

**ENIGE TECHNISCHE EN MARKTECONOMISCHE
ASPECTEN MET BETREKKING TOT DE FABRIEKSMATIGE
VERWERKING VAN STEENKOOL TOT GASVORMIGE OF
VLOEIBARE ENERGIEDRAGERS**

G.H.M. GEERTMAN, J.W.M. STEEMAN en F.J. WETZELS¹⁾

SUMMARY

First a review is given of the existing techniques and current development in the application of coal as an energy carrier, when the disadvantages attached to the use of coal is avoided. This technical part deals mainly with the process technology of manufacturing SNG and/or crude from coal and the generation of electricity from coal respectively.

Secondly, the (future) commercial proposition of these techniques is valuated by determining the unit costs of the product (depending on conversion costs and the upset-price for the coal) and comparing this with the price development of alternative energy. For USA conditions it is expected that, in spite of the relatively high costs of conversion, a competitive SNG market price can be realised, being the result of a low cost price for coal ex mine.

A competitive SNG price on the basis of European coal does not seem attainable. However, in Europe a competitive production of SNG may be achieved, provided that the price of imported coal does not appreciably exceed the technical cost price. If on the other hand the price of imported coal is based on a calorific equivalence with heavy fuel oil, SNG prices do not seem competitive with natural gas prices, unless this SNG will be used for 'heavy' premium markets (non-industrial public use).

Conversion of coal into liquid fractions is much more expensive than conversion into SNG and therefore probably will not be initiated very soon under the existing European conditions. For, SNG may serve as a substitute for heavy oil fractions and middle distillates (e.g. in industrial and domestic applications); the latter in their turn may be converted into light fractions via "cracking" at relatively low conversion costs.

I. TECHNISCHE ASPECTEN

I. Methoden

Mede tengevolge van het sterk toenemende energieverbruik van de moderne industriële maatschappij zal het noodzakelijk worden om naast aardgas en olie, in toenemende mate ook steenkool als energiedrager te benutten. Het feit, dat het gebruik van steenkool een aantal ernstige problemen oproept (b.v. hanteren van vaste stoffen; as-probleem; milieu-problematiek o.m. tengevolge van het zwavelgehalte) heeft er toe geleid, dat voornamelijk in de USA maar ook in West-Europa, is gezocht naar nieuwe technologieën voor de verwerking van steenkool tot gemakkelijker toepas-

bare energiedragers. Deze ontwikkeling is gegaan in drie richtingen:

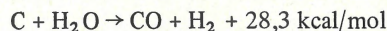
- a. de bereiding van een gas met hoge calorische waarde uit steenkool
- b. de bereiding van vloeibare brandstoffen uit steenkool
- c. een rationalisatie van de opwekking van elektrische energie uit steenkool.

Daar de ontwikkeling van deze technologieën, althans ten dele, betrekkelijk recent is aangezet, verkeren de meeste van deze processen nog in het laboratorium- of proeffabriekstadium. Slechts een enkele variant van de oudere vergassingsprocessen, zoals het Lurgi-proces, heeft reeds praktische toepassing gevonden.

2. Processen voor de bereiding van gasvormige brandstoffen uit steenkool

De doelstelling van deze processen is het bereiden van een gasvormige brandstof, die min of meer gelijkwaardig is aan aardgas en, al of niet daarmee gemengd, via het aardgasnet kan worden gedistribueerd.

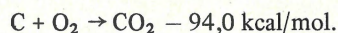
Bij alle voorgestelde processen wordt de steenkool met stoom vergast volgens de endotherme reactie:



De warmtebehoefte van deze reactie kan op drie manieren worden gedekt, nl. door toepassing van:

- a. oxiderende vergassing met een zuurstof-stoommengsel;
- b. hydrogenerende vergassing, met een waterstof-stoommengsel;
- c. kernwarmte.

Ad a: De oxiderende vergassing.— In dit geval wordt de warmtebehoefte van de vergassing in hoofdzaak gedekt door de reactie:



Een belangrijke vertegenwoordiger van deze groep vergassingsprocessen is *het Lurgi-proces*, waarbij steenkool in een vast bed bij 20 à 30 atm. druk met een zuurstof-stoommeng-

¹⁾ D.S.M.

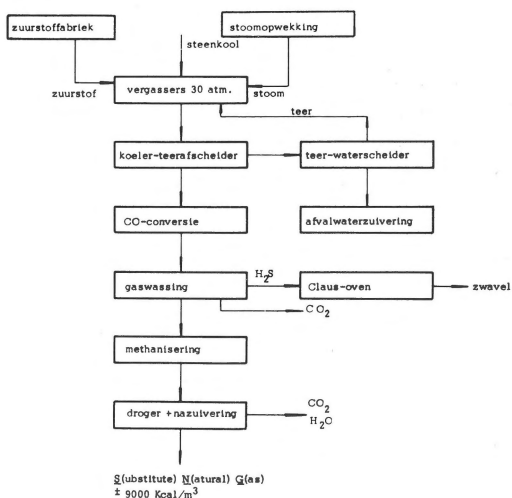


Fig. 1
Blokschema Lurgi-proces voor S.N.G.-bereiding

sel wordt vergast. De as wordt in vaste toestand afgevoerd. Het proces, dat in figuur 1 schematisch is weergegeven, wordt reeds sinds 1935 toegepast en heeft inmiddels een grote graad van perfectie bereikt. Het Lurgi-proces onderscheidt zich dan ook van alle andere, hierna genoemde procédés in die zin, dat bedrijfservaring op industriële schaal is opgedaan. Alle andere processen verkeren nog in het ontwikkelingsstadium.

Het belangrijkste bezwaar van het Lurgi-proces is, dat alleen niet- of zwakbakkende kolensoorten toepasbaar zijn. De capaciteit per gasgenerator is beperkt, waardoor bij grote installaties 20 – 30 generatoren nodig zijn. Moderne, nog in ontwikkeling zijnde processen van dit type zijn voorts het Bigasproces en het CO_2 -acceptorproces.

Bij het *Bigasproces* wordt de vergassing in twee trappen uitgevoerd. In de eerste trap wordt de kool in een "fluidbed" vergast. In de tweede trap wordt bij hogere temperatuur, onder zg. "slagging" condities gewerkt, zodat de as vloeibaar kan worden afgevoerd. Dit proces kan ook vetkolen verwerken.

