA UNUA STATO DE KARBOGASIGADO

I - ĜENERALAJ PRINCIPOJ KAJ INDUSTRIA APLIKADO

/ K. McG. Bowling, SIDNEJO, Aŭstralio /

ENKONDUKO

La unua speco de gasa brulaĵo uzita en urboj kaj industrioj estis farita el karbo per karbonigado. En tiu proceso oni varmigis karbon en fermita retorto ĝis gaso, gudro kaj likvo estis elpelitaj, la restaĵo estante ĉefe karbono kaj cindriĝaj materialoj. Fakte la plejparto de la karbo restis kiel tia solida restaĵo.

Ĉi tiu artikolo ne traktas pri tiu originala, bone konata proceso, sed pri metodoj per kiuj la plejparto de la karbo estas gasigita aŭ ŝanĝita el solido en gason. Oni povas nomi tiajn metodojn "kompleta gasigado". Tamen ĝenerale la gasproduktado el kompleta gasigado enhavas gasojn produktitajn per karbonigado je subgasigaj temperaturoj dum la karbo varmiĝas.

Multaj diversaj rimedoj kaj aparatoj por karbgasigado estis elpensitaj kaj uzitaj dum pasintaj jaroj, sed malmultaj el ili estas uzataj nun tra la mondo, ĉar en multaj landoj la alveno de natura gaso (tergaso) kaj petrolgasigado donis al la gasindustrio pli simplajn kaj pli ŝparemajn rimedojn por gasproduktado. Sed estas kredebla ke la mondo bezonas gasigi karbon denove dum la proksima estonteco, do estas utila ekzerco se oni studas la recenzan historion de la tekniko kaj penas antaŭdiri venontajn evoluojn.

Karbgasigado estas grandega kampo de praktika scienco, do necesas limigi la amplekson de ĉi tiu du-parta referata artikolo, kaj laŭtempe kaj laŭdetale.

Ĉi tiu parto diskutas precipe la bazajn konceptojn kaj metodojn kiujn oni uzis industriskale dum la pasintaj dudek jaroj. La dua parto traktos pri la nuna stato de evoluo de gravaj procesoj kiuj neniam atingis la industrian skalon, kaj pri ilia signifo por la vivmaniero de homaro.

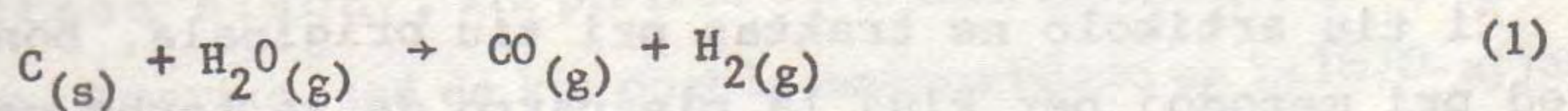
Hoy [1] verkis bonegan referatan artikolon pri karbgasigado ĝis la 1958., donante multe da detaloj kaj 208 referencoj. Post tiam, esploroj malkreskis en multaj landoj, sed informo pri postaj evoluaĵoj estas resumita en la literaturo, ekzemple [2,3].

BAZAJ KONCEPTOJ

Ĉiuj konataj karbgasigaj procesoj estas bazitaj sur nur malmultaj kemiaj reakcioj:

1) Reakcio inter karbono kaj akvovaporo

Ĉi tiu reakcio estis antaŭe uzata grandskale en la gasindustrio por fari pluan gason el la karbona restaĵo el la karboniga proceso. La reakcio forprenas varmon kaj malrapidas sub 950°C , do oni devas provizi fonton de varmo por produktadi gason. La ekvacio estas



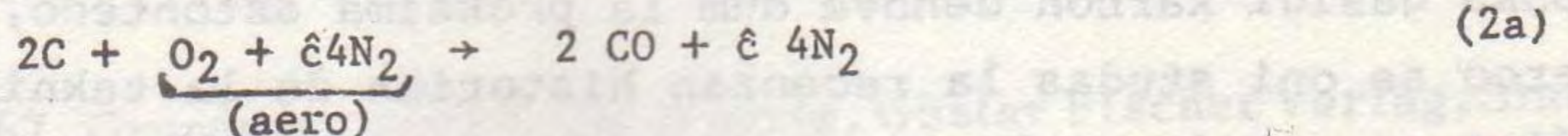
Tiu gaso, farita per la disigo de akvovaporo, estas nomata "akvogaso".

2) Reakcio inter karbono kaj oksigeno

Ĉi tiu reakcio estas fakte nekompleta brulo de karbono, kaj okazas kiam la kvanto da varmega karbono estas granda kompare kun la kvanto da oksigeno havebla. La ekvacio estas:



aŭ se oni uzas aeron kiel fonton de oksigeno:



Kiel tipo de brulo ĉi tiu reakcio donas varmon kaj povas provizi fonton de varmo por la varmprenanta reakcio (1). La reakcio rapidas super 1000°C ,

kiam CO estas la stabila oksido de karbono. Gaso farita tiel per la duobro de karbono kun aero en simpla produktilo estas nomata "produktala gaso".

3) Reakcio inter karbono kaj hidrogeno

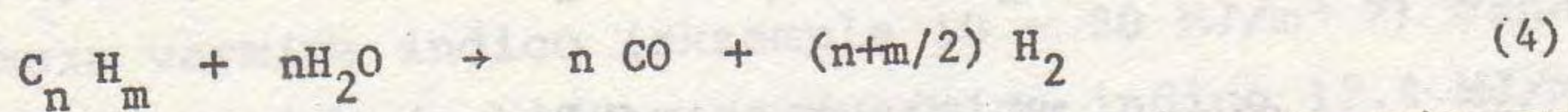
Ĉi tiu reakcio (ofte nomata "hidrogasigado") estas simpla sintezo el la elementoj sub la influo de superatmosfera premo:



La reakcio donas varmon.

4) Reakcio inter akvovaporo kaj hidrokarbidoj

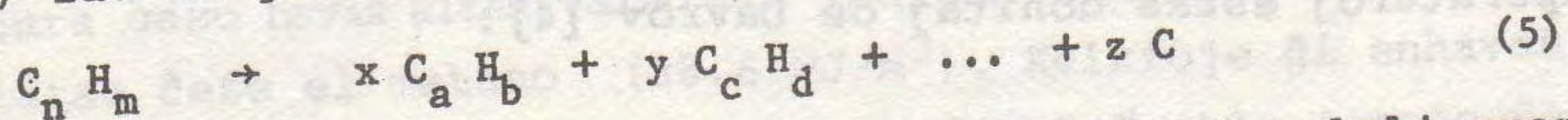
Kiam karbo estas varmata en gasigilo, gudro estas elpelata kaj ĝi povas reakcii kun akvovaporo kiel sekvas:



Ĉi tia reakcio estas nomata "reformado". Kvankam la ekvacio supren montras la ĝeneralan formulon por hidrokarbidoj, oni povas ankaŭ apliki la reakcion al substituitaj hidrokarbidoj, ekzemple fenoloj, kiuj estas troveblaj en la gudro.

5) Disrompigo (pirolizo, "krakigo") de hidrokarbidoj

Gudro forpelita el karbo kiam ĝi varmiĝas je karbonigaj temperaturoj (super ĉirkaŭ 400°C) povas "kraki" je gasigaj temperaturoj (super ĉirkaŭ 900°C) laŭ la ĝenerala reakcio:



El granda molekulo estas produktitaj du aŭ kelkaj malpli grandaj hidrokarbidaj molekuloj, kaj elementa karbono. Ordinare la reakcio okazas sur varmega surfaco kaj la karbono demetiĝas sur tiu surfaco. Krom hidrokarbidoj, aliaj gudraj kombinaĵoj povas kraki simile.

6) Kelkaj gastransformoj

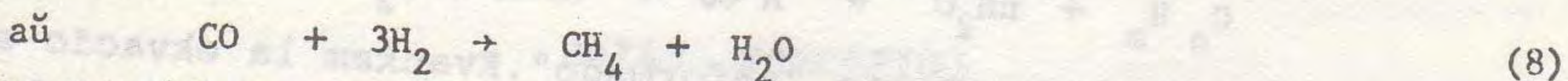
Gasmiksaĵoj produktitaj per la antaŭemenciitaj reakcioj povas partopreni pluajn reakciojn.

Unue ĉe temperaturoj iom pli malaltaj ol tiuj uzitaj por karbonigasigo karbona monooksido kaj akvovaporo donas karbonan dioksidon kaj hidrogenon per la tiel nomata "akvogasa ŝanĝo":



Tiumaniere oni povas forpreni la venenan gason CO kaj anstataŭigi hidrogenon en la miksaĵo. Oni povas ellavi la solveblan acidan gason CO₂ per akvo aŭ alkala solvaĵo sub superatmosfera premo, kaj tiel produkti gason kun alta koncentrado de hidrogeno. Aliflanke oni povas alĝustigi la gaskonsiston por faciligi iun sintezon, ekzemple por produkto de metano aŭ pli kompleksaj hidrokarbidoj. Karbona monoksido reakcias kun akvovaporo sub la ordinaraĵ gasigaj temperaturoj - ekzemple la reakcio okazas katalize sur fera (III) oksido je 400-500°C kaj atmosfera premo.

