



Ingenieurs- Geologische Kring
Netherlands Section of Engineering Geology
Secretaris: Drs. R. Haakmeester
Postbus 264, 6800 AG Arnhem (The Netherlands)
Postgiro 3342108 t.n.v. Penningmeester Ingeokring, Assen

I
N
G
E
O
K
R
I
N
G

N I E U W S B R I E F

april 1987



NIEUWSBRIEF INGEOKRING
april 1987

<u>Inhoud</u>	<u>blz.</u>
Maurenbrecher, M.Sc., P.M.: "Planning and engineering geology".	1 - 6
Oorthuys, Gerard: "Begin van het Personal Computer tijdperk voor de Aardwetenschappen".	7
Horvat, Ir. E.: "Underground storage of hydrocarbons in caverns and cavities".	8 - 16
Oele, E.: Ingenieursgeologische kaarten.	16
Verhoef, Drs.P.N.W.: "Stabiliteit van verlaten mijnen in de Limburgse kalksteen ('mergel'): een benadering vanuit de gesteente mechanica".	17- 26
Rock Mechanics Seminars .	27
Duyvesteijn, Prof.ir. W.P.C.: "Ore Processing" (by S.K . Jain).	27- 29.

Inleveren copij voor het volgende nummer (najaar 1987) vóór
15 oktober 1987.

Nieuwsbrief voor de Ingenieursgeologische Kring.

Redactie: Drs. Peter N.W.Verhoef, Sektie Ingenieursgeologie,
Afdeling der Mijnbouwkunde, T.U.-Delft, Mijnbouwstraat 120,
Postbus 5028, 2600 GA Delft. Tel.: 015 - 78 25 43.

NEWS

The most important item of news in this "Nieuwsbrief" is that the Council of the I.A.E.G., at its meeting in Buenos Aires in October 1986, has now formally approved the application of the Ingeokring to hold the 1990 I.A.E.G. Congress in Amsterdam. The form and themes of the Congress, which will take place at the RAI, Amsterdam from 6-11 August 1990 has also been approved. This congress will mark the 25th anniversary of the I.A.E.G. and the themes have been chosen on broad lines so that the papers presented will reflect the "State of the Art" of Engineering Geology after 25 years existence of the I.A.E.G.

Further details of the organisation and the scientific content of the congress will be given in the next edition of this "Nieuwsbrief".

David G. Price.

REPORT ON CONFERENCE

"PLANNING AND ENGINEERING GEOLOGY"

22nd Annual Conference
Geological Society Engineering Group

Held at Plymouth Polytechnic
8 - 12 September 1986

Reported by P.M. Maurenbrecher, TU Delft

ENGINEERING GROUP OF THE U. K. GEOLOGICAL SOCIETY

ANNUAL REGIONAL CONFERENCES

Each the year the Engineering Group of the Geological Society (London) organises a regional conference with a topical theme; the last being Planning and Engineering Geology with the accent on environmental problems. The conferences have been held in numerous different areas of England and Wales; this year it will be held in Nottingham, in which the theme will be Engineering Geology and Underground Movements. In 1986 the conference was held at Plymouth Polytechnic in Devon in an area of both historical and engineering geological interest.

The conference lasts five days of which four days are taken up with presentation of papers and talks from guest speakers. One day is devoted to field trips. Additionally a morning's session was devoted to 'workshops' in which participants can gain more insight in practice such as planning (for engineering geologists and vice versa engineering geology for planners) as well as site investigations methods for coping with contaminated ground.

Exhibitions

In three auditoria trade exhibitions, publishers exhibitions and poster-presentations were held. Coffee and tea breaks were held in these rooms which ensured that these exhibitions were well attended.

Social

No conference is devoid of its social side. Every evening was covered by a special dinner, the first evening at the Polytechnic, the second a boat trip up the Tazzer past the famous Brunel tubular arch/suspension railway bridge, the third at the city hall and the fourth evening a barbecue followed by a guided tour of local pubs.

Sunday outing: Arsenic Mines

For those arriving on the Sunday a field trip was organised by the local Devon geological society to sites of old mine workings, including scull and crossbone locations: the now defunct arsenic mines north of Plymouth near Tavistock. Arsenic was exploited for insecticide against the cotton boll-weevil pest at the end of the 19th century in the USA.

Business vacation

For those individuals like myself, the week in Plymouth is an excellent form of holiday the costs are tax-deductible because of its professional purpose; even then it was extremely cheap: £ 145 for a single room in one of the student halls of residence, as well as meals, field trip and conference. £ 25 was charged extra for preprints of papers (total 770 pages). Additionally it is a good opportunity to meet old acquaintances, make new ones and to exchange information about new developments in Engineering Geology; after five days one leaves with renewed vigour and enthusiasm for ones own profession.