Bij het CO_2 -acceptorproces wordt poederkool samen met hete gecalcineerde dolomiet door middel van stoom vergast. Een deel van de reactiemassa wordt aan de vergasser onttrokken en in een regenerator met lucht in aanraking gebracht. In deze regeneratiestap wordt de dolomiet verhit en gecalcineerd. De hete gecalcineerde dolomiet (MgO , CaCO_3) wordt naar de vergasser gevoerd en staat daar zijn voelbare warmte af, terwijl tevens CO_2 wordt opgenomen.

De scheiding van dolomiet en as kan grote problemen geven.

ad b: De hydrogenerende vergassing (hydrogassificatie).— Bij de hydrogenerende vergassing wordt de voor de reactie van steenkool met stoom benodigde warmte geleverd door de reactie:

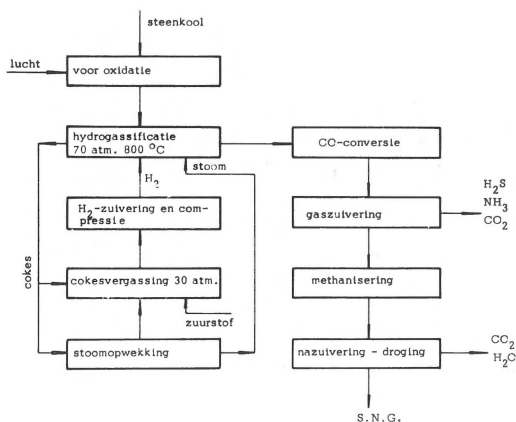
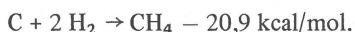


Fig. 2
Hydrogenerende vergassing van steenkool (Hygasproces)

Het belangrijkste voorbeeld van deze groep processen is het in de USA (Institute for Gastechnology) in ontwikkeling zijnde *Hygasproces*. In dit geval wordt de poedervormige steenkool, na een vooroxidatie met lucht (om de eventuele bakkende eigenschappen te elimineren), met behulp van een synthesegas-stoommengsel vergast. De in deze hydrogassificatiestap niet omgezette steenkoolfractie wordt in een aparte bewerking omgezet in synthesegas. Figuur 2 geeft een schema van dit procédé.

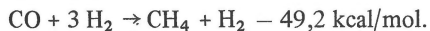
Ad c: De vergassing met behulp van kernwarmte.— Deze variant van de vergassingsprocessen stelt zich ten doel de hoge temperatuurwarmte van gasgekoelde kernreactoren voor de vergassing van steenkool met stoom te benutten. Vooral in Duitsland geniet deze werkwijze veel belangstelling en wordt dienaangaande zeer intensieve research gepleegd (KFA Jülich). De vergassing van de steenkool vindt plaats bij betrekkelijk lage temperaturen (700 – 800°C).

Daar slechts ongeveer een derde van de benodigde calorieën door kernwarmte geleverd kan worden en de investeringen tengevolge van de benodigde grote warmteoverdragende oppervlakken in de vergassers aanzienlijk zullen zijn, is de toepassing van kernwarmte alleen interessant indien deze aanzienlijk goedkoper is dan warmte betrokken uit steenkool. Een duidelijk inzicht in de benodigde extra investeringen ontbreekt thans nog.

Alle bovenvermelde steenkoolvergassingsprocessen werken onder verhoogde druk, enerzijds om bij de vergassing de vorming van methaan zoveel mogelijk te bevorderen (bij de oxiderende vergassing kan door bevordering van de methaanvorming de zuurstofconsumptie aanzienlijk worden beperkt), anderzijds om de gaszuivering onder druk te kunnen uitvoeren.

Het ruwe reactiegas bestaat uit de componenten: CO_2 , CO , H_2 en CH_4 . De in de steenkool aanwezige verontreinigingen

S en N zijn in het gasmengsel aanwezig als H_2S en NH_3 (of N_2). In de gaszuiveringsstap worden deze verontreinigingen, samen met CO_2 , verwijderd volgens een van de bekende zuiveringsmethoden, zodat een mengsel van CO , H_2 en CH_4 resulteert. In een methaniseringstap wordt dit mengsel omgezet tot methaan volgens de sterk exotherme reactie:



Bij deze methanisering treedt een warmteverlies op, waardoor het calorisch rendement van de vergassingsinstallaties wordt beperkt. Dit is een van de oorzaken waarom grote belangstelling bestaat voor die hydrogenerende vergassingsprocessen (b.v. het Hygaproces), waarbij de methaanvorming reeds in belangrijke mate plaatsvindt tijdens de vergassing.

Het geraamde calorisch rendement van de vergassingsinstallaties is rond 70%. Voor de geplande grote SNG-fabrieken op basis van steenkool is het koelwaterverbruik dan ook hoog: 2000 à 3000 m^3 /uur.

Een belangrijk aspect bij de keuze van een proces is de steenkoolsoort, welke moet worden verwerkt. Het Lurgi-proces is slechts geschikt voor niet- of zwakbakkende kolensoorten, terwijl de nieuwere processen een grotere vrijheidsgraad bieden bij de keuze van de grondstof, omdat veelal een separate voorontgassing wordt toegepast, ofwel poederkool in suspensie (b.v. in soda) wordt verwerkt.

In de USA is thans door het Office of Coal Research (OCR) in samenwerking met de American Gas Association (AGA) een groot researchprogramma opgezet om de verschillende processen te evalueren. Verwacht wordt dat einde 1975 de proeffabriekfase voor de belangrijkste varianten kan worden afgesloten. Vervolgens zal in 1976 worden begonnen met het ontwerp van een commerciële demonstratiefabriek, die mogelijk in 1978 in bedrijf kan komen. De kosten van dit programma bedragen ca. $\$ 30 \times 10^6$ gedurende 4-5 jaar, of in totaal ca. $\$ 150 \times 10^6$, exclusief de kosten voor de demonstratiefabriek.

3. Processen voor de bereiding van vloeibare brandstoffen uit steenkool

Naast de in het voorgaande beschreven processen voor de bereiding van gasvormige brandstoffen uit steenkool, zijn ook een groot aantal processen bekend voor de bereiding van vloeibare brandstoffen (in veel gevallen naast gasvormige) op basis van steenkool. Deze processen kunnen in een aantal groepen worden onderverdeeld:

- processen die berusten op de destructieve hydrogenering van steenkool;
- processen die berusten op de extractie van steenkool;
- processen die berusten op de thermische kaking van steenkool;
- processen die berusten op de totale vergassing van steenkool.

Ad a. Destructieve hydrogenering.— Het bekende *Bergiusproces* berust op de hydrogenering bij hoge temperatuur en druk van een suspensie van steenkool in een zware oliefractie. De zware (sterk asfaltenische) olie die bij deze processtap ontstaat, wordt in een tweede hydrogenering- en reformingstap omgezet in lager kokende benzine- en gasoliefracties. Dit proces is reeds vóór de Tweede Wereldoorlog in Duitsland ontwikkeld door IG-Farben, en later door Bureau of Mines resp. Hydrocarbon Research Inc. (USA) verder ontwikkeld tot het z.g. *H-coal-proces*.

