

## DE PROBLEMATIEK VAN DE ONDERGRONDSE VERGASSING VAN STEENKOLEN

J. STUFFKEN en F.J. WETZELS

### SUMMARY

Underground gasification on an industrial basis seems not applicable to European coalreserves. This conclusion is based on considerations of a technical, environmental and – especially – commercial nature. The main technical problems for European conditions are described: combustion process control, roof control, joining boreholes, control and elimination of leakage (incl. short circuit and leakage of combustion gas to the banking level), water influx into the gasification area, geological features, etc. Past experiments are very disappointing and indicate that no solution whatsoever was found for the numerous and complex technical problems.

From an environmental point of view, a number of drawbacks are presented.

In commercial respect underground gasification of European coal is not competitive at all because the calorific cost price of the gas produced is quite at variance with current and future prices for energy. This price discrepancy is of such a magnitude that there is serious doubt about the commercial viability of this energy source even on the very long range.

Finally, no serious argument can be put forward from a strategic point of view, because of the minute share in European energy supply even in case of a large scale underground gasification program.

bouw, waarmede alle kool gelegen boven een zeker, tegenwoordig vrij diep niveau, kan worden gewonnen. Deze tak van de mijnbouwtechniek is ver ontwikkeld; zelfs met een zeer ongunstige verhouding tussen de dikte van de afdekking (dekkerrein) en de dikte van de te winnen kolenlaag of kolenlagen is de kostprijs relatief laag t.o.v. ondergrondse mijnbouw. Men lette bv. op het verschil in kostprijs tussen USA kolen gewonnen met dagbouw (open pit mining, stripping) en Europese kolen afkomstig uit ondergrondse mijnbouw (resp. \$ 3 à 10/ton en Nfl 80 à 150/ton).

Gezien het feit dat kolenvergassing een aantal specifieke, nader te bespreken nadelen bezit kan tevens worden gesteld dat deze techniek meestal niet concurrerend zal zijn op die plaatsen, waar ondergrondse winning kan worden toegepast.

De conclusie is, dat kolenvergassing met behulp van voorgaande methoden derhalve in het bijzonder gericht zal moeten zijn op diepe koolvoorkomens die noch met dagbouw, noch met traditionele diepbouw winbaar zijn.

### I. TECHNISCHE ASPECTEN VAN HET ONDERGRONDSE VERGASSINGSPROCES

#### 1. Methoden

In principe zijn 2 methoden (of combinaties hiervan) toepasbaar:

- a. Uitsluitend met behulp van boorgaten.
- b. Onder het uitvoeren van mijnbouwkundige werken.

De methode onder b. biedt in principe weinig of geheel geen voordelen t.o.v. de normale ondergrondse koolwinning. Immers, eenmaal de galerijen aangezet, kan men de kolen voor nagenoeg 100% winnen met traditionele middelen (zie ook onder III). Het temperatuurprobleem, dat vooral bij de winning van diep gelegen kolenlagen een bottleneck vormt, is ook hier een beperkende factor.

De methode onder a. heeft, naast een aantal specifieke nader te bespreken nadelen, als naast concurrent de dag-

#### 2. Historie

De technologie van de ondergrondse vergassing (beide genoemde methoden en combinaties daarvan) is beproefd in de jaren 1945 – 1960 (zie bibliografie, nr. 1). Uit deze experimenten kunnen de volgende, nagenoeg alle negatieve conclusies worden getrokken:

- a. Het is niet zeker dat een enigszins aanvaardbaar rendement bij het winnen van de aanwezige calorische voorraad kan worden verkregen. Globaal genomen kan worden gesteld, dat bij de proeven tot dusverre, de "calorische kolenvoorraad" voor ca. 1/3 deel achterblijft als cokes (verlies) en voor ca. 1/3 deel verloren gaat middels warmteverlies in het nevengeesteente, zodat met niet meer dan 1/3 deel als calorische opbrengst kan worden gerekend. Het overall rendement op basis van bestaande technieken is, na aftrek van alle verliezen, maximaal 10%.