Due, ĉe la samaj temperaturoj kaj premo kiujn oni uzas por la reakcio menciita en la lasta paragrafo, oni povas formi metanon per unu el la reakcioj:



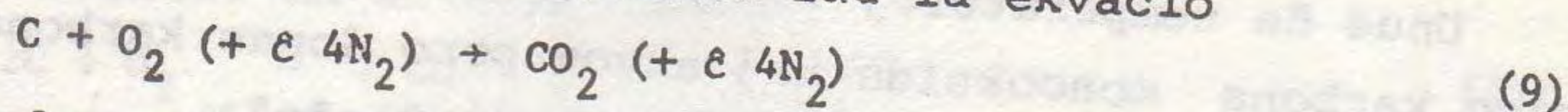
Nikelo estas konvena katalizilo. Ĉi tiuj reakcioj donas grandan kvanton da varmo, ĉirkaŭ 20 procentoj el la varmiga indico de la originala gasmiksaĵo estas tiel disvolvita. Rehavigo de tiu varmo estas limitigita per la regulo de Carnot, kaj praktike estas malfacila afero rehavigi multon da varmo el metanigilo. La dua reakcio, uzante proporcion de unu volumo da CO kaj tri volumoj da hidrogeno, estas preferinda ĉar tiuokaze karbono ne estas demetita sur la katalizilo. La reakcivarmoj, ekvilibraj indicoj, k.t.p. por ĉiuj el la antaŭmenciitaj reakcioj tra la vico de temperaturoj estas donitaj de Lavrov [4].

KLASIFIKO DE PROCESOJ KAJ PRODUKTOJ

Oni povas klasifiki karbgasigajn procesojn laŭ tri trajtoj (vidu Tabelon 1).

1) *Varmiga indico de la gasprodukto*, kiu estas starigita per la tipoj kaj uzmetodo de gasigaj reakcioj, ankaŭ parte per la premo kaj la temperaturo.

La ekstrema ekzemplo de gasigado estas kompleta brulo, kiu transformas la karbonon en karbonan dioksidon laŭ la ekvacio



Sed ordinare brulon oni ne ampleksas sub la nomo "Gasigado" ĉar la gasprodukto estas nek brulaĵo nek gaso por kemiaj sintezoj. Ĝia varmiga indico estas nulo.

Oni povas allasi tri tipojn de gasproduktoj laŭ la varmiga indico, kiu povas esti malalta, meza aŭ alta. Gaso kun malalta varmiga indico (ekzemple sub 10 MJ/m^3 , kaj tipe $3.5\text{-}6.0 \text{ MJ/m}^3$ §) ĝenerale enhavas notindan kvanton de nitrogeno kaj eble karbona dioksido. Tia gaso estis ofte uzita dum antaŭaj jaroj por industria hejtado kaj kiel orulaĵo por motoroj - eĉ, dum la dua mondmilito, por memilitaj aŭtomobiloj. Gaso el fandfornoj estas tiuspeca, kaj oni uzas ĝin grandskale por hejti koksfornoj en ŝtalfabrikoj. Fandforno estas fakte simpla gasigilo, kvankam la gaso estas nur flankprodukto kaj neniam ĉefa produkto. Intereso kreskas pri la uzo de gaso kun malalta varmiga indico, farita el karbo per simpla proceso, kiel pura brulaĵo por elektraj produktoj [5,6]. Oni povus tiamaniere malaltigi la disvastigon de sulfuraj oksidoj kaj eble de nitrogenaj oksidoj en la atmosferon.

Gasoj kun meza varmiga indico (ekzemple $10 - 20 \text{ MJ/m}^3$ §) ĝenerale enhavas grandan proporcion da hidrogeno (varmiga indico 12.4 MJ/m^3 §) kaj da karbona monoksido (varmiga indico 12.4 MJ/m^3). Ĝi povas enhavi iom da nitrogeno aŭ karbona dioksido, kiuj malaltigas la varmigan indicon, kaj ofte enhavas iom da hidrokarbidoj, ekzemple metanon, etanon, etenon aŭ propanon, kiuj altigas la varmigan indicon. La urbegaso farita per karbonigado de karbo estas miksaĵo de plejparto de la antaŭmenciitaj gasoj kaj ĝi havas varmigan indicon de $18.5 - 20 \text{ MJ/m}^3$. Kutime, la urbegaso farita el oleo havas la saman varmigan indicon kiel la karba gaso.

La natura gaso havas altan varmigan indicon (ekzemple $35\text{-}38 \text{ MJ/m}^3$) kaj ĝi konsistas ĉefe el metano (38.6 MJ/m^3). Kelkfoje ĝi enhavas iom da nitrogeno, karbona dioksido kaj etano, kaj ankaŭ eble iomete da hidrogena sulfido. La natura gaso estas vaste uzata, sed la konataj fontoj estas limigitaj. Do, esploristoj en kelkaj landoj (precipe en Usono) studas urĝe la produktadon de artefarita gaso kun la sama konsisto kiel la natura gaso.

Malmultekosta metodo por la produktado de altvarmigindica gaso el karbo provizus asekuron kontraŭ la tro frua elkonsumo de la natura gaso.

2) Metodo por varmtransigo

Oni povas uzi solan ĉambron kiel gasigilon efektive varme donantan kaj varmprenantan reakciojn kune, kiel Fig. 1 montras.

§ Ĉiu varmiga indico rilatas al la volumo je 0°C kaj 101.3 kPa , kaj estas "la pli alta", kiu signifas ke la varmkvanto estas mezurita post kondensado de la akvovaporo produktita per brulo.

Ekzemple, en la plejmulto el industriskalaj gasigiloj, miksaĵo de akvovaporo kun oksigeno aŭ aero estas uzata por gasiga reakciaĵo. La varmo el la duonbrula reakcio (2 aŭ 2a) plenumas la varmbezono de la akvogasa reakcio kaj konstanta temperaturo rezultas. Kelkaj el la esplorgasigiloj kaj pruvaparatoj funkcias laŭ la sama principo.

Kompreneble se oni uzas oksigenon anstataŭ aeron, oni povas altigi la proporcio de akvovaporo inkluzita en la miksaĵo. Newman [7] verkis bonegan referatan artikolon pri la gasigado per oksigeno kaj speciale pri ĝia signifo por Usono.

Alternative, kiel Fig. 2 montras, oni povas produkti varmon en unua reakciĉambro per brulo aŭ duonbrulo, kaj transigi la varmon sen la gasproduktoj al dua reakciĉambro kie gaso estas produktata per varmprenanta akvogasa reakcio.

La varmtransigo povas esti aŭ tra solidaj muroj inter la du ĉambroj aŭ per la transigo de varma materialo, eble solideroj eble likvaĵo. Ĉi tiu principo ne estas uzita industriskale sed ĝi altiris grandan intereson de esploristoj kaj ni traktos ĝin plue en la dua parto.

Fine, la varmdonanta kaj varmprenanta reakcioj povas esti apartigitaj ne per spaco sed per tempo. Tiu varmtransiga metodo provizas la bazon por la bone konata cikla proceso por la produktado de akvogaso.