Ad b. Extractie.— Daar bij de directe hydrogenering van steenkool het asgehalte van de kolen tot ernstige problemen aanleiding kan geven, is gezocht naar methoden om de as af te scheiden door de steenkool op te lossen in een oplosmiddel.

Bij deze extractie worden meestal oplosmiddelen met een zwak hydrogenerende werking toegepast. De oudste vertegenwoordiger van deze processen is het *Pott-Broche proces*. Bij deze extractie wordt een bij hogere temperaturen dik vloeibaar extract verkregen, dat vervolgens door hydrogenering verder verwerkt moet worden tot b.v. een stookolie.

Ad c. Thermische kraken.— Door pyrolyse van vooral halfvette steenkool kan tot 30 à 40% van de ingezette steenkool worden gewonnen als een teerfractie, die weer door hydrogenering in lager kokende oliefracties kan worden omgezet. Deze processen zijn in feite een 'versnelde' uitvoering van het klassieke cokesovenproces. De resulterende z.g. zwelcokes wordt meestal gebruikt voor de bereiding van SNG of in een ketelhuis t.b.v. de stoom- en stroomopwekking. Voorbeelden van dit type proces zijn het *COGAS-proces* en het *Toscoalproces*.

Ad d. Totale vergassing.— Bij deze categorie processen wordt de steenkool eerst in een vergassingsstap omgezet in een synthesegas, waarbij alle chemische bindingen worden verbroken. Het geproduceerde synthegas wordt in een katalytische reactiestap, bij matige druk en temperatuur (50 atm., 250°C), omgezet in laagkokende vloeibare producten. De meest bekende uitvoeringsvorm van deze procesvorm is het *Fischer-Tropsch* proces, zoals dat thans bij Sasol in Zuid-Afrika wordt toegepast. Vanzelfsprekend is de bereiding van methanol uit dit synthesegas in vele gevallen een aantrekkelijk alternatief.

Tot op heden staat de bereiding van SNG uit steenkolen duidelijk meer in de belangstelling dan de bereiding van oliefracties uit steenkolen. Dit hangt mede samen met het feit, dat laatstgenoemde conversie, uitgaande van gelijke calorische output, veel kostbaarder is dan de bereiding van SNG. Het lijkt vooralsnog de aangewezen weg om, naast de directe toepassing van steenkool in b.v. centrales (zie onder punt I.4), kolen te vergassen daar, waar dat op concurrerende

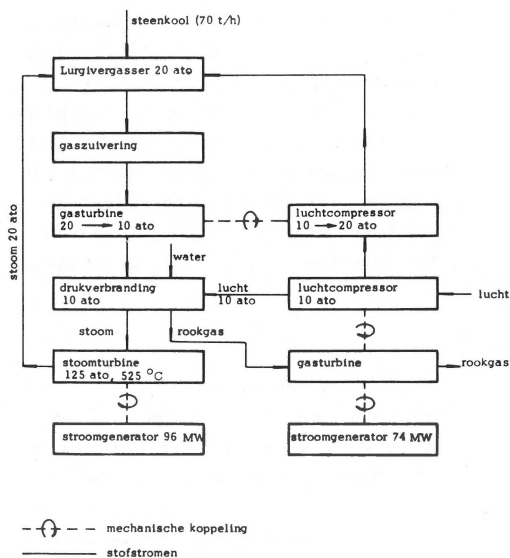


Fig. 3
 Schema Steag systeem voor steenkool gestookte elektrische centrale (centrale te Lünen)

wijze kan geschieden. Het geproduceerde SNG kan, naast aanvulling op aardgas, worden gebruikt als substituuat voor zware oliefracties en middeldestillaten in huishoudingen en industrie. De daardoor vrijkomende zware oliefracties kunnen via kraakinstallaties worden omgezet in lichte fracties; de betreffende conversiekostprijs is veel lager dan de meerkosten van kolenliquefactie bóven de bereiding van SNG. Voorts zij in dit verband nog opgemerkt dat de bereiding van oliefracties uit oilshales en tarsands een aantrekkelijker alternatief lijkt te zijn dan kolenliquefactie.

4. Vergassing van steenkool ten behoeve van de elektriciteitsopwekking

Indien steenkool direct voor de opwekking van elektriciteit in centrales wordt gebruikt, kunnen ernstige problemen ontstaan in verband met de uitwerp aan as en SO₂ van deze installaties. Teneinde deze bezwaren op te heffen worden thans een aantal nieuwe voorstellen uitgewerkt.

Een belangrijke richting waarin deze ontwikkelingen gaan is de combinatie van vergassingsprocessen met gasturbines en een stoomcyclus. Hierbij wordt de steenkool eerst vergast met een stoom-luchtmengsel, b.v. volgens het Lurgi-proces. Het geproduceerde gas wordt volgens een der bekende technieken zodanig gezuiverd, dat een rookgaszuivering na de verbranding overbodig is. De verkregen gasvormige brandstof kan nu b.v. via een combined-cyclus van gasturbine en afgangstoomketel worden verwerkt. In dit verband zij verwezen naar de zeer geavanceerde installatie van Steag (West Duitsland) welke in fig. 3 schematisch is weergegeven. De verbranding van het in Lurgi-generatoren geproduceerde gas vindt hier plaats bij 10 atmosfeer in een stoomketel. De elektriciteitsopwekking vindt zowel met gasturbines als met

stoomturbines plaats. Door de betere benutting van de potentieel hoge verbrandingstemperatuur is het rendement van dit type installaties thans reeds 39%, terwijl op lange termijn een rendement van 45 tot 50% haalbaar wordt geacht. Een verdere discussie van deze procédés valt buiten het bestek van deze bijdrage.

II. ECONOMISCHE ASPECTEN

1. Kostprijingsramingen voor de bereiding van SNG uit steenkool

Een overzicht van een aantal in de literatuur vermelde investeringsramingen voor installaties die SNG bereiden uit steenkool is in tabel I opgenomen.