- b. De toestroming van grondwater in het verbrandingsgebied enerzijds en van diverse vormen van lek van gasvormige producten anderzijds is niet of uiterst moeilijk te beheersen.

- c. De calorische waarde van het gewonnen gas is tot op heden uiterst laag gebleven ( $< 2500 \text{ kcal/m}_3$ , gemiddeld  $\approx$

1000 kcal/m<sub>3</sub>). Het is voorts niet zeker, dat met een van de beproefde of voor de hand liggende methoden een gas van een enigszins constante samenstelling kan worden verkregen. d. Het is bijzonder twijfelachtig of met een verbrandingslocatie een opbrengst kan worden verkregen, die althans enigszins vergelijkbaar is met aardgasputten.

### 3. Voorwaarden voor een acceptabele procesvoering

Een technisch goed ontwikkelde ondergrondse vergassing van steenkool zal aan de volgende voorwaarden moeten voldoen:

- a. De ondergrondse vergassing moet zich lenen voor uitvoering op grote schaal.
- b. Het proces moet volledig controleerbaar en beheersbaar zijn (verbrandingsfront etc.) Er mag geen kool onverbrand of gedeeltelijk verbrand verloren gaan.
- c. Uitwendige factoren (zoals het ontijdig breken van het dakgesteente, of de toevloed van grondwater) moeten kunnen worden beheerst. Het optreden van geologische storingen mag geen onoverkomelijke belemmering zijn.
- d. De gaskwaliteit moet binnen redelijke grenzen constant en voorspelbaar zijn.
- e. De zakking van de bovengrond moet voorspelbaar zijn en eventueel kunnen worden beheerst.
- f. Ondergrondse arbeid moet onnodig zijn, met name vanwege de potentiële gevaren die het optreden van ongewenste gassen (CO, CH<sub>4</sub>, etc.) met zich meebrengt (lek!).
- g. Een bijzonder, van gebied tot gebied wisselend aspect vormt de dichtheid van het kolenvoorkomen (aantal lagen, dikte van de lagen, kolendichtheid t.o.v. het nevangesteente), en waarmede direct samenhangen het boorgat-aantal en het boorgatenpatroon dat moet worden toegepast. Het gelijktijdige of opeenvolgend gebruik van dezelfde boorgaten voor diverse kolenlagen lijkt, gezien de niet-lineair verlopende zakking van het boven het verbrandingsgebied liggende gesteente (eerst trek en daarna stuik van de verbuizing van de boorgaten) zeer dubieus, omdat de boorgaten in dat geval niet in goede conditie kunnen worden gehouden tengevolge waarvan lek van water en procesgassen kan optreden. (Vergelijk de problemen van trek en stuik bij het wegnemen van kool in schachtveiligheidspijlers!).

### 4. Bespreking van enige problemen

4.1. *Beheersing van de verbranding.*— a. De verbranding wordt in hoge mate beheerst door het gedrag van het nevangesteente. Naarmate de kool verbrandt wordt de open ruimte groter, hetgeen de lek van gascomponenten vergroot. Breekt het gesteente, dan kan deze lek kleiner worden, maar tevens kan daardoor de totale weerstand voor de gassen weer te groot worden. Dit resulteert in een sterk variërend debiet c.q. calorische waarde van het gewonnen gas. Dit verschijnsel is waargenomen bij alle proeven die tot dusverre zijn uitgevoerd.

b. Het asgehalte van de kool mag niet te hoog zijn, daar de as het verbrandingsfront zal bedekken en ontoegankelijk maken. Vooral de aanwezigheid van steenmiddels kan een negatieve uitwerking hebben.

c. De ondergrondse procestemperatuur moet beneden het smeltpunt van de as blijven: deze zou de te verbranden kool als een film bedekken en daardoor slecht toegankelijk maken voor de toegevoerde gascomponent.