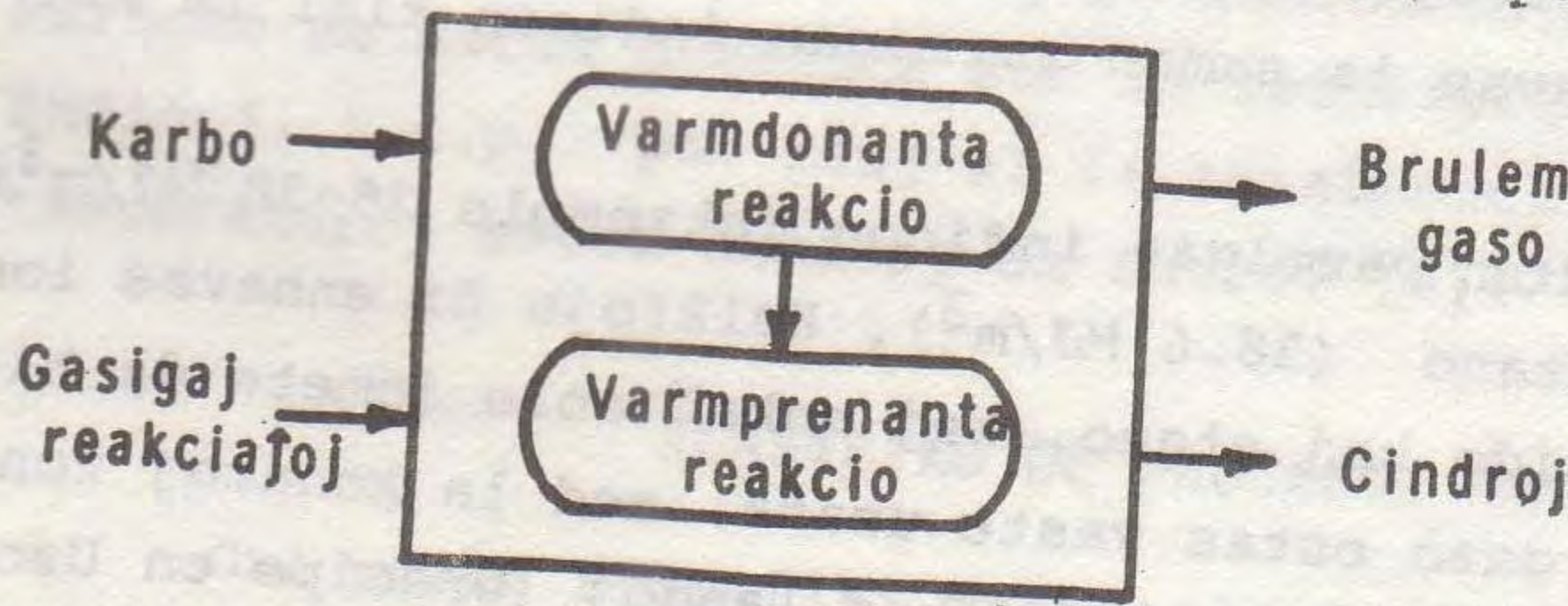


FIG. 1. PRINCIPIO DE UNUĈAMBRA GASIGILO

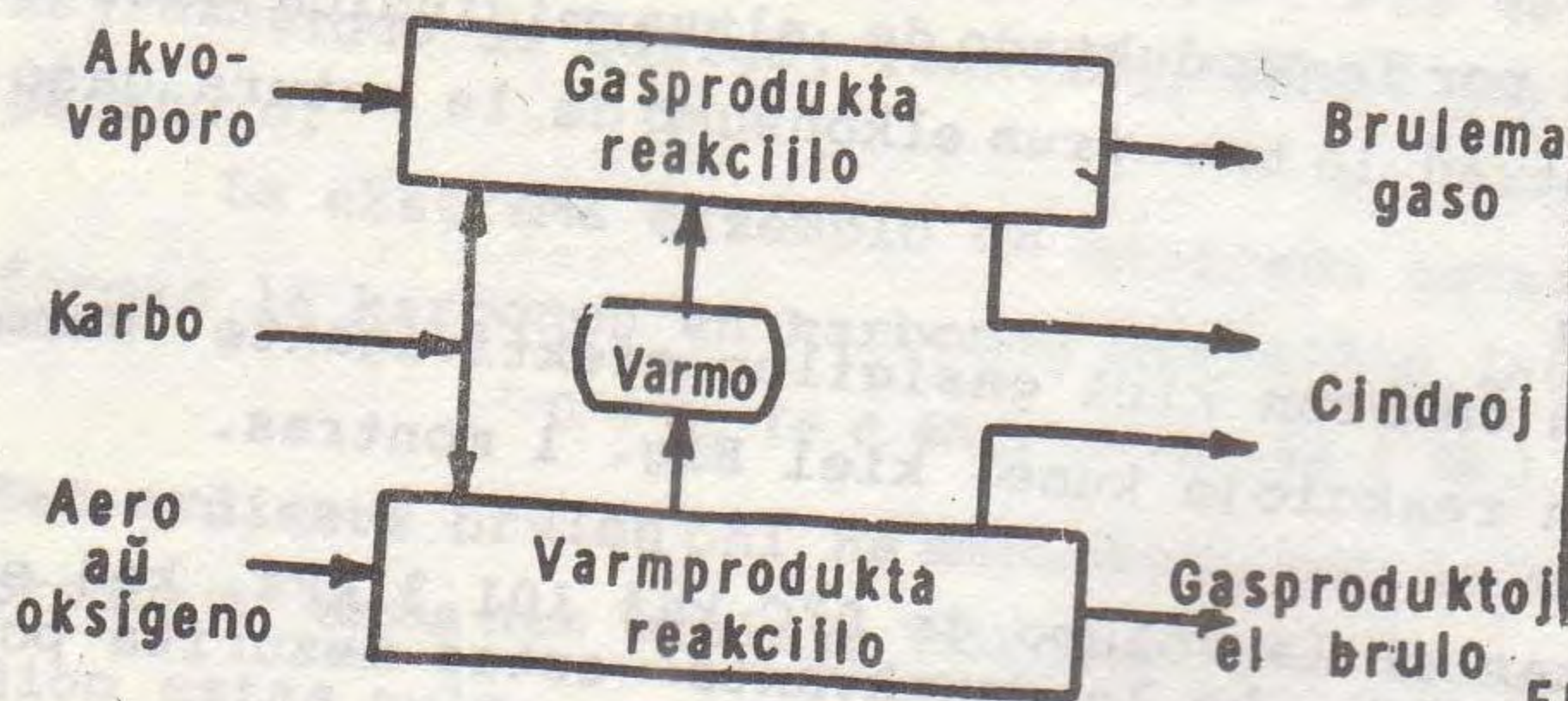


FIG. 2. PRINCIPIO DE DUĈAMBRA GASIGILO

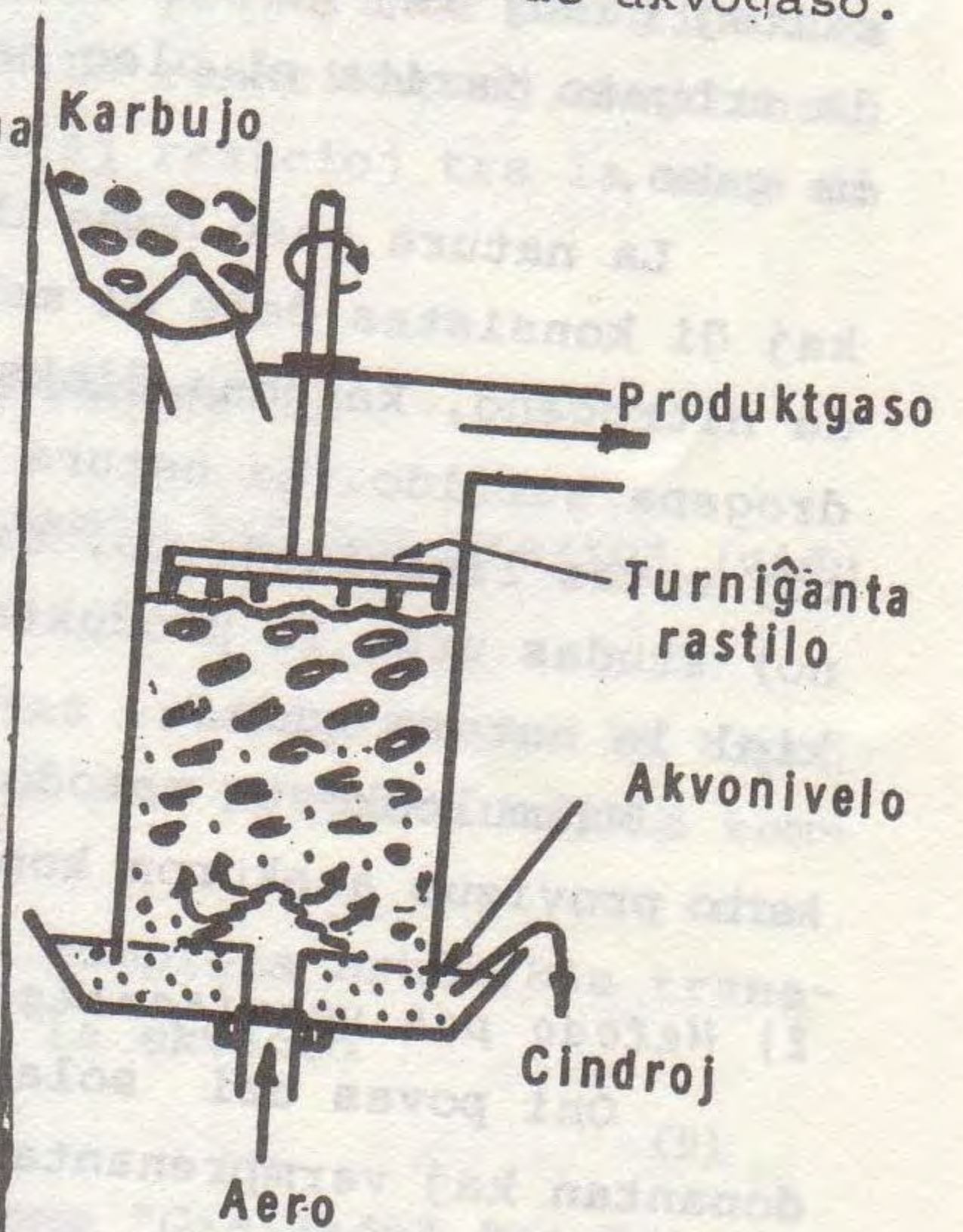


FIG. 3. SIMPLA GASPRODUKTILO

3) Stato de la solida brulaĵo

Kelkaj diversaj metodoj estas uzitaj por submeti karbon aŭ aliajn karbonaĵojn al gasigaj reakcioj.

La pli simpla metodo estas havi fiksitajn liton de karbo en reakciilo. La pecoj de solida brulaĵo ne movas unu kontraŭ la alia, kvankam ili povas movi rilate al la muroj de la reakciilo dum la karbono estas konsumigata kaj pro tio plua karbo estas ŝarĝata por replenigi ĝin. La gasigaj reakciaĵoj fluas trans la lito tra la interspacetoj. Ĉi tiu metodo estas speciale konvena kiam la brulaĵpecoj estas sufiĉe grandaj.

Kiam la pecoj de brulaĵo estas malgrandaj, estas konvene uzi aliajn metodojn. Se la brulaĵo konsistas el grajnoj kaj pulvo, kiam la gasfluo estas altigata super kriza nivelo, kiu dependas de la denseco kaj grandeco de la solideroj, la eroj estas ĵus suspendataj en la gaso kaj ekmovas, same kiel la molekuloj en boliganta likvaĵo. Oni diras tiam ke la lito estas "fluidigita". En tiu stato la kontakto inter gaso kaj solido estas tre bona, kaj rapida varmtransigo okazas. Ĉar la solideroj fluas kiel likvaĵo, ili povas movi facile de unu reakciĉambro en alian. Ĉi tiuj trajtoj estas uzitaj en kelkaj specoj de gasigiloj.

Se la gasfluo estas eĉ pli granda, aŭ la eroj estas tre malgrandaj, la solideroj estas portataj kiel suspensio en la gaso. Tiustate la solido kaj gaso reakcias rapide sed, ĉar la solideroj kolizias relative malofte kontraŭ la muroj, aŭ unu kontraŭ la alia, varmtransigo estas pli malrapida ol en la ekzemplo de fluidigita lito.