TABEL I
 Investeringsramingen voor fabrieken van SNG uit steenkool

Procesvariant	Capaciteit	Investeringsniveau
Lurgi-drukvergassing	63 × 10 ³ Gcal/dag	\$ 300 × 10 ⁶ (1)
Bigas	idem	\$ 170 × 10 ⁶
Synthane	idem	\$ 195 × 10 ⁶
Kellogg	idem	\$ 165 × 10 ⁶
Hygas	idem	\$ 170 × 10 ⁶
Idem	126 × 10 ³ Gcal/dag	\$ 305 × 10 ⁶
CO ₂ -acceptor	63 × 10 ³ Gcal/dag	\$ 180 × 10 ⁶

Opmerking:

1. Coal News no. 4181 (28 september 1973) p. 2, geeft een investeringsniveau van \$ 350 à 400 mln aan.

Voor alle nieuwere processen ligt, uitgaande van een capaciteit rond 250 × 10⁶ scfd; (= 63 × 10³ Gcal/dg), het investeringsniveau tussen \$ 150 × 10⁶ en \$ 200 × 10⁶. De investering voor het Lurgi-proces is hoger: tenminste \$ 300 × 10⁶. Opgemerkt zij echter, dat dit laatste investeringsniveau is gebaseerd op de ervaringen in productiefabrieken, terwijl de ramingen voor de nieuwe processen zijn gebaseerd op extrapolaties van laboratoriumschaal of proeffabriekschaal en dus een grotere onzekerheidsmarge hebben.

Gezien de nog grote onzekerheid in de benodigde investeringen voor de bereiding van SNG uit steenkool kan een kostencalculatie voor dit gas thans nog slechts zeer globaal zijn. Voor een eerste, globale oriëntatie worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

a. De investering voor een installatie met een capaciteit van 250 × 10⁶ scfd (verbrandingswaarde 63 × 10³ Gcal/dag) bedraagt ca. \$ 190 × 10⁶ of ongeveer Nfl 550 × 10⁶.

b. Het thermisch procesrendement is ca. 70%. Per Gcal gas is dan ca. 200 kg steenkool nodig.

c. De inzetprijs van de steenkool is de variabele.

Het resultaat is vermeld in tabel II.

TABEL II
Kostprijs SNG bij diverse inzetprijzen voor kolen

Inzetprijs kolen (7000 kcal/kg)	Kostprijs per Gcal (bovenwaarde)	Kostprijs per m ³ gas (8400 kcal/m ³ o bovenwaarde)
Nfl 26/ton (af mijn prijs USA 1972)	Nfl 13	Nfl 0,11
Nfl 60/ton (c.i.f. prijs R'dam 1972)	Nfl 20	Nfl 0,17
Nfl 100/ton (c.i.f. prijs R'dam ult. 1973)	Nfl 28	Nfl 0,24
Nfl 150/ton	Nfl 38	Nfl 0,32

De verwerkingskosten in de vergassingsinstallatie belopen ca. Nfl 8/Gcal; hierin is een annuïteit van 15% op het geïnvesteerde kapitaal opgenomen als afschrijving, rente, verzekeringen etc., terwijl de jaarlijkse operationele kosten (onderhoud, bediening, overhead etc.) zijn ingezet tegen 15% van het geïnvesteerde kapitaal.

2. De invloed van de inzetprijs van de kolen op de prijs van SNG

Uit het voorgaande blijkt dat bij kolenvergassing de inzetprijs van de kolen van doorslaggevende betekenis is voor de kostprijs van het eindprodukt. In het navolgende wordt een beschouwing gegeven over de huidige en de te verwachten inzetprijzen voor kolen, achtereenvolgens voor de USA en (meer speciaal) voor West-Europa, en de daaruit voortvloeiende concurrentiepositie van SNG.

2.1. USA. — In de USA bedroeg de af mijnprijs voor kolen in 1972 gemiddeld ca \$ 8/ton (Nfl 26/ton) voor een calorische waarde van ca. 7000 kcal/kg. Bij de geraamde kosten van het vergassingsproces zou dit een kostprijs van SNG opleveren van Nfl 13/Gcal of Nfl 0,11 ct/m³ 8400 af vergassingsplant. Deze gasprijs komt overeen met een stookolieprijs van ca. Nfl 145/ton, hetgeen gezien het huidige prijspeil een redelijk niveau lijkt.

De kostprijs van steenkool af mijn USA zal ongetwijfeld stijgen, niet alleen door loonstijgingen, maar ook door de toenemende kosten van het milieu en de veiligheidsvoorzieningen (o.a. op grond van de Coal Mine Health and Safety Act van 1968). Anderzijds mogen, als gevolg van de gewijzigde energiesituatie, rationalisatie-maatregelen worden verwacht, hetgeen wellicht een omkering van de negatieve produktiviteitstrend van de afgelopen jaren tot gevolg zal hebben. Het lijkt daarom vooralsnog reëel om te veronderstellen dat op de duur een zekere stabilisatie zal optreden in de af mijn kostprijs USA, b.v. op een niveau van \$ 10 à \$ 12/ton. De kostprijs zou zelfs kunnen dalen, als men bijv. een zekere afbouwselectie toepast (zonder overigens daarbij roofofbouw te plegen c.q. voorraden prijs te geven).

Bij een inzetprijs van \$ 10 à \$ 12/ton kool zal de kostprijs

van SNG af vergassingsplant ca. Nfl 0,12 à Nfl 0,13/m³ (8400) gaan bedragen hetgeen overeenkomt met een stookolieprijs-equivalent van Nfl 155 à Nfl 170/ton. Resumerend kan worden gesteld, dat de kostprijs van SNG in de USA, uitgaande van een inzetprijs voor kolen welke gelijk is aan de af mijn kostprijs, zich van een recent niveau van ca Nfl 0,11/m³ (8400) naar een niveau van ca Nfl 0,13/m³ (8400) zal bewegen. Men realiseert zich evenwel, dat deze cijfers slechts een 'prijsbodem' van SNG indiceren. De werkelijke marktprijs van SNG kan uiteraard aanzienlijk hoger zijn, omdat de inzetprijs van de kolen mede afhankelijk is van de prijs van andere energiedragers. Bovendien dient in het geval dat SNG bij de kolenmijnen wordt geproduceerd, de prijs van SNG af plant uiteraard vermeerderd te worden met transportkosten en distributiemarges, wil deze prijs vergelijkbaar zijn met de verbruikersprijs van aardgas.