d. De verbrandingstemperatuur moet beneden de zweltemperatuur van het nevangesteente blijven, de gasdoorgang kan door zwelling van het nevangesteente (leisteent!) sterk worden belemmerd.

e. Het reactief oppervlak moet zo groot mogelijk zijn. Met enkele boorgaten en een beperkt aantal verbindingen hiertussen is dit oppervlak, zelfs in vergelijking met een betrekkelijk klein fluid-bed van gemalen kool in een industriële vergasingsinstallatie, klein.

f. Het is tot op heden niet mogelijk gebleken gas van een redelijke calorische waarde te produceren; de calorische waarde van het gas is gering (watergas- of luchtgasreactie met veel lek). Bij de huidige stand van de techniek lijkt directe toepassing van het produktgas alleen mogelijk in een elektrische centrale met gasturbine (incl. zuivering op zwavelverbindingen). Omzetting van het gas in "pipeline-quality" (voor zover wenselijk, hoog N<sub>2</sub>-gehalte!) vergt additionele, zéér hoge kosten, tenzij hoogcalorisch aardgas ter beschikking staat waarmee kan worden gemengd.

4.2. *Beheersing van het dakgesteente.*— a. Vooral op grote diepte is dit een zeer moeilijk beheersbaar probleem, goed bekend uit de kolenmijnbouw.

b. Theoretisch is het vullen van de gevormde holruimten met vreemd materiaal mogelijk. Praktisch lijkt dit bij een enigszins grote boorgatafstand echter onmogelijk. Het effect op de gasdoorgang is onvoorspelbaar.

4.3. *Het verbinden van de boorgaten.*— a. Hiervoor zijn methoden bekend, o.a. uit de oliewinning (hydraulische fracturing). Of bij een grote boorgatafstand de gasdoorlaat voldoende zal zijn lijkt twijfelachtig. Tot dusverre zijn geen grotere boorafstanden dan ca. 20 meter gerealiseerd.

b. Andere technieken zijn (overigens zonder veel succes) toegepast, zoals "electrolinking", of met door de laag gerichte boorgaten; zij zijn voor grotere boorafstanden nog niet beproefd. De boorgatverbinding moet in ieder geval zodanig groot gedimensioneerd zijn, dat een gasdoorlaat van betekenis permanent wordt gewaarborgd.

c. Een rol speelt het zwellend vermogen van sommige kolensoorten waardoor een eenmaal gemaakte doorgang weer geheel of grotendeels kan worden dichtgedrukt.

4.4. *Beheersing van de lek.*— a. Lek langs de verbrandingszone werd reeds besproken onder "beheersing van de verbranding".

b. Lek in de vorm van bypass door het spleten-systeem in het nevengeesteente van verbrande lagen of laaggedeelten is zeer wel denkbaar. (Voor Europese omstandigheden kan tenminste gerekend worden op spleetlekken tot 100 m boven en 50 m onder de betreffende laag).

c. Bij diep gelegen kolenlagen is lek naar de oppervlakte veelal verwaarloosbaar; deze is niet verwaarloosbaar bij verbranding op geringere dieptes. In gebieden met tektonische breuksystemen is eveneens lek denkbaar. Gezien de samenstelling van het produktgas is lek naar het maaiveld ontoelaatbaar. De geologische opbouw van de "overburden" (lithologie, stratigrafie, tektoniek) zal zodanig moeten zijn dat iedere vorm van lek is uitgesloten.

4.5. *Beheersing watertoevoer.*— a. Het optreden van watervoerende lagen of breuken kan doorslaggevend zijn voor de verbrandingsmogelijkheden. Een dicht boorgatenpatroon zal de watertoevoer zeer nadelig beïnvloeden.

b. In navolging van de kolenmijnbouw zal drooghouding van het gebied noodzakelijk zijn.

c. Vooral bij sterk hellende kolenlagen kan de beschermende laag tussen watervoerend dekterrein en de te verbranden kolenlaag gemakkelijk worden aangetast, hetgeen kan leiden tot een doorbraak van bv. drijfzand.

d. Uit de ondergrondse vergassingsproeven is inderdaad gebleken dat de aanwezigheid van water aanzienlijke moeilijkheden kan opleveren en het verbandingsproces kan doen doven.