Kelkaj gasigiloj uzas suspensiojn en ciklona ĉambro en kiu la solideroj estas ĵetitaj kontraŭ la muroj per centrifuga forto. La muroj estas kovritaj per fandita skorio el la brulita karbo kaj la novaj karberoj estas enfiksitaj tie ĝis ili forbrulas. La alta relativa fluo inter la karberoj kaj la gasigaj reakciaĵoj favoras tre rapidan gasigadon.

Oni povas ankaŭ uzi suspension de solideroj en likvaĵo, aŭ fandita skorio aŭ alia varmega likvaĵo, per kiu la solideroj reakcias sufiĉe rapide kaj varmo estas efektive transigata interne de la gasigilo.

Fine, ni ne devas ignori aparatojn kaj metodojn per kiuj gaso estas farita en kelkaj paŝoj. Ekzemple gaso kun meza varmiga indico estas produktata en unua paŝo kaj poste ŝarĝata en gason kun alta varmiga indico, aŭ eble kun pli alta hidrogena enhavo sed pli malalta venena trajto.

INDUSTRISKALA GASIGADO

Nun ni rigardu kelkajn bone konatajn kaj tipajn gasigilojn:

1) Simpla gasproduktilo

Fig. 3 montras la principon de la plej simpla speco de gasigilo sed industriaj tipoj malsimilas detale. La reakciĉambro estas fabriki-ta el ŝtallado, interne kovrita per varmresista brikaĵo. En la tipo mon-trata ĉi tie rastilo turniĝas malrapide kaj certigas ebenan liton. Gaso kun malalta varmiga indico estas produktata ĉefe el karbono kaj aero, sed kiam la varmaj cindroj eniras la akvon je la fundo de la gasigilo, akvovaporo estas produktata kaj ĝi reakcias ankaŭ kun karbono kaj donas iom da akvogaso. Freŝa karbo je la supro de la lito estas karbonigita antaŭ ol la gasigo komenciĝas, kaj la gudro, likvo kaj elkarba gaso estas forportitaj per la gasiga produkto. La cindroj, post estingo per la akvo estas aŭ ŝovelataj aŭ rastataj el la akvujo kiu ofte turniĝas mekanike kaj malrapidege. Per zorgo oni devas eviti kaj tro rapidan ci-ndroforprenon, kaŭzante perdon de negasigita karbono, kaj tro malrapi-dan forprenon, kiu necesigus tro malgrandan enŝarĝon de karbo, kaŭzante malaltan gasprodukton.

2) Akvogasaparato

Fig. 4 montras ciklan akvogasaparaton en kiu la temperaturo de la varma brulaĵlito estas altigata per fluo de aero dum la unua periodo de la ciklo. Karbona dioksido kaj nitrogeno eliras al la atmosfero, varmo estas produktata kaj granda parto el tio estas konservata en la lito. Dum la dua periodo, akvovaporo enfluas anstataŭ aero tra la lito, do hidro-geno kaj karbona monooksido estas produktataj. Konservita varmo estas prenata el la brulaĵlito kaj la temperaturo falas. Kiam la temperaturo estas tro malalta por utila gasproduktado oni fluigas aeron denove ansta-taŭ akvovaporon kaj la ciklo ripetiĝas. Ofte kelkaj reakciiloj estas uzataj kune por ebenigi la gasfluron. Ĝenerale la akvogaso estas lavata por elpreni polvon, antaŭ plua uzo. Tiu speco de gasprodukto estas ofte nomata "blua akvogaso" ĉar ĝi brulas kun blua flamo pro la alta enhavo de karbona monooksido. Por uzo en la urbgaso ĝi estas ofte pliriĉigata kun gasoj produktataj per pirolizo de olea frakcio el petrolo.

Ordinare la akvogasproceso ne funkcias uzante karbon - ĝi bezon-nas koakson kaj oni devas unue karbonigi la karbon. Do, ĝi ne estas tute memstaranta proceso.

3) Gasigiloj kun fluidigita lito

La gasigilo *Winkler* estis aperigita en Germanujo sed ĝi ne estis diskutata publike ĝis post la dua mondmilito.

Ĝi estis speciale grava ĉar ĝi estis la unua industria uzo de la principo de la fluidigita lito, okazinte multajn jarojn antaŭ uzo en la petrolrafinado.

La reakciĉambro estis alta, kun granda spaco super la lito (Fig.5). Aero kaj akvovaporo estis uzitaj kiel gasigaj reakciaĵoj kaj plua aero estis enmetata super la lito por bruligi aŭ duonbruligi la polvon kiu estis forportita en la gason. Pro tio, troa varmo estis produktata kaj la efikeco estis malaltigata. Krom tiu polvoproblemo, la gasigilo funkciis bone. *Winkler* aparatoj estis konstruitaj en Germanujo, Japanujo, Jugoslavio kaj Hispanujo sed ŝajne ĉi tia gasigilo ne estas uzata plu. Oni ankaŭ uzis miksaĵon de oksigeno kaj akvovaporo por akiri pli riĉan gason kun pli alta varmiga indico. Kelkaj utilaj resumoj ekzistas [7,8,9].

Alia gasigilo kun fluidigita lito estis konstruita en Japanujo [10]. Ĝi uzis aeron kaj akvovaporon por produkti urbgason. Ĝi funkciis kune kun karbonigilo kaj la gasoj el la du procesoj estis miksitaj.

4) Gasigiloj kun fiksita lito

La gasigilo *Lurgi* estas la plej bone konata el ĉi tiu tipo, kaj estas eble la plej sukcesa moderna karbgasigilo. Uzita unue en Germanujo [11] ĝi estis regule uzata en Britujo [12,13], Sudafriko [14] kaj Aŭs-