2.2. West-Europa. — In 1972 bedroeg de c.i.f. Rotterdam-prijs van geïmporteerde kolen (waaronder USA-kolen) rond Nfl 60/ton (Nfl 85/ton olie-eq.). Bij die inzetprijs zou SNG Nfl 20/Gcal of Nfl 0,17/m³ (8400) kosten, hetgeen calorisch equivalent is met een stookolieprijs van ca. Nfl 220/ton. Na de recente prijsverhoging (per 1.3.1974) bedraagt de maximumprijs voor stookolie van 1% S reeds ca. Nfl 200/ton en het is alleszins denkbaar dat deze in de loop van 1974 verhoogd wordt tot ca. Nfl 220/ton. Intussen zijn echter (mede als gevolg van vrachtenstijgingen) ook de prijzen van invoerkolen aangetrokken tot Nfl 100 à Nfl 120/ton (Nfl 140 à Nfl 170/ton olie-eq.). Bij deze laatste inzetprijzen voor kool zou SNG Nfl 28 à Nfl 32 per Gcal of Nfl 0,24 à Nfl 0,27/m³ (8400) kosten, hetgeen overeenkomt met Nfl 315 à Nfl 350/ton stookolie.

Ervan uitgaande dat Amerikaanse kolen als "price leader" kunnen worden beschouwd voor de in Europa geïmporteerde kolen, kan de kostprijsontwikkeling van Europese importkolen worden benaderd.

De kostprijs van importkolen uit de USA is opgebouwd uit hoofdzakelijk drie elementen:

- de kostprijs van steenkool af mijn USA;
- de transportkosten te land USA;
- de kosten van het zeetransport.

Ad a. Af mijn kostprijs USA kolen

Deze werden reeds besproken onder het voorgaande punt.

Ad b. Transportkosten te land USA

De transportkosten te land in de USA hebben gedurende de laatste jaren een nogal sterke stijging ondergaan. Begin 1973 werd voor spoorvracht (kolenpendel) een prijs berekend van ca. \$ 0,5/ton/100 km. Bij een afstand van kolenmijn tot oostkust van ca. 500 à 1500 km is de spoorvracht in dat geval \$ 2.5 à \$ 7.5/ton. De gemiddelde transportkosten per spoor van kolen welke via de oostkust worden geëxporteerd naar Europa bedragen momenteel waarschijnlijk ca. \$ 5 per ton. De verwachting voor de toekomst is een verdere, geleidelijk verlopende stijging.

Ad c. Kosten zeetransport

De zeetransportkosten USA – W. Europa waren rond 1960 ca. \$ 4.25/ton en zijn geleidelijk gedaald tot \$ 2.50 à \$ 3.25 ton (dit zijn uiteraard kostprijzen, waarbij geen rekening is gehouden met de situatie op de vrachtenmarkt). De daling is een gevolg van overgang van schepen van 15 à 35.000 ton naar bulk carriers van 75.000 ton en groter. Een verdere daling van de vrachtkosten lijkt niet waarschijnlijk. De verdere schaalvergroting (boven 100.000 ton) wordt immers gecompenseerd door stijgende bouwkosten en bunkerkosten.

Als resultante van het voorgaande kan de toekomstige invoerprijs van USA-kolen in Nederland, althans indien zij worden berekend op kostprijsbasis, op ca. \$ 20 à \$ 25 per ton worden geraamd. Deze kostprijs komt overeen met Nfl 55 à 70 per ton kool ofwel Nfl 80 à 100/ton olie-equivalent.

Gezien de huidige situatie aan het energiefront moet in de eerstkomende jaren echter met aanzienlijke hogere prijzen worden gerekend, afhankelijk van de prijs welke voor OPEC-crude zal worden betaald, en tevens afhankelijk van de situatie op de vrachtenmarkt, welke naar verwachting in de toekomst ruimer zal worden. De feitelijke invoerprijs van USA-kolen in Nederland *op de korte termijn* zal zich aldus bewegen in een range, met als minimum de bovengenoemde kostprijs en als maximum de stookolieprijs, afgeleid uit het

prijsspeel van OPEC-crude.

Ook op langere termijn zal het plafond van de c.i.f. Rotterdam-prijs van Amerikaanse kolen mede worden bepaald door de prijs van stookolie op de West-Europese markt. Deze kan mogelijk in de eerstkomende jaren oplopen tot Nfl. 200 à Nfl 250/ton (Nfl 140 à Nfl 75 per ton ske); op langere termijn lijkt echter een stabilisatie op een niveau van Nfl 175 à 200/ton (Nfl 125 à 140/ton ske) mogelijk, dit mede onder invloed van de ontwikkeling van alternatieve energiebronnen w.o. oilshales en tarsands.

Resumerend kan worden gesteld, dat *op langere termijn* de prijs van Amerikaanse kolen in Rotterdam zich kan bewegen tussen een door de kostprijs bepaalde bodem van \$ 20 à \$ 25/ton (Nfl 55 à Nfl 70/ton), en een door de marktprijs van stookolie (Nfl 200/ton) bepaald plafond van ca Nfl 140/ton ske.

Op grond van de voorgaande beschouwingen is in tabel III de samenhang tussen veronderstelde kolenprijsontwikkeling voor importkolen en de daaruit resulterende SNG-prijs af plant weergegeven. Ter vergelijking is de uit de stookolieprijs afgeleide aardgasprijs (Nederland) aangegeven. Een juiste vergelijking houdt echter in dat de SNG-prijs af plant wordt vermeerderd met de transportkosten en distributiemarges, welke laatste afhankelijk zijn van de eindbestemming.

TABEL III
Prijs van synthetisch gas uit geïmporteerde steenkool in vergelijking tot de uit de stookolieprijs afgeleide aardgasprijs in Nederland, periode 1975-1985

periode	invoerprijs USA-kolen (c.i.f. R'dam)		stookolieprijs (Nederland)		aardgasprijs ⁽¹⁾ ct/m ³ (8400)	synthetisch gas o.b.v. importkolen (USA) (6) ct/m ³
	\$/ton	Nfl/ton	3,5% Nfl/ton	1%S Nfl/ton		
begin 1974	39	110	175	200	16,9 (4)	25,0
1975-1980						
minimum (2)	20	55				15,9
maximum (3)	50-63	140-175	200-250	225-275	20,6-25,2	30,0-35,8
1985						
minimum	25	70				18,4
maximum	45-50	125-140	175-200	200-225	18,3-20,6	27,5-30,0
			in Nfl/Gcal (5)			
begin 1974	15,7		17,5	20	22,4	33,1
1975-1980						
minimum	8					21,0
maximum	20-25		20-25	22,5-27,5	27,2-33,3	39,0-47,4
1985						
minimum	10					24,3
maximum	17,5-20		17,5-20	20,0-22,5	24,2-27,2	36,4-39,7

Opmerkingen:

- 20% premie t.o.v. calorisch equivalent van stookolie 1%S.
- Voor kolen: kostprijsbasis (kosten af-mijn + transportkosten).
- Kolenprijs calorisch paritair met hoogzwavelige stookolie.
- Huidig prijsniveau in nieuwe (na 1.1.1973 afgesloten) contracten.
- Op basis van onderwaarde, in tegenstelling tot tekst. Calorische onderwaarden voor stookolie 9900 kcal, voor aardgas 7560 kcal. NB:

De relatie tussen prijs van synthetisch gas en inzetwaarde kolen is volgens de tekst $(0,2 \times \text{kolenprijs (Nfl/ton)} + \text{Nfl } 8)/\text{Gcal}$ bovenwaarde en wordt dus $(0,22 \times \text{kolenprijs (Nfl/ton)} \% + \text{Nfl } 8.90) \text{ Gcal}$ onderwaarde.