4.6. *Geologische omstandigheden.*— a. Deze zijn voor een groot deel reeds in het voorgaande tot uiting gekomen, zoals:

- dichtheid kolenpakket (aantal en dikte van de lagen)
- diepteligging van het kolenpakket
- helling van de kolenlagen
- geologische opbouw van het gebied.

Alle tot dusverre uitgevoerde proefnemingen zijn op geringe diepte uitgevoerd (bibliografie, nr. 1), waar eigenlijk ook dagbouw zou kunnen worden toegepast. Proefnemingen op grote diepte, waarbij bv. in Nederland gedacht moet worden aan dieptes vanaf 700 m onder het maaiveld, zijn nimmer uitgevoerd.

b. Het vóórkomen van breuken (groot en klein) zal sterk bepalend zijn voor de mogelijkheid een areaal effectief te verbranden. Evenzeer als deze kleine storingsen bij de ondergrondse winning van kolen vaak het veld versnijden en een winningsgrens bepalen, zal dit bij verbranding ook het geval zijn. Echter met dit verschil: deze kleine breuken zijn nog moeilijker aanwijsbaar c.q. voorspelbaar. Ook moderne geofysische methoden bieden hiervoor nog geen oplossing.

c. Voor ondergrondse vergassing lijken vooral gebieden in aanmerking te komen, waar dagbouw en de traditionele diepbouw tot de onmogelijkheden behoren (dit laatste dan vooral vanwege de diepte). Op de plaatsen waar kolenlagen in Nederland hiervoor in aanmerking komen, lijken oppervlakte-

zakkingen van 5 tot 15 m waarmede rekening moet worden gehouden, waterstaatkundig ontoelaatbaar.

4.7. *Nieuwe methoden.*— De tot nu toe beproefde vergassingsmethoden (zowel fabrieksmatig als ondergronds) berusten op het watergas- of luchtgasprocédé. In tegenstelling tot deze methoden, die voorafgingen aan de snelle opkomst van het aardgas in Europa, zijn nieuwe methoden er op gericht gas van een hogere calorische waarde te bereiden (pipeline quality). Meer in het bijzonder wordt thans gedacht aan het gebruik maken van de hydrogenering van kool met waterstof. Deze reactie is exotherm en wordt onder druk uitgevoerd bij een temperatuur van ca. 800°C. Ook voor ondergrondse vergassing zal deze reactie toepasbaar zijn, mits het werken onder druk mogelijk is, hetgeen speciale eisen stelt o.a. aan de geologische omstandigheden (zie hiervoor de reeds gemaakte opmerkingen over lek).

Noodzakelijk voor de uitvoering van dit proces is echter waterstof te produceren. Dit kan onder meer worden gevormd door een deel van het verkregen methaan met water om te zetten. Voor de totale reactie is veel warmte nodig. Deze kan bv. ontleend worden aan

- a) de hydrogeneringsreactie zelf, waardoor een totale autotherme reactie ontstaat, of
- b) uit een externe energiebron bv. warmte van een kernreactor.

Bij de gemodificeerde werkwijze, die nimmer in het groot is geprobeerd, blijven echter alle reeds genoemde bezwaren onverminderd bestaan en wordt een onzekere factor, nl. het uitvoeren van de reactie zelf in de ondergrond, geïntroduceerd. (Lek zou ook ernstige financiële consequenties hebben.)

## 5. De kolensoorten

Hoewel in principe alle kolensoorten voor vergassing in aanmerking komen, verdienen kolen met een relatief hoge waterstof/koolstof verhouding de voorkeur\*. De C/H verhouding voor turf is  $\geq 200$ , voor bruinkool ca. 35, voor vlamkool, gaskool, vetkool, esskool en magerkool 20 à 25 en voor anthraciet ca. 50, zodat in dit opzicht de reeks vlamkool t/m magerkool de voorkeur verdient, terwijl bruinkool en anthraciet ook tot de mogelijkheden behoren.