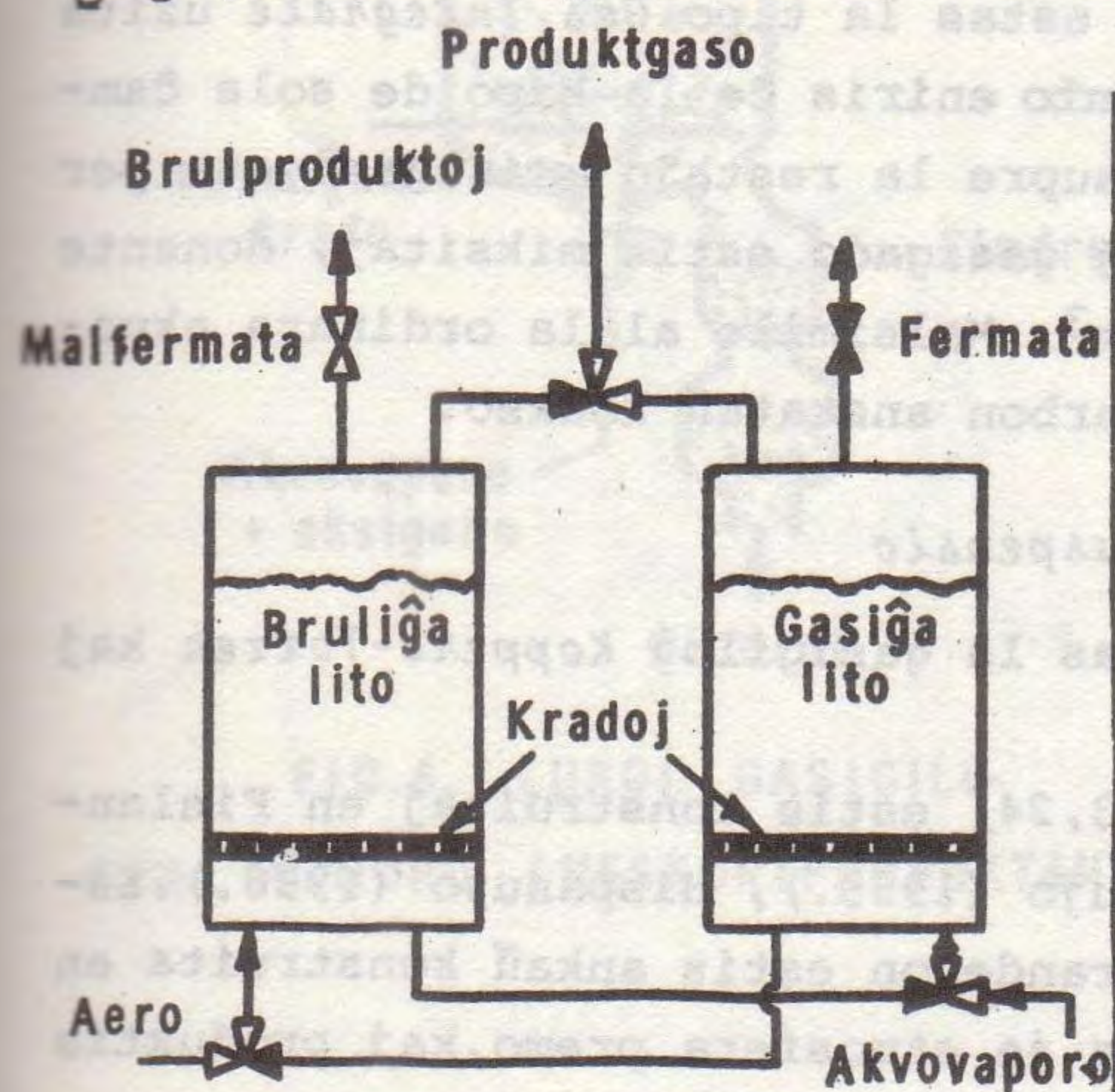


FIG. 4. AKVOGASAPARATO

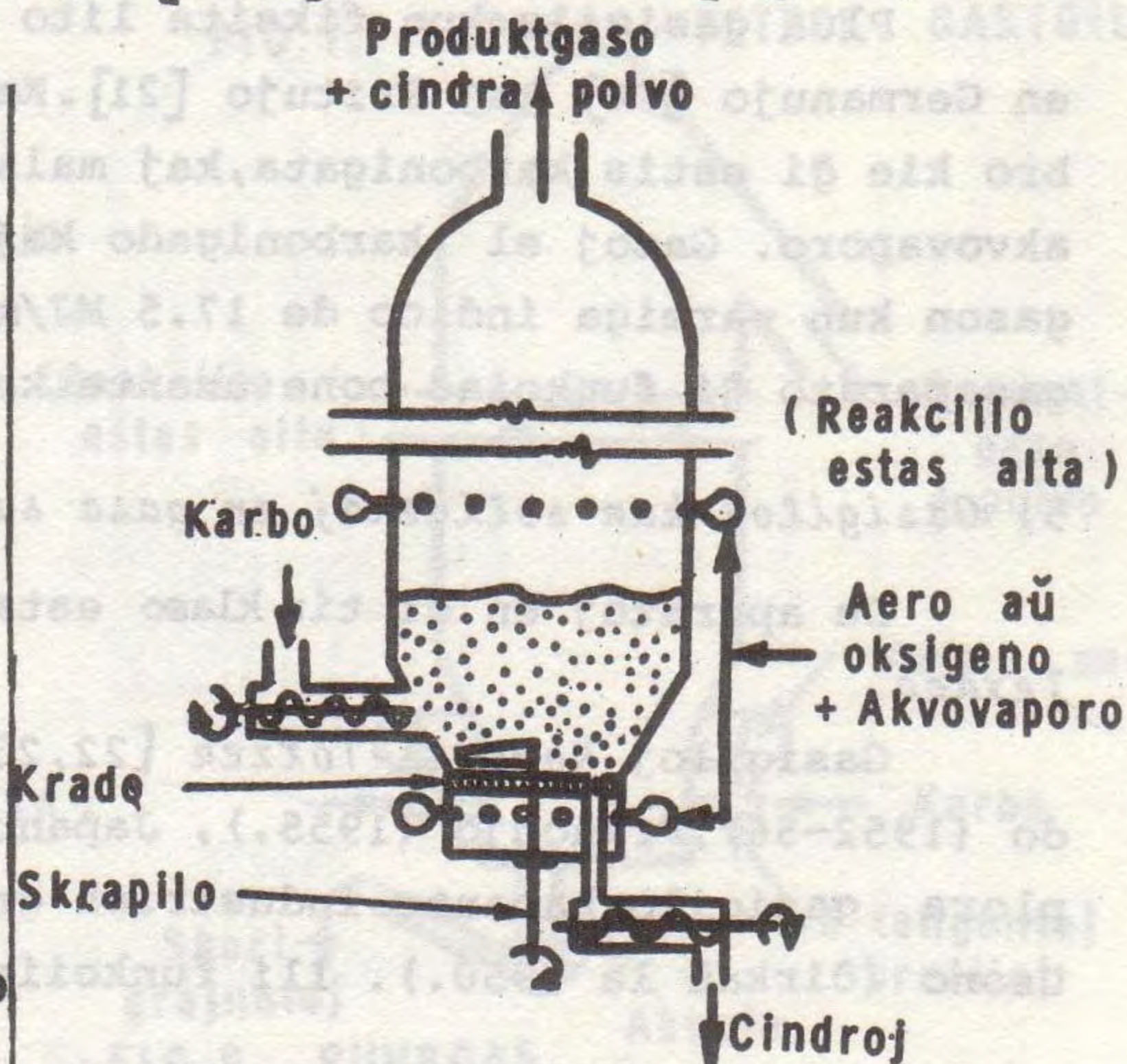


FIG. 5. WINKLER GASIGILO

tralis [15]. Pro la enkonduko de pli malmultkostaj procesoj por petrolgasigado, ĉi tiu karbgasigilo ne estas nun uzata, krom en Sudafriko kie specialaj geografiaj cirkonstancoj ekzistas, por gasproduktado por la kataliza sintezo de likvaj brulaĵoj.

La gasigilo *Lurgi* estas efektive speco de simpla gasproduktilo, sed ĝi uzas miksaĵon de oksigeno kaj akvovaporo kiel gasigaj reakciaĵoj kaj ĝi funkcias sub premo de 2-3 MPa. Sub tiuj kondiĉoj, iom de la hidrogeno produktita per la akvogasa reakcio kombiniĝas kun plua karbono per la hidrogasigada reakcio kaj donas metanon. Pro tio, la produktgaso havas relative altan varmigan indicon, ekzemple 15-17 MJ/m³. Ankaŭ, ĉar hidrogasigado donas varmon, plimulto da oksigeno estas bezonata. Tamen la plej alta kostelemento estas la prezo de oksigeno kiu, kvankam pli malkara ol antaŭe, estas tro kara por vera sukcesa industria proceso.

Tamen, eble la koststrukturoj de oksigenproduktado, karbgasigado kaj petrolgasigado ŝanĝiĝos estontece, kaj ĉi tiu gasigilo eble estos denove uzata en multaj partoj de la mondo.

Ni devas menciigi du specojn da gasigiloj kiuj funkcias je sufiĉe altaj temperaturoj por produkti likvan skorion, nome la gasigiloj *Leuna-Würth* [1, 16, 17, 18] kaj *Thyssen-Galocsy* [19]. Ambaŭ uzis oksigenon kaj akvovaporon kiel gasigan miksaĵon. La unua speco similis al ordinara gasproduktilo, la dua plisimilis ol fandfornego, kvankam ĝi estis fakte iom pli malgranda. Krom skorion ili produktis iom da likva fero kiu falis al la fundo de la gasigilo, sub la fandita skorio kiel en fandfornego. Ĉi tiuj gasigiloj funkciis je atmosfera premo.

Plua gasigilo kun fiksita lito estas la tipo *Gas Integrale* uzita en Germanujo [20] kaj Britujo [21]. Karbo eniris ĉe la kapo de sola ĉambro kie ĝi estis karbonigata, kaj malsupre la restaĵo estis gasigata per akvovaporo. Gasoj el karbonigado kaj gasigado estis miksitaj, donante gason kun varmiga indico de 17.5 MJ/m³. Malsimile al la ordinara akvogasaparato ĝi funkcias bone uzante karbon anstataŭ koakso.

5) Gasigiloj kun solideroj en gasa suspensio

Du aparatoj en ĉi tiu klaso estas la gasigiloj *Koppers-Totzek* kaj *Texaco*.

Gasigiloj *Koppers-Totzek* [22, 23, 24] estis konstruitaj en Finnlando (1952-56), Francujo (1955.), Japanujo (1955.), Hispanujo (1958.). Esplora gasigilo havante industriaran grandecon estis ankaŭ konstruita en Usono (ĉirkaŭ la 1950.). Ili funkciis je atmosfera premo, kaj produktis

sintezan gason, por amoniakproduktado, el oksigeno kaj akvovaporo. Ordinare la gasigilo havis diametron ĉirkaŭ 210 mm sed la franca ekzemplero estis pli granda, kun diametro de ĉirkaŭ 400 mm kaj karbuzado po 50-100 tunoj en tago. Sufiĉa varmo estis produktata por transformi parton de cindroj en skorion, kiu elfluis kiel likvaĵo. Fig. 7 montras la principon de la gasigilo Koppers-Totzek.

La gasigilo Texaco [1,25,26] funkciis je premo de 2.7-3.5 kPa kaj temperaturo de 1430°C. Usona kemiaĵfabrikejo uzis ĝin industriskale (1956) por gasigado de karbo per oksigeno kaj akvovaporo. Tipa gaskonsisto estis 47.1% CO, 18.2% CO₂, 33.5% H₂, 1.1% N₂, 0.1% CH₄. Oni uzis 10% pli ol la kvanto de oksigeno bezonita por formo de CO. La karbo estis miksitita kun minimumo da akvo kaj pumpita en la gasigilon kiel likvaĵo.