PROGRAMME

Monday 8 September

Opening and welcome

Value of Geology in Planning

- 1 Opening
- Guest speakers:
- Mr. G F McDonic, President, Royal Town Planning Institute
- Dr. R F Legget, former President of the Geological Society of America

Land Evaluation

- 2 Opportunities
- 3 Data acquisition
- 4 Land evaluation & Site assessment

Tuesday 9 September

Field Visits

- a Water Resources
- b Rock Weathering
- c China Clay
- d Mineral Extraction
- e Environmental Geological Mapping
- f Geothermal Energy

Wednesday 10 September

Development & Engineering Works

- 5 Hazards and Risk: land evaluation
- 6 Resources
- 7 Infrastructure Development
- 8 Waste Disposal/ Pollution control

Thursday 11 September

Environmental protection & improvement

- 9 Workshops
- 10 Conservation/ Restoration Land
- 11 Environmental Impact/ strategy

Friday 12 September

Planning & Engineering Geology

- 12 Opportunities and Liabilities
- Guest speakers:
- Mr. A MacKenzie, Chief Planning Officer, Scottish Development Office
- Mr. H R Payne, Geotechnical Engineer, Welsh Office

13 Closing session: Legal aspects

- Guest speakers:
- Prof. J L Knill, Professor of Engineering Geology, Imperial College London
- Mr. Gerard Ryan QC, Temple, London

PRESENTATIONS: HIGHLIGHTS

VALUE OF GEOLOGY IN PLANNING (Session 1)

Mr. G F McDonic, President, Royal Town Planning Society, a Barrister at Law, County of Wiltshire quoted Lord Morton of Manchester "Planning follows Geology" and because planning is a democratic (thus political) process paradoxes arise. The paradox is that planning should follow geology and not political whims.

Dr. R F Legget, author of "Geology and Engineering", in his lively talk took us round the world from Mexico City to Sao Paulo to Bangkok to Anchorage to name a few places: the main planning problem was understanding ground-water both for water supply and for its effect on ground properties. Dr. Legget concluded that there are few town planners who can understand a simple geological section, let alone make sense of a geological map. There is still too great a communications gap.

After the introductory presentations each session was introduced by a guest speaker who would either a state of the art presentation or a critical review of submitted papers. This was followed by short presentations by authors of chosen papers (usually those considered to be more applicable to the conference theme.)

OPPORTUNITIES FOR DEVELOPMENT AND CONSTRAINTS ON DEVELOPMENT, (Session 2)

Mr. M R Hawkins, County Engineer and Planning Officer, Devon County Council, introduced the session. The main aspects he considered relevant to the session were:

- *Financial considerations : using probability approach to ensure cost effectiveness
- *Planning laws and the inevitable confusion and bewilderment at regulations: "Negative Control", with apparently scant reference to controlling of waste.
- *Improvement of communications: a plea?

With regard to opportunities: One conclusion that came forth from the presentations/ discussions is that Engineering Geologists are in short supply in planning departments to help with processing of planning applications.

DATA ACQUISITION (Session 3)

Dr. A.C. Meigh, well known internationally in soil mechanics, ex-Director of Soil Mechanics Ltd. and now with Woodward Clyde Consultants introduced the session. He dwelt on the following aspects:

- *Identification of hazards very relevant to costs: but how to evaluate?
- *Volcanics, large slopes, active faults, massive caverns versus the more "tractable hazards" such as collapsing soils or expansive clays.
- *He cited one paper which used oblique +photos(unstable cliffs) as an example the varied methods used in data acquisition.
- *Most papers concentrated on hazards registration: e.g. remote sensing for solution cavities.

Discussion centered on practical aspects such as effects of wooded areas obscuring features to subjectivity of reporting which can cause great variation.

MAPPING IN LAND EVALUATION AND SITE ASSESSMENT (Session 4)

The session started with a certain amount of bantering between old rivals Prof. W R Dearman of Newcastle (introduction speaker) and Prof. Fookes who chaired the session.

- *The popular term used now is "Thematic" mapping. Themes (presumably) that can be mapped are engineering geology, rock/soils, hydrology, geomorphology, foundation conditions.
- *Agricultural mapping useful for surface thematic maps(NL engineering geologists beware; seek more contacts in Wageningen) dealing with agricultural potential maps, waterlogging maps and trafficability maps (for tractors).
- *The Brit. Geol. Survey said they were seriously underfunded despite the essential role their maps have for planning.
- *A cautionary note dealt with the effect maps may have on house evaluation depending on where a particular boundary is drawn: legal battles could arise for compensation.
- *Landslip mapping in south Wales at # 600 per km² is considered good value when compared with the cost of damage these slopes can cause.