Een ander punt is dat vetkoolsoorten bij verhitting zwellende resp. bakkende eigenschappen bezitten, waardoor bij ondergrondse vergassing van dit type kool de gasdoorgang sterk kan worden belemmerd c.q. volledig wordt verbroken, hetgeen bij proefnemingen inderdaad is gebleken.

\* Er is een overschot aan H<sub>2</sub> nodig voor de hydrogenisering (zie punt 4.7.). Het H<sub>2</sub>-gehalte van de kool dient te worden gecorrigeerd voor de in de kool aanwezige zuurstof. Gunstig is dus een type kool met veel H<sub>2</sub>, weinig O<sub>2</sub>.

Resultierend komt voor ondergrondse vergassing, afgezien van bruinkool, bij voorkeur in aanmerking vlamkool resp. gasvlamkool en voorts esskool en magerkool.

M.b.t. de marktsituatie zij opgemerkt dat de voor vergassing meest geschikte kolensoorten de minst gevraagde zijn; de minder geschikte vetkool daarentegen is het meest gevraagd (cokesfabrikage, metallurgische doeleinden).

## II. ONDERGRONDSE KOLENVERGASSING EN MILIEU

Ten aanzien van dit facet zij het navolgende opgemerkt:  
a. Bij ondergrondse vergassingsproeven met behulp van boorgaten werd tot op heden een maximale "well spacing" (putafstand) gerealiseerd van 20 mtr.

Ook indien wordt aangenomen dat deze afstand in de toekomst zal worden vergroot, zal voor een effectieve ondergrondse vergassing een groot aantal boorgaten per oppervlakte eenheid, annex leidingstelsels nodig zijn, hetgeen uit milieuhygiënische overwegingen onmogelijk is of althans ernstige bezwaren zal oproepen (overlast van boorbedrijf; aantasting landschap).

b. Een ernstig probleem bij ondergrondse vergassing is de mogelijk grote en abrupte zakking van het plaatselijke maaiveld, een gevolg van de noodzaak tot geconcentreerde verbranding. De gevolgen (mijnschade, waterhuishouding) zijn voldoende bekend.

c. Bij proefnemingen is aantasting van het grondwater met bepaalde verbrandingsprodukten resp. destillatieprodukten geconstateerd. Op de risico's van mogelijke lekken werd reeds gewezen.

d. Het gewonnen gas bevat zwavelverbindingen welke afkomstig zijn uit de kool; een reinigingsinstallatie voor gasvormige zwavelverbindingen lijkt uit milieuoogpunt noodzakelijk. Ook voor bepaalde industriële toepassingen zal verwijdering van zwavel noodzakelijk zijn.

## III. ECONOMISCHE ASPECTEN VAN KOLENVERGASSING

Voor de gemiddelde Europese omstandigheden is ondergrondse vergassing op basis van de huidige bekende technieken een uitermate kostbare aangelegenheid en derhalve in het geheel niet concurrerend met andere energievormen, zelfs indien de prijsniveaus van deze vele malen hoger liggen dan thans het geval is. Dit blijkt uit de volgende, overigens globale voorbeelden.

a) Bij toepassing van de boorgatmethode (geen mijnbouwkundige werken, percolatiemethode m.b.v. "hydraulische fracturing" of "electro-linking") zal de hoeveelheid kool welke in een bepaalde laag *per boorgat* kan worden vergast afhankelijk zijn van de laagdikte en van de "well spacing" welke kan worden gerealiseerd. Bij een boorgatafstand van 20 mtr. zal, bij een laagdikte van 1 mtr., per twee boorgaten ca. 500 ton kool worden vergast. (Vergelijk dit met een voortschrijdend

pijlerfront van 20 mtr. lengte.) Indien de calorische waarde van kool in situ wordt aangenomen op ca. 7000kcal/kg (ofwel  $7 \times 10^{-3}$  Gcal/kg) en het overall procesrendement op ca. 10%, bedraagt de kolenconsumptie per geproduceerde Gcal. ca. 1400 kg kool. Dit betekent dat in het bovenstaande geval per twee boorgaten ca. 350 Gcal wordt geproduceerd, of per boorgat 175 Gcal.