- Kostprijs af fabriek. Bij vergelijking met de aardgasprijzen in de voorgaande kolom dient deze kostprijs nog te worden vermeerderd met transportkosten en distributiemarges.

Uit het overzicht blijkt, dat indien men de kolenprijs calorisch paritair stelt aan die van hoogzwavelige stookolie, het geproduceerde gas te allen tijde duurder is dan aardgas. Dit vloeit voort uit de gemaakte vooropstellingen:

a. prijs van synthetisch gas (in Nfl/Gcal) = $0,22 \times$ kolenprijs (in Nfl/ton) + Nfl 8,90.

b. prijs van aardgas (in Nfl/Gcal) = $\frac{1,20 \times 10^3}{9900} \times$ stookolieprijs 1%S (in Nfl/ton).

Gelijkstelling van a en b geeft de relatie weer tussen de in te zetten prijs van kolen en de prijs van laagzwavelige stookolie, indien de prijs van synthetisch gas gelijk is aan die van aardgas:

$0,22 \times$ kolenprijs (in Nfl/ton) + Nfl 8,90 = $0,121 \times$ stookolieprijs 1%S (in Nfl/ton)

dus
kolenprijs (in Nfl/ton) = $0,55$ stookolieprijs 1% S (in Nfl/ton) – Nfl 40.

Bij een stookolieprijsniveau van Nfl 200/ton mag de inzetprijs van kolen dus niet hoger zijn dan ($0,55 \times$ Nfl 200) – Nfl 40 = Nfl 70/ton, wil synthetisch gas kunnen concurreren met aardgas.

Voor de in Europa geproduceerde kolen zou momenteel een inzetprijs van minimaal Nfl 100/ton moeten worden gehanteerd. De kostprijs van SNG uit kolen zou op die basis ca. Nfl 28/Gcal ofwel Nfl $0,24/m^3$ 8400 bedragen, equivalent met een stookolieprijs van Nfl 315/ton, hetgeen hoog is. Bovendien zal in de loop van de komende jaren de af-mijn prijs van Europese kolen, gezien de hoge loonquote, zeer aanzienlijk toenemen. Bereiding van SNG op basis van in de Europa geproduceerde kolen lijkt vooralsnog geen commerciële propositie.

3. Kostprijsramingen voor de bereiding van vloeibare brandstoffen uit steenkool

Uit het overzicht van de investeringsramingen voor de vloeibare brandstoffen (tabel IV) blijkt dat, bij gelijke calorische output aan brandstoffen, de investeringen voor het Bergius en Fischer-Tropisch proces duidelijk hoger zijn dan die voor de bereiding van SNG.

Een vergelijking met de investeringsbedragen welke worden genoemd voor de moderne, in ontwikkeling zijnde processen in de USA is moeilijk, enerzijds omdat deze processen naast oliefracties ook SNG produceren en de specificatie van de vloeibare produkten niet altijd dezelfde is, anderzijds ook omdat de nieuwere processen nog nooit groot-technisch zijn gerealiseerd en dus bij realisatie aanmerkelijk duurder kunnen blijken te zijn als thans wordt aangenomen. In ieder geval blijkt ook hier, dat de produktie van oliefracties aanmerkelijk duurder is dan die van gasvormige brandstoffen.

TABEL IV
Investeringsramingen voor de bereiding van vloeibare brandstoffen uit steenkool

Procesvariant	Capaciteit 1)	Capaciteit in Gcal/dag	Investeringsniveau
COED	250×10^6 scfd + 30×10^3 BPSD olie	110×10^3	$\$ 440 \times 10^6$
Coal-Oil-Gas refinery	332×10^6 scfd SNG + 120×10^3 BPSD olie	265×10^3	$\$ 600 \times 10^6$
H-Coal refinery (1966)	110×10^3 BPSD olie	150×10^3	$\$ 350 \times 10^6$
Bergius Process	18×10^3 ton benzine/dag	200×10^3	DM $4,5 \times 10^9$
Fischer-Tropisch proces	18×10^3 ton benzine/dag	200×10^3	DM $4,4 \times 10^9$
idem	6×10^3 ton benzine/dag	65×10^3	DM $2,0 \times 10^9$

1) capaciteit in standaard cubic feet/day (gas) resp. barrel per stream day (olie).

Voor een eerste oriëntatie over de kostprijs van lichte oliefracties uit deze installaties wordt aangenomen dat per ton benzine 2,2 ton steenkool (7000 kcal/kg) benodigd is. Volgens de Duitse opgaven varieert de investering per ton eindprodukt per jaar tussen Nfl 750,- en Nfl 1000,-. De opgaven voor de USA-processen, na correctie voor de meestal daaraan verbonden SNG produktie, liggen daarentegen in een range van f 250,- tot f 600,- per ton eindprodukt per jaar. Voor een eerste oriëntatie is hier een investering van ca. f 750,- per ton eindprodukt per jaar aangehouden. Hieruit kan, op dezelfde wijze als onder II.1 voor SNG is aangegeven, worden afgeleid dat de conversiekosten Nfl 225/ton benzine bedragen. De kostprijs van de synthetische benzine, in afhankelijkheid van de inzetprijs van kolen, is in tabel V aangegeven.

TABEL V

Inzetprijs steenkool f/ton	Kostprijs benzine		Nfl/Gcal
	Nfl/ton	Nfl/liter	
15.-	258.-	0.18	25.-
60.-	357.-	0.26	34.-
80.-	401.-	0.29	38.-
100.-	445.-	0.32	42.-
150.-	555.-	0.40	53.-

Tengevolge van de hogere investeringen is het effect van de inzetprijs van de steenkool bij kolenliquefactie niet zo doorslaggevend als bij kolenvergassing. Dit geldt in het bijzonder voor de klassieke Duitse processen, zoals het Bergius- en het Fischer Tropsch-proces, welke relatief lichte oliefracties produceren. De positie van de USA-processen, die berusten op het kraken van subbitumineuze steenkool is geheel afwijkend: ongeveer de helft van de ingezette steenkool wordt verbruikt voor de bereiding van SNG terwijl het

vloeibare eindproduct vaak een relatief zware oliefractie is. Daar deze processen bovendien nog niet op produktieschaal zijn beproefd, kunnen de relatief lage investeringsramingen in de praktijk ernstig tegenvallen.