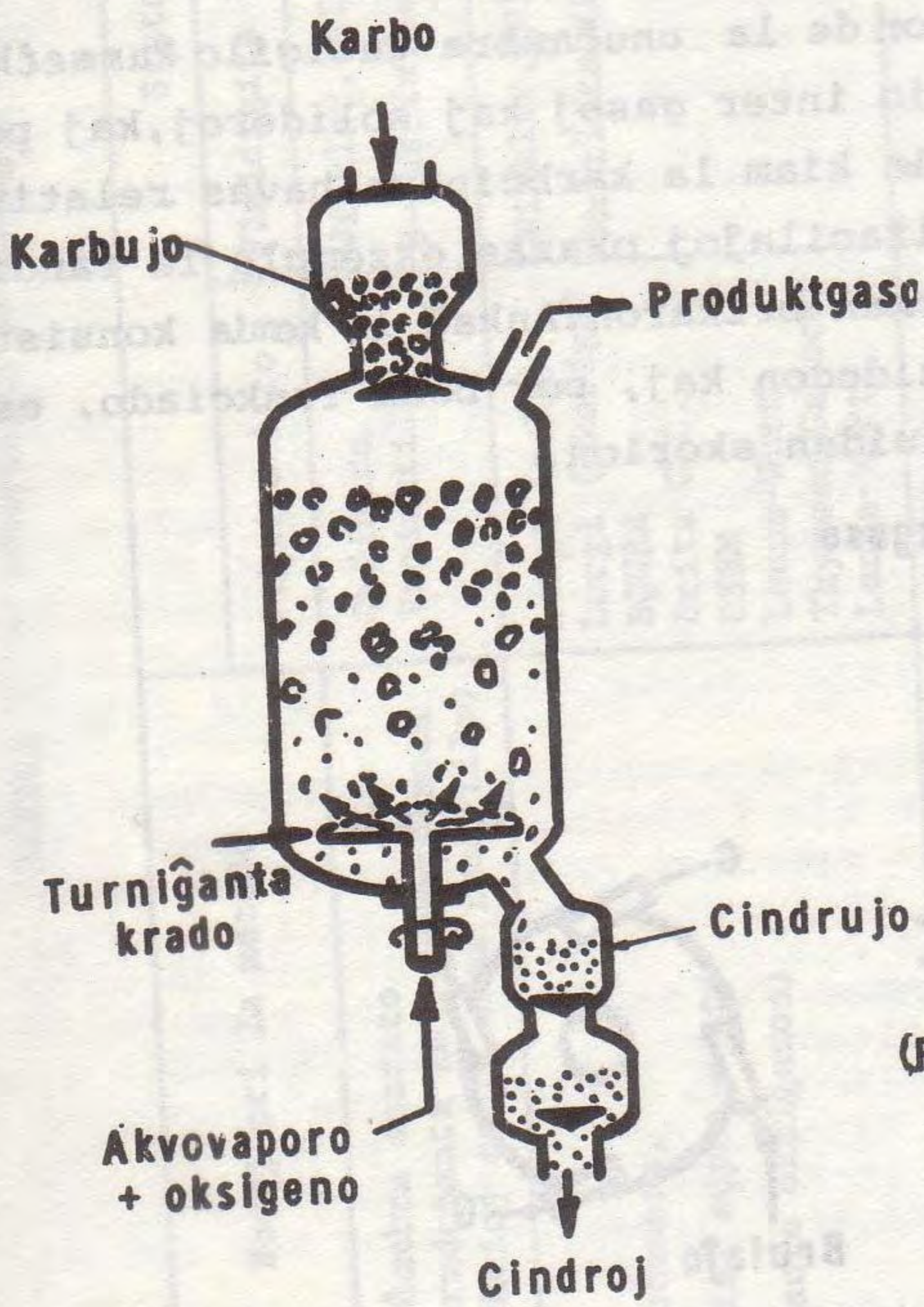


FIG. 6. LURGI GASIGILO SEKA CINDRO (NESKORIPRODUKTANTA)

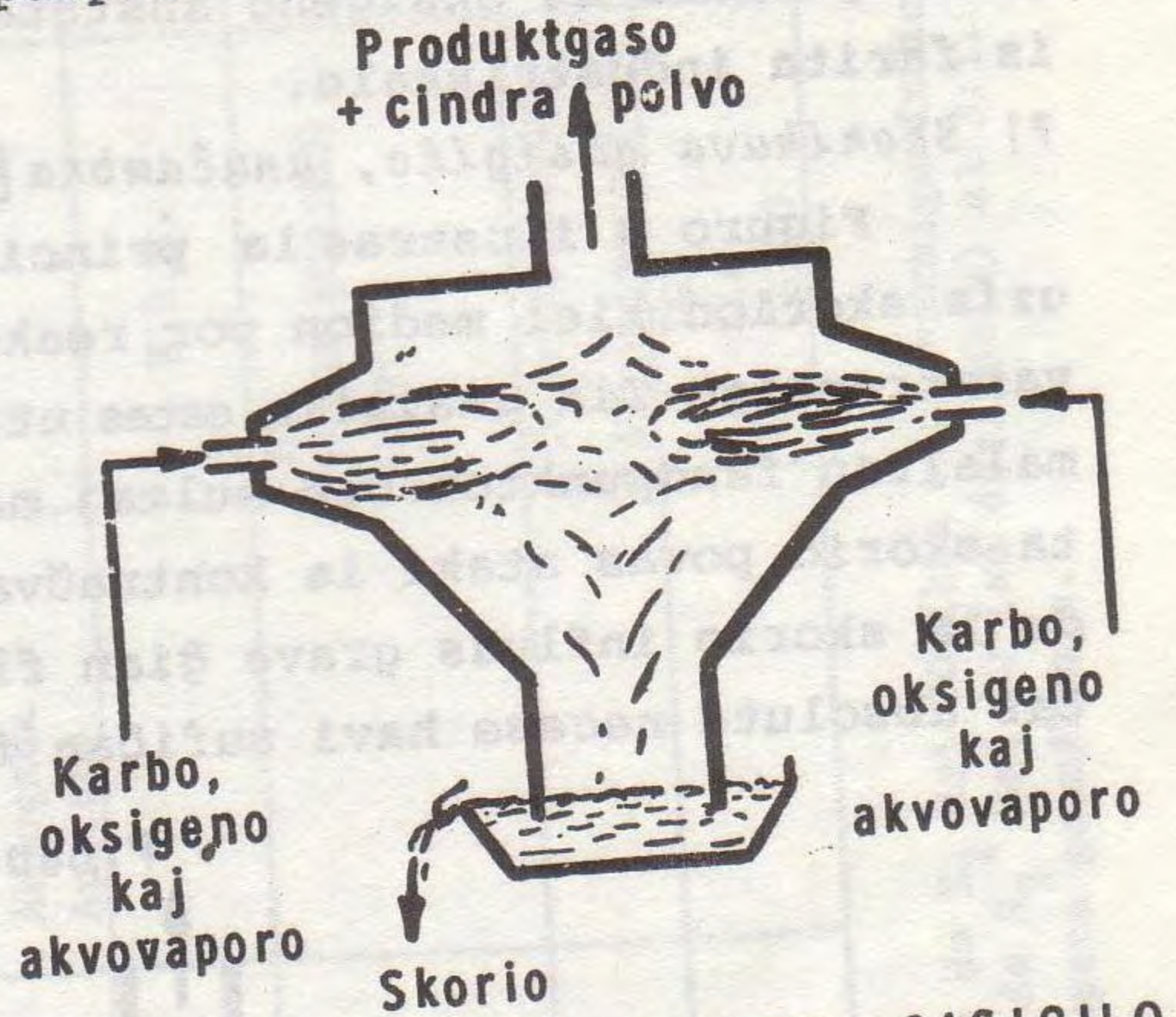


FIG. 7. KOPPERS - TOTZEK GASIGILO

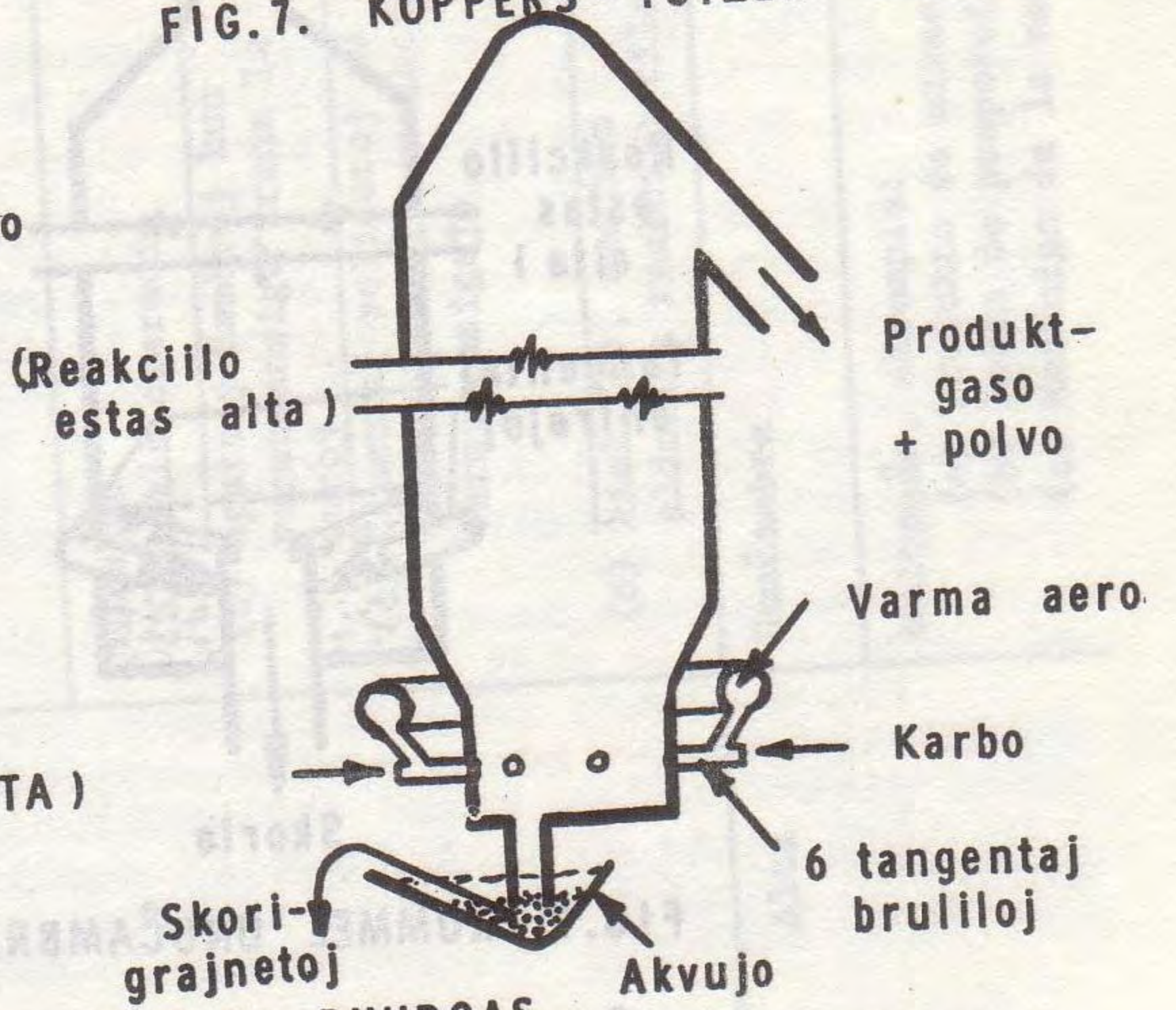


FIG. 8. RUHRGAS "WIRBELKAMMER" GASIGILO

6) Ciklonĉambra gasigilo

Post kelkaj esploroj je skaloj de 5 kaj 15 tunoj da karbo en tago la germana kompanio *Ruhrigas A.G.* konstruis industriskalan gasigilon, kiu uzis 100 tunojn da karbo ĉiutage [27]. Tiu aparato (Fig. 8) uzis antaŭvarmigitan aeron (750°C) kaj akvovaporon (400°C kaj 3.45 MPa) por produkti produktitan gason por varmigo de koaksfornoj. La ciklona ĉambro havis diametron de 200 mm kaj altecon de 230 mm. Fandita skorio estis ĉerpata periode en grajnigan kuvon kiu enhavis akvon. Rapida malvarmigo frakasis la skorion kaj oni povis forpreni ĝin el la gasigilo tra la akvotavolo sen perdo de gaso. Oni diris ke oni povis produkti sintezan gason per uzo de oksigeno anstataŭ aero, sed ŝajnas ke tio neniam estis farita industriskale.