De kosten van een boorgat c.q. productieput zijn afhankelijk van de diepte, putdiameter en putafwerking (in dit geval worden corrosieve gasmengsels van zeer hoge temperatuur geproduceerd). Geschat wordt, dat een productieput (9.5/8") van 500 m diep tenminste Nfl 0,6 mln. kost, voor 1000 mtr. diepte zeker Nfl 0,9 mln. Dit impliceert dat in het onderhavige geval de boorgatkosten per geproduceerde Gcal ruim Nfl 3400 (voor 500 mtr.) resp. Nfl 5100 (voor 1000 m) bedragen.

Omgerekend op "pipeline quality gas" (8400 kcal/m<sup>3</sup>) zou dit uitkomen op ruim Nfl 28/m<sup>3</sup> resp. ca. Nfl 42/m<sup>3</sup> hetgeen uiteraard in geen enkele verhouding staat tot de marktprijzen voor alternatieve energievormen. Daarbij zij aangetekend dat nog geen rekening is gehouden met de investeringen voor bovengrondse installaties (injectie, verzamelnets, milieumaatregelen etc.).

b) Uit het bovenstaande voorbeeld blijkt reeds, dat belangrijke kostenvariabelen o.m. zijn:

- dikte van de kolenlaag c.q. dichtheid kolenprofiel
- diepteligging van de kolenlaag
- putafstand (well spacing) en putdiameter
- procesrendement

Indien zou worden uitgegaan van "ideale" omstandigheden en zeer geavanceerde technieken, t.w. laagdikte 2 mtr., diepte 300 mtr., putafstand 50 mtr. (dat is het drievoudige van de tot nu toe bereikte afstand), putdiameter 7", procesrendement 10%, dan is de afschrijving voor boorgatkosten ca. Nfl 94/Gcal ofwel, uitgedrukt in pipeline quality, ca. Nfl 0,80/m<sup>3</sup> (8400). Inclusief investeringen voor bovengrondse installaties, verzamelnets en voorts operationele kosten zal dit gas tenminste Nfl 120,-/Gcal ofwel méér dan Nfl 1,-/m<sup>3</sup> (8400) gaan kosten.

c) Rest een opmerking over de grootte-orde van een dergelijke gaswinning. Voor Europese omstandigheden en begrippen zijn slechts zeer kleine gasproducties mogelijk: voor één m<sup>3</sup> aardgas van "Groningen" kwaliteit is ca. 12 kg kool benodigd d.w.z. voor een gasproductie van 1 mln. m<sup>3</sup> (8400) per dag is vergassing benodigd van 12000 ton kool; dit betekent dat bij een laagdikte van 1 meter per dag een vak moet worden bewerkt met een oppervlakte van ca. één hectare. Bij een booraafstand van slechts 20 m zoals tot dusverre in de praktijk is gerealiseerd, zijn daarvoor benodigd ca. 25 boorgaten per

\* Bij deze schatting is rekening gehouden met een "ondergronds" rendement van ca. 25% (tot aan putbodem). Van dit restant gaat een deel verloren via voelbare warmte, een deel is nodig voor compressie van de ingaande lucht en een deel gaat verloren bij de verdere verwerking van het gas.

dag, voor een boorafstand van 50 m (wat op dit moment nog utopisch lijkt) is dat ca. 8 boorgaten per dag.

Zelfs bij een grootscheepse opzet van dergelijke projecten binnen Europa zou het aandeel van ondergrondse kolenvergassing in de Europese energievoorziening dusdanig gering zijn, dat ook strategische overwegingen geen overwegend argument kunnen vormen om ondergrondse kolenvergassing te entameren.