De berekende benzineprijzen zijn, gerekend naar de momentane Europese omstandigheden, relatief hoog (huidige opbrengstprijz benzine Nfl 0,27/ltr ex raff.).

Uit de thans beschikbare gegevens volgt, dat de conversie van steenkool tot SNG op calorische basis duidelijk goedkoper is dan die tot koolwaterstoffracties. Daarom zal in eerste instantie de voorkeur uitgaan naar de conversie van steenkool tot SNG als energiedrager, welke dan als substituut voor zware oliefracties en middeldestillaten in industrie en huishoudingen kan worden gehanteerd, zoals reeds werd vermeld onder I.3.

Een andere potentiële bron voor oliefracties is ongetwijfeld de bereiding van deze uit oilshales en tarsands; gezien de bovenvermelde kostprijsniveaus voor de bereiding van koolwaterstoffen uit steenkool lijkt dat een meer aantrekkelijk alternatief.

CONCLUSIES

Een aantal gegevens over de verwerking van steenkool tot gasvormige of vloeibare brandstoffen werden verzameld. De belangrijkste conclusie uit het beschikbare materiaal zijn:

1. De overgrote meerderheid van de voorgestelde processen voor de fabrieksmatige bereiding van gas uit steenkool verkeert nog duidelijk in het ontwikkelingsstadium. Het grootste deel der processen is geschikt voor alle kolensoorten. Bedrijfservaring op industriële schaal is alleen beschikbaar voor het Lurgi-druk-vergassingsproces; dit proces is alleen geschikt voor niet-bakkende of zwakbakkende kolensoorten. De verwachting is gerechtvaardigd dat op de middellange termijn (ca. 3 à 6 jaar) meerdere processen toepassing zullen vinden op industriële schaal.

2a. Investeringsniveau: Amerikaanse gegevens wijzen op een optimale plantgrootte van ca. 250×10^9 BTU/dag, d.i. 63.000 Gcal/dag, ofwel ca. 7 mln m^3 /dag (ca. 2,5 mrd m^3 /jr) in de vorm van een gas met een verbrandingswaarde van ca. 9500 kcal/ m^3 . De investeringen voor een dergelijke fabriek bedragen tenminste Nfl 500 mln en kunnen oplopen tot Nfl 1 mrd. Dit bedrag is inclusief milieumaatregelen, doch exclusief de bijbehorende kolenmijn met een capaciteit van ca. 14.000 ton/dag (gewassen) kool.

2b. De unitkosten van het geproduceerde gas worden bepaald door enerzijds de kosten van het vergassingsproces (deze conversiekosten worden geraamd op ca. Nfl 8/Gcal ofwel Nfl 0,07/ m^3 (8400); anderzijds de inzetprijs van de grondstof c.q. steenkool. Deze laatste is in feite van doorslaggevend betekenis.

2c. Voor Amerikaanse omstandigheden lijkt het uit steenkool bereide SNG in diverse toepassingen concurrerend te zijn met andere energievormen. De Verenigde Staten bezitten bijzonder grote kolenvoorraden. In 1972 was de gemiddelde

kostprijs af-mijn ca. \$ 8/ton (range \$ 2 tot \$ 18/ton). Voor een inzetprijs van \$ 8/ton kool (7000 kcal/kg) bedraagt de kostprijs van SNG af vergassingsplant ca. Nfl 13/Gcal of ca. Nfl 0,11/ m^3 (8400), hetgeen overeenkomt met een stookolieprijs van ca. Nfl 145/ton.

Om diverse redenen wordt verwacht, dat de kostprijs van steenkool af-mijn USA zal stijgen; anderzijds mag als gevolg van de gewijzigde energiesituatie worden gerekend op een aanzienlijke produktiviteitsverbetering. Het lijkt voornamelijk reëel te veronderstellen dat op de lange termijn een zekere stabilisatie zal optreden in de af mijn kostprijs USA, b.v. op \$ 10 à 12/ton, hetgeen een kostprijs van SNG af fabriek (bij de mijn) zou opleveren van ca. Nfl 0,12 à Nfl 0,13/ m^3 (8400); dit lijkt een commerciële propositie.

2d. Voor de in Europa geproduceerde kolen zou momenteel een inzetprijs van minimaal Nfl 100/ton moeten worden gehanteerd; de kostprijs van SNG uit kolen zou op die basis minstens Nfl 28/Gcal of Nfl 0,24/ m^3 (8400) bedragen; dit is equivalent met een stookolieprijs van Nfl 315/ton, hetgeen zeer hoog is. Bovendien zal de af mijn kolenprijs, o.a. gezien de hoge loonquote, nog aanzienlijk toenemen.

Het alternatief, importkolen, hoewel op dit moment ook economisch prohibitief (c.i.f. Rotterdamprijs ultimo 1973 ca. Nfl 100/ton) biedt op lange termijn waarschijnlijk mogelijkheden.

2e. Het is evident dat, indien de kolenprijs (inzetprijs) calorisch paritair wordt gesteld aan die van (hoogzwavelige) stookolie, het geproduceerde SNG te allen tijde duurder zal zijn dan aardgas. Dit betekent dat SNG slechts concurrerend kan zijn daar, waar de inzetprijs kan fluctueren tussen de door stookolie bepaalde marktprijs van kolen en de mijnbouwtechnisch realiseerbare kostprijs (minimumprijs) voor kolen; in de meeste gevallen zal SNG slechts concurrerend zijn als de inzetprijs van kolen in de buurt zal liggen van de 'technische' kostprijs.

3. De bereiding van vloeibare brandstoffen of combinaties van vluchtige en vloeibare brandstoffen uit steenkool vraagt, bij gelijke calorische output, veel hogere investeringsbedragen dan de vorenvermelde bereiding van SNG.

De technologie van Duitse processen (benzinebereiding) is beschikbaar. De conversiekosten zijn echter een factor 2 à 3 hoger dan bij de vervaardiging van gasvormige brandstoffen (nl. ca. Nfl 21/Gcal, tegenover Nfl 8/Gcal voor SNG), zodat in de grote meerderheid van de gevallen het gebruik van SNG als energiedrager de voorkeur zal hebben.