7) Skorikuva gasigilo, unuĉambra [28]

Figuro 9 ilustras la principon de la unuĉambra gasigilo *Rummel* kiu uzis skorion kiel medion por reakcio inter gasoj kaj solideroj, kaj por varmtransigo. Tia gasigilo estas utila kiam la karbcindro havas relative malaltan fandpunkton. Sed multaj malfacilaĵoj okazas, ekzemple la fandita skorio povas ataki la kontraŭvarman brikaron. Ankaŭ la kemia konsisto de la skorio influas grave ĝian fluidecon kaj, por bona funkciado, estas absolute necese havi sufiĉan fluidan skorion.

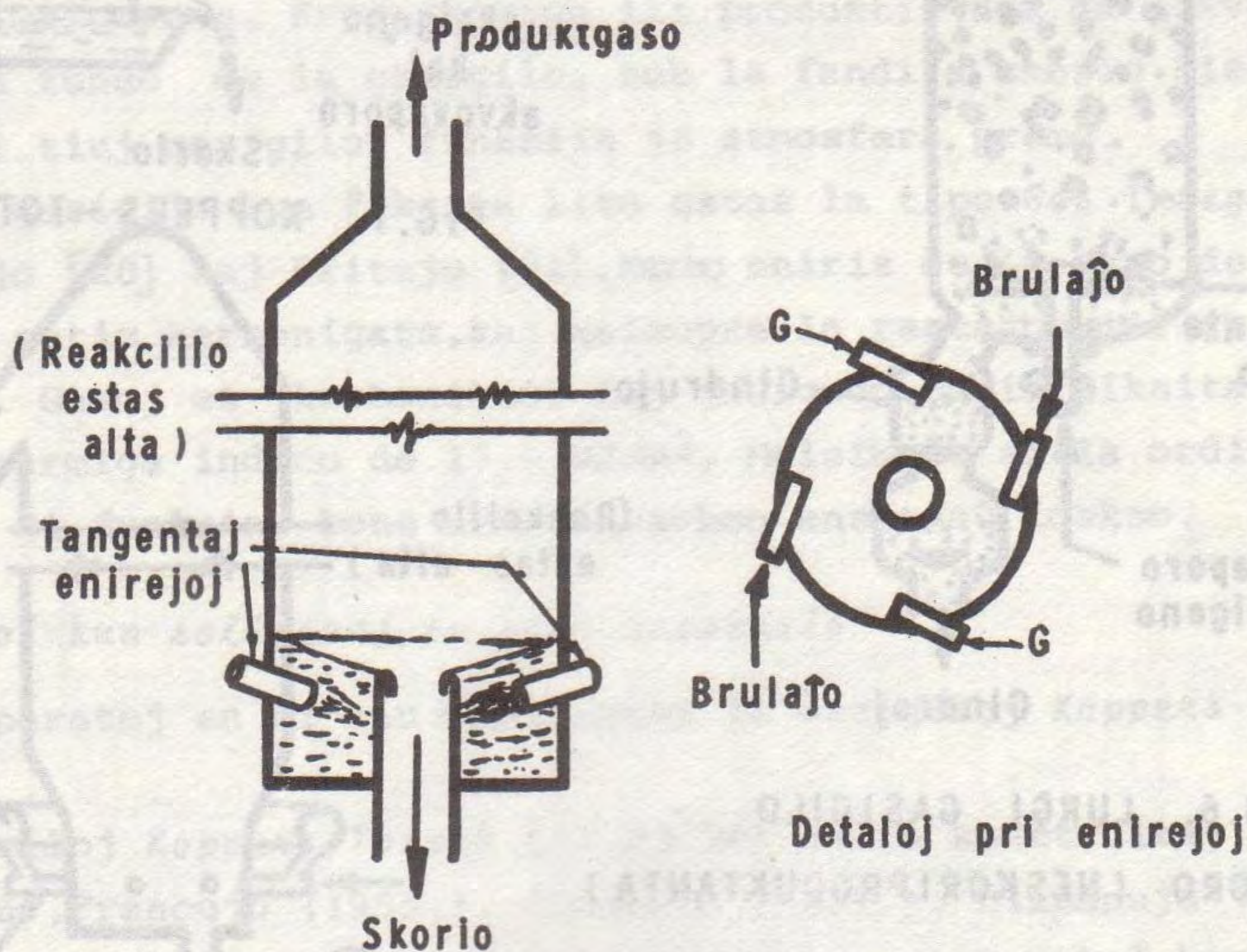


FIG. 9. RUMMEL UNUĈAMBRA SKORIKUVA GASIGILO

G - gasigaĵoj (aero aŭ oksigeno + akvovaporo)

TABELO 1 - Klasifiko de gasigaj metodoj

Varmiga Indico de la produktita gaso	Notoj pri la metodo	Stato de solida brulaĵo			
		Fiksita lito	Fluidigita lito	Suspensio en gaso	Suspensio en likvaĵo
Malalta	Unuĉambra aparato (varmdonanta kaj varmprenanta reakcioj en la sama reakciilo)	Ordinara Produktilo	Winkler, INICHAR, U-gas, Taiheiyō	Winkler (parte) Koppers/Totzek	Rummel (1-ĉambra) F.R.S.
Meza	Unuĉambra, (kiel supre - sed uzante oksigenon)	Lurgi (seka) Lurgi (skoriga) BCURA Brita G.C. USBM Leuna-Würth Thyssen-Galocsy Leuna-Würth	Winkler, INICHAR, Multlita (CSIRO)	Winkler (parte) Koppers/Totzek USBM/B-W.	Rummel (1-ĉambra) Funditsala (Kellogg: 1-ĉambra)
	Duĉambra (a) cikla operacio (b) apartaj ĉambroj kun varmtransigo trans la muroj (c) fluantaj solideroj aŭ likvaĵoj kiel nereakcia varmtransigaĵo (d) kiel (c), sed kun aldonita reakciportilo	Ordinara Akvogasa Aparato	F.R.S.		Rummel (2-ĉambra) Funditsala (Kellogg: 2-ĉambra)
Alta	Unuĉambra		CO ₂ -akceptanta Akvovaporo/fero IGT G.C. CSIRO		
<p>Multipaŝa, ekzemple:</p> <p>(a) Produkto de miksaĵo de H₂ kaj CO (kun meza varmiga indico) laŭ iu metodo supre.</p> <p>(b) Sang' de proporcio de H₂ kaj CO (se dezirebla) al 3:1.</p> <p>(c) Metanigo de la mezspeca gasmiksaĵo.</p>					

La plej bona kontraŭvarmaĵo estas solida skorio kiun oni povas produkti je la ĉambromuroj per malvarmigo, efektivegita per tuboj enhavantaj fluantan akvon. Sed, kompreneble, estas necese ne malvarmigi tro da skorio, alie la fluideco falus kaj la skorio eĉ solidiĝus.

La unua industria gasigilo Rummel estis konstruita en Germanujo dum la 1956. por produkti sintezan gason. Ĝi uzis ligniton, oksigenon kaj akvovaporon, kaj funkciis je atmosfera premo. Ĉar nova cindro estis enmetata kun la karbo, iom da fandita skorio estis ĉerpata periode.

DISKUTO

El la karbgasigaj procesoj kiuj eniris industrian produktadon, neniu donas gason kiu similas al la natura gaso. Do, grava celo de esploroj dum la lastaj 10-20 jaroj estis evoluigi metodojn kiu produktos metanon je sufiĉe malalta prezo por daŭrigi aŭ anstataŭi la naturan gason. Sed por tio oni bezonas aŭ hidrogenon aŭ sintezan gason kaj tial oni ankaŭ bezonas produktmetodon kiu donas tiajn gasojn.

El la procesoj kiujn ni diskutis, nur la cikla akvogasaparato produktas gason kun meza varmiga indico sen uzo de preskaŭ pura oksigeno anstataŭ aero. Kompreneble la oksigeno estas produktata el aero sed la oksigenkosto estas grava parto el la tuta kosto de la fina gaso, pro la kosto de la aparato kaj la elektro bezonataj. Aliflanke, per uzo de oksigeno oni povas desegni pli simplan gasigilon, sen komplikaj metodoj por malebligi mikson de nitrogeno kun la produkta gaso. Ankaŭ se oni ne uzas aeron la nitrogeno ne eniras la reakciilon je alta temperaturo kaj tial ĝi ne forprenas sentebelan varmon.