## CONCLUSIES

1. Ondergrondse vergassing van steenkolen is technisch tot op zekere hoogte uitvoerbaar; de economie (d.w.z. de kostprijs van het produktgas) hangt in zeer sterke mate af van de plaatselijke omstandigheden. De tot dusverre uitgevoerde proeven waren ontmoedigend in die zin, dat voor de beheersing van de essentiële produktiefactoren geen bevredigende oplossingen zijn gevonden. Daarbij komt, dat de omstandigheden waaronder moet worden vergast, zowel lokaal als regionaal sterk variabel zijn, zodat geen algemeen geldende, eenvoudige oplossing kan worden aangegeven voor de bestaande technische moeilijkheden.

2. Vergassing van kool in situ onder Europese omstandigheden lijkt, zowel op grond van technische, milieutechnische als ook economische overwegingen, vooralsnog niet uitvoerbaar.

– Uit technisch oogpunt is het oncontroleerbare karakter van het ondergrondse proces (inherent aan de Europese condities!) een groot bezwaar. Dit betreft zowel de kolenvergassing zelf als de daaruit voortvloeiende gedragingen van nevengesteente, grondwater etc.

– Uit milieutechnisch oogpunt zijn grote bezwaren aan te voeren tegen de sterke aantasting van het landschap (grote aantallen boorgaten, abrupte zakking van het maaiveld, verontreiniging grondwater, etc.)

– De calorische kostprijs van het produktgas zou, uitgaande van de tot op heden toegepaste technieken, meer dan het

honderdvoudige bedragen van de huidige marktprijzen voor aardgas. Zelfs onder ideale omstandigheden en uitgaande van sterk geavanceerde, "experimentele" technieken is de kostprijs van het zo verkregen gas méér dan Nfl. 120,-/Gcal ofwel meer dan Nfl 1,00/m<sup>3</sup> (8400 kcal).

3. Zelfs bij een grootscheepse opzet van ondergrondse vergassingsprojecten binnen Europa zal het aandeel daarvan in de Europese energievoorziening ook op langere termijn dusdanig gering zijn dat daaraan geen strategische argumenten kunnen worden ontleend.

## BIBLIOGRAFIE

1. National Technical Information Service/US Dep. of Commerce. (1972) – Current Appraisal of Underground Coal Gasification. Arthur D. Little Inc. Cambridge, Massachusetts, USA, 17 april 1972.
2. Gibson, J. and J.S. Harris (1973) – Gasification of Coal in the United Kingdom. Meeting on 7th June 1973 in Brussels, EEG.
3. National Coal Association (1973) – Report on Coal Research in the U.S. Paper presented to Int. Coal Research Conf. Oct. 16-17, 1973, Wash.
4. Goergen, H. and K. Engin (1973) – Verfahren der Untertagevergasung. Glückauf Forschungshefte Okt. 1973, p. 199-202.
5. Wenzel, W., F.H. Franke und M. Meraiki (1972) – Neue Möglichkeiten der Untertagevergasung durch das Druckwechselsverfahren und durch den Einsatz von Wärme aus Kernreaktoren. Glückauf – Forschungshefte 33 Heft 4, p. 144.
6. Benson, A.E. and C.L. Tsaros (1965) – Gas from Coal and Shale: How Close? Hydrocarbon Processing, Vol. 44, no. 9, p. 192.
7. Crombrugge, I. de (1959) – La gazéification souterraine en USSR. Ann. des Mines de Belgique 1959, 478-534.
8. Masterman, C.A. (1957/1958) – Recent Developments on Underground Gasification. Transact. Inst. Min. Eng. 117, p. 742-757.
9. Bureau of Mines (1947) – Experiment in Underground Gasification of Coal, Gorgas Al. Report of Investigations, RI 4164, August 1947.
10. Krevelen, D.W. van en W. van Loon (1949) – Ondergrondse vergassing van steenkool. Chemisch Weekblad, Deel 45, no. 15.