Uit strategische overwegingen kan de bereiding van oliefracties uit steenkool mogelijk interessant zijn (Sasol, Z.d. Afrika). Voor Europese omstandigheden moet dan gerekend worden met benzineprijzen af fabriek, exclusief belastingen en accijnzen, van Nfl 0,32 tot Nfl 0,40 per liter, afhankelijk van de inzetprijs van de steenkool (in dit geval Nfl 100-150/ton, 7000 kcal/kg). De huidige kostprijs van benzine af raffinaderij is aanzienlijk lager.

4. De procédés waarbij steenkool voor het gebruik als energiedrager wordt vergast, bieden een goede oplossing voor de aan steenkool verbonden bezwaren (hanteren van vaste

stoffen, asprobleem, SO₂ probleem). Indien steenkool wordt omgezet in vloeibare brandstoffen is het verwijderen van zwavel en stikstof in het algemeen minder volledig, zodat een verdere nazuivering in een aantal gevallen noodzakelijk kan zijn.

5. Het lijkt, mede gezien het voorgaande, vooralsnog de aangewezen weg om daar, waar dat op concurrerende wijze kan geschieden, kolen te vergassen.

Het SNG kan dienen als aanvulling voor aardgas en als substituut voor zware oliefractie en middeldestillaten in industrie en huishoudingen. Daardoor en ook door de directe toepassing van kolen en kernenergie als substituut voor stookolie in elektrische centrales, zullen belangrijke hoeveelheden zware oliefracties vrijkomen, welke op hun beurt tegen relatief lage conversiekosten kunnen worden omgezet in lichte fracties via kraakinstallaties.

Voor de voorziening in de behoefte aan lichte oliefracties kan bovendien worden uitgegaan van oil-shales en tarsands, die bij bovengenoemde prijsniveaus concurrerend kunnen worden geëxploiteerd. De keuze is echter mede afhankelijk van reservepositie en marktbehoefte per energiedrager en per gebied.

6. Naast steenkool kan uiteraard ook bruinkool door toepassing van identieke technische procédés worden geconverteerd tot vluchtige en vloeibare energiedragers (West Duitsland). Mede op grond van de hoge transportkosten van het ruwe produkt kan daaraan op dit moment slechts lokale betekenis worden toegekend. Dit artikel beperkt zich tot de toepassing van steenkool.

BIBLIOGRAFIE

- Agosta J., J. Illian, R. Lindberg en O. Tranby (1973) – Low Btu Gas for Power Station Emission Control. *Chemical Engineering Progress* 69, nr. 3, p. 65-66.
- Anonym (1972) – Synthetic gas: increased emphasis on cost. *Chemical and Engineering News* 50, dec. 11, p. 14-15.
- Benson H. en C. Tsaros (1965) – Gas from Coal and Shale: How close? *Hydrocarbon Processing* 44, nr. 9, p. 191-198.
- Bresler S. en J. Ireland (1972) – Substitute Natural Gas: Processes, Equipment, Costs. *Chemical Engineering* 79, oktober 16, p. 94-108.
- Carlton F., L. Yardumian en M. Atwood (1973) – The Toscoal Process for Low Temperature Coal Pyrolysis. *Chemical Engineering Progress* 69, nr. 3, p. 50.
- Cover A., W. Schreiner en G. Skoperdas (1973) – Kellogg's Coals Gasification Process. *Chemical Engineering Progress* 69, nr. 3, p. 31-36.
- Fineran J. (1972) – SNG: where will it come from and how much will it cost? *The Oil and Gas Journal* 70, juli 17, p. 83-88.
- Fraas A. (1973) – A fluidized Bed Combustion System. *Chemical Engineering Progress* 69, nr. 3, p. 58-59.
- Frank M. en B. Schmid (1973) – Design of a Coal – Oil – Gas Refinery. *Chemical Engineering Progress* 69, nr. 3, p. 62-64.
- Glueck A. (1973) – Molten Salt Processes for Sulfur Emission Control. *Chemical Engineering Progress* 69, nr. 3, p. 56-57.
- Hansen F. (1973) – Langfristige Versorgung der chemischen Industrie mit Rohstoffen aus Erdöl. *Chemische Industrie* 25, nr. 7, p. 444-448.
- Hegarty W. en B. Moody (1973) – Evaluating the Bi-Gas SNG Process. *Chemical Engineering Progress* 69, nr. 3, p. 37-42.
- Hellwig K., E. Johanson, C. Johnson, S. Schuurman en H. Stotler (1966) – Make Liquid Fuels From Coal. *Hydrocarbon Processing* 45, nr. 5, p. 165-169.
- Jäckh. W. (1970) – Probleme der Hydrierung von Kohle. *Erdöl und Kohle* 23, nr. 6, p. 334-337.
- Johnson C., M. Chervenak, E. Johanson en R. Wolk (1973) – Scale-Up Factors in the H-Coal Process. *Chemical Engineering Progress* 69, nr. 3, p. 52-54.
- Karnavas J., P. La Rosa en E. Pelczarski (1973) – Two Stage Coal Combustion Process. *Chemical Engineering Progress* 69, nr. 3, p. 54-55.
- Mills G. (1969) – Conversion of Coal to Gasoline. *Industrial and Engineering Chemistry* 61, nr. 7, p. 6-17.
- Peters W. (1969) – Neu Technologiën. *Glückauf* 105, nr. 25, p. 1283-1296.
- Qader S., R. Haddadin, L. Anderson en G. Hill (1969) – Coal Can Also Yield Liquid Fuels. *Hydrocarbon Processing* 48, nr. 9, p. 147-152.
- Rudolph P. (1963) – Gas from Coal. *Chemical Economy and Engineering Review* 5, nr. 10, p. 8-17.
- Shearer H. (1973) – The Coed Process Plus Char Gasification. *Chemical Engineering Progress* 69, nr. 3, p. 43-49.
- Sieg L. (1972) – Herstellung flüssiger Kraftstoffe aus Kohle. *Erdöl und Kohle* 25, nr. 7, p. 410-413.
- Spencer F. A. Orning en D. Brenstock (1973) – Equilibrium Problems in High Temperature Combustion. *Chemical Engineering Progress* 69, nr. 3, p. 60-61.
- White P., J. Jones en R. Eddinger (1968) – To Threat and Crack Oil from Coal. *Hydrocarbon Processing* 47, nr. 12, p. 97-101.
- Yavorsky P., S. Akhtar en S. Freidman (1973) – Converting Coal into Non-Polluting Fuel Oil. *Chemical Engineering Progress* 69, nr. 3, p. 51-52.
- Proceedings 9th intern. gas conference, The Hague, 1964
- Proceedings Gordon Research Conference on Coal Science, 1973 New Hampton, USA.