Ĉar ĉiuj karboj enhavas mineralan materialon, la forprenmetodo por la cindro lasita post gasigado aŭ brulado estas grava trajto de sukcesa gasigilo. Se oni fidus al la gasfluo por cindroforpreno, kaj speciale se la karberoj estas malgrandaj, perdo de karbono okazas tre facile. Se oni forprenas la cindron kiel fandata skorio, problemoj aperas pro atako per la skorio kontraŭ la varmrezista materialo uzita en la konstruado de la gasigilo. Se la cindro estas eltirata kiel solidaj pecoj, fidinda mekanika metodo devas esti uzata, ĉar tio helpas konstantigi la gasproduktadon.

Karbgasigado je premoj pli altaj ol atmosfera premo enkondukas avantaĝojn kaj malavantaĝojn. Gasigilo kiu funkcias je alta premo estas relative malgranda kaj ĝi havas altan specifan gasprodukon, sed ĝi devas esti pli forta kaj, pro tio, pli kara. Oni devas kalkuli se la pli alta gasproduko meritas la pli altan koston. Plue, la ŝarĝado de karbo kaj la forpreno de cindro aŭ skorio estas pli malfacilaj ol kiam gasigilo funkcias je atmosfera premo. Aliflanke, malpli da energio estas bezonata, ekzemple, por kunpreni unu volumon da oksigeno antaŭ gasigado, anstataŭ kunpreni la du volumojn da karbona monooksido produktaj per duonbrulo (Ekv. 2). Kiel ni vidis dum la klarigo pri la *Lurgi* gasigilo, alta premo helpas produkti metanon kaj, pro tio, donas gason kun iom pli alta varmiga indico.

Kompreneble, se oni ne bezonas riĉan gason, aŭ gason je alta premo, kelkaj el la plej grandaj malfacilaĵoj malaperas.

Kio do estas la plej konvena, la plej ŝparema, la plej bona, karbgasigmetodo? Estas neniu simpla respondo por ĉiu lando kaj ĉiu celo. Oni devas elekti laŭ la lokaj cirkonstancoj.

Ĉar neniu el la industriaj gasigiloj estas perfekta, multaj aliaj gasigiloj estas elpensitaj aŭ estas sub evoluo. Dua artikolo traktos pri tipaj esploroj kaj pruvaparatoj uzitaj aŭ uzataj.

RESUMO

LA NUUNA STATO DE KARBONGASIGADO
 I - ĜENERALAJ PRINCIPOJ KAJ INDUSTRIA APLIKADO
 (K. McG. Bowling, SIDNEJO, Aŭstralio)

Multaj procesoj por kompleta karbgasigado estas elpensitaj, origine pliigi gason el karbonigado de karbo, sed poste produkti sintezan gason kaj hidrogenon por kemiaj celoj aŭ puran brulgason por gasmotoroj aŭ proceshejtado. La kemiaj reakcioj uzitaj estas simplaj kaj ne-multaj. Tipe, varmprenanta kaj varmdonanta reakcioj estas bilancitaj, unu kontraŭ la alia, donante konstantan reakcitemperaturon. Oni povas klasifiki gasigajn procesojn laŭ (1) la varmiga indico de la gaso produktita, (2) la metodo uzita transigi varmon por bilanci la reakcivarmojn, kaj (3) la fizika stato de la solida brulaĵo dum la gasigado. Tipaj gasigiloj kiujn oni uzis industriskale dum la du lastaj dekjaroj estas klarigitaj mallonge per helpo de diagramoj, kaj iliaj karakterizaj trajtoj estas pridiskutitaj. La vico ampleksas gasigilojn havante fiksitajn litojn, fluidigitajn litojn, suspensiajn kaj ciklonajn ĉambrojn, kaj skorikuvojn. La relativaj meritoj de oksigeno kaj aero kiel gasigaj reakciaĵoj, kaj de gasigado je atmosfera aŭ pli altaj premoj estas diskutitaj. Propraj problemoj rilate al desegno kaj operacio estas menciitaj.

Intereso pri karbgasigado malkreskis dum la lastaj jaroj pro pli vasta uzado de la natura gaso kaj la havebleco de efikaj petrolgasigaj procesoj, sed kredeble karbgasigado iĝos denove grava rimedo por karbuzaĵo estonte.

REFERENCOJ

- [1] Hoy, H.R. kaj Wilkins, D.M. *British Coal Utilization Research Association, Monthly Bull.*, 22 (2) 57-110 (1958).
- [2] *Proceedings, Joint Conference on Gasification Processes*, Instn Gas Engrs, kaj Inst. Fuel. Hastings, Britio, Septembro 1962.
- [3] Fredersdorff, C.G. von, kaj Elliott, M.A. "Coal Gasification". Ĉapitro 20 en *Chemistry of Coal Utilization*, Aldonita Volumo (N-ro 3), paĝoj 892-1022. (Redaktita de H.H. Lowry kaj Komitato) John Wiley, New York, 1963.

SUMMARY
 PRESENT STATE OF COAL GASIFICATION
 I-GENERAL PRINCIPLES AND INDUSTRIAL APPLICATION
 (K. McG. Bowling, Sidnejo, Australia)

Many processes for the complete gasification of coal have been devised, originally to supplement gas obtained by the carbonization of coal, but later to produce synthesis gas and hydrogen for chemical purposes or clean fuel gas for gas engines or process heating. The chemical reactions used are simple and limited in number. Typically, endothermic and exothermic reactions are balanced against each other to give a steady reaction temperature. Gasification processes can be classified according to (1) the calorific value of the gas produced, (2) the method used to transfer heat in order to balance the heats of reaction, and (3) the physical state of the solid fuel while being gasified. Typical gasifiers which have been used industrially in the last two decades are described briefly with the aid of diagrams, and their characteristic features are discussed. The range includes gasifiers with fixed beds, fluidized beds, suspension and cyclone chambers, and slag baths. The relative merits of oxygen and air as gasifying reagents, and of conducting gasification at atmospheric or higher pressures are discussed. Special problems in design and operation are mentioned.

Interest in coal gasification has declined in recent years because of greater use of natural gas and the availability of efficient oil gasification processes, but gasification will probably again become an important means of coal utilization in the future.

- [4] Lavrov, N.V., Korobov, V.V. kaj Filippova, V.I. "The Thermodynamics of Gasification and Gas-Synthesis Reactions" Pergamon Press, Oxford, 1963.
 Originale eldonita ruslingve:
 Лавров, Н.В., Коробов, В.В. и Филлипова, В.И.
 "Термодинамика Реакций Газификаций и Синтеза из Газов". Акад. Наук СССР, Москва, 1960.
- [5] Squires, A.M. *Science*, 169, 821-828 (28 aŭgusto 1970).
- [6] Metz, W.D. *Science*, 179, 54-56 (5 januaro 1973).
- [7] Newman, L.L. *Industr. Engng Chem.*, 40 (4) 559-581 (1948).
- [8] Flesch, W., kaj Velling, G. *Erdöl und Kohle*, 15, 710-713 (Sept. 1962)

- [9] Flesch, W. Paper D2, *International Conference on Complete Gasification of Mined Coal* (angla teksto), Liège, Belgio, 1954. Organizita de Institut National de l'Industrie Charbonnière, Belgio. (Franca kaj germana tekstoj ankaŭ haveblaj).
- [10] Hayashi, G. *Nenryō Kyōkaishi* (Gazeto de la japana brulafasocio) 38 (389) 599-607 (1959).
- [11] Drawe, R. *Gas- und Wasserfach*, 70 904-905 (1927).
- [12] Ricketts, T.S. *J. Inst. Fuel*, 34, 177-188 (1961).
- [13] Ricketts, T.S. *J. Inst. Fuel*, 37, 328-341 (1964).
- [14] Ricketts, T.S. kiel ref [12], paĝoj 181-182.
- [15] Andrews, R.S. *Instn. Gas Engrs* (Britio) Publ'n 503 (1957).
- [16] Newman, L.L., kiel ref [7], paĝoj 579-580.
- [17] Waes, J.P.M. van, kaj Quanjel, H.E. *Coke and Gas*, 18, 117-122 (1956).
- [18] Würster, C. *Chem. Ing. Tech.*, 28, 1-8 (1956).
- [19] Newman, L.L. kiel ref. [7] paĝoj, 578-579.
- [20] Cordell, E. and Lorenzen, G. *Gas- und Wasserfach*, 99, 446-455 (1958).
- [21] Anon. *Coke and Gas*, 20, 46-47 (1958). (el raporto de A.F. Grant kaj C.H. Lewis al 23rd Autumn Research Meeting, Institution of Gas Engineers, Britio, 1957).
- [22] Totzek, F. kaj Osthaus, K.H. *Coke and Gas*, 12, 215-223 (1950).
- [23] Totzek, F. *Chem. Engng Progress*, 50, 182-187 (1954).
- [24] Koppers, H.H. *J. Inst. Fuel*, 30, 673-676 (1957) kun diskuto ĝis paĝo 680.
- [25] Eastman, D. Raporto al *Symposium on Gasification and Liquefaction of Coal*, Amer. Inst. Min. Met. Engrs, New York, 1952. (La AIMME eldonis la raportojn libroforme dum 1953. Ĉi tiu raporto aperis sur paĝoj 73-79).
- [26] Eastman, D. (al Texaco Inc.) *Usonaj Patentoj*, 2,595,234 (6-V-1952) kaj 2,931,715 (5-IV-1960).
- [27] Anon (ref F. Nistler) *Coke and Gas*, 19, 54-57 (1957).
- [28] Rummel, R. *Coke and Gas*, 21, 492-520 (1959).