In conclusion the law in England states "the buyer beware": this appears to apply in planning too: The planner/ the developer beware', maps or no maps.

SITE-SEEING PLYMOUTH RUBBISH TIPS, CONCRETE CANCER AND BEST BITTER

The field trips provided an interesting selection. Rather than sit in a bus careering down country lanes I chose the "Environmental Geological Mapping and its role in planning" as it centred around Plymouth. The visit was led by J. McCord, (Joe), well known for downing pints of beer, *best bitter*, which inevitably was the case at lunch time at a pub specially selected by him.

A surprising amount of urban engineering geology was covered:

- *Unstable rock slopes, beach stabilisation, quarry effects on groundwater drawdown/ noise effects, leachate management from planned rubbish dumping, poisonous gas from infilled land affecting a school, and use of dredged alkali silica (flint) aggregate in bridge columns causing cracking (concrete cancer).
- *Joe McCord outlined the the problems with regard to mapping: Obtaining data, subjectivity old data, difficulty in finding data or relinquishing data. (The City Municipality could not find the data concerning the foundations of its own recently constructed building!)

HAZARDS AND RISKS IN LAND EVALUATION AND SITE ASSESSMENT (Session 5)

Session 5 was started off by Prof. P.G. Fookes with an entertaining array of slides about the sessions topic on hazards in which he also classed a ladies public conveniences as a hazard. (The "black spot" sign outside meant as warning for motorists may have something to do with it).

*Disasters account for \$25 000 million per annum of which 75% occur in developing countries and in which 95% involve the loss of human life.

*Based on a publication by Alford et al 1973 Fookes presented the following statistics for 1970:

Earthquakes	\$ 21 035 million (50%)
Mass movement	\$ 9 800 million (90%)
Flooding	\$ 6 500 million (52%)
Erosion	\$ 565 million (66%)
Expansive soils	\$ 150 million (99%)

The percentages in brackets are the reduction in damage caused by these hazards expected for the year 2000. (as a result of improved construction and better precautions)

Subsequent presentations included

*determining potential hazards of sinkholes in chalk, England,

* various hazards in Jamaica from karstic environments to earthquakes,

*old and existing mining in SW England and economics orientated paper where hazards are termed a *negative resource* and

*in Italy (Calabria) was sited as an instance where these negative resources have not been minimized because planners have failed to look at a landslide map produced by a Professor Carara.

DEVELOPMENT RESOURCE (Session 6)

Dr. R K Taylor introduced the session by citing a paper written by Prof. David Price in 1971 on urban engineering geology with respect to "conurbations", "coal measures" and "waste disposal land".

*Waste spoil produced by different mining activities such as tungsten (huge amount of spoil to obtain ore) whereas for coal spoil the spoil:ore ratio can be 2000 times less. *disturbances mining activities can cause are subsidence, vibrations, noise and visual intrusion.

*During the session open cast coal mining, UK, quarries, Hong Kong, dolomite quarries, UK, and tungsten mine, SW England were discussed.

*Mining can be subject to protracted public enquiries, conflict of interest with regard to commercial confidentiality, increased traffic load, and require *buffer zones*.

*Terms such as *Areas of sterilisation* were used in which ore deposits could not be extracted due to lack of planning permission.

In conclusion: Openness, good communications and being well informed on all aspects concerning mining (especially environmental) ensures that projects can be smoothly and profitably run.

INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT AND RE-DEVELOPMENT (session 7)

In Mr A Williams' (Mid-Glamorgan County Council) introduction terms such as

infrastructure, sterilisation mineral resources, damaged land, derelict land, despoiled land and contaminated land were bandied about with a smattering of statistics in which the amount of land in his area was affected after the following uses:

spoil heaps:	13 000 hectares
industrial:	12 000 hectares
pits and quarries:	9000 hectares
railways:	8000 hectares

Several papers presented looked at best ways of presenting information for planners;

**maps on tap*, classification of terrains in North Borneo for roads requirements vary on geological setting,

* an extended industrial development over a disused Bristol coalfield, zoning of the site and the planning of the development wrt to the zoning,

*the use of pedological maps for planning purposes in addition to its more traditional agricultural applications including suggestions for deriving geotechnical data, and

*finally a case history is given for a pipeline project in Ireland involving production of route maps from various data sources: air-photos, site investigations, superficial geological mapping.

WASTE DISPOSAL AND POLLUTION CONTROL (session 8)

Dr. N A Chapman, British Geological Survey, in his introduction referred to legislation:

Poisonous waste act of 1972, and, Pollution act of 1974

*Contamination of ground requires classification according to a *Toxicity Index*, a *Persistence factor*, a *Buildup correction factor* and an *availability factor*. He combines this to present a

**Geotoxicity Hazard Factor* which is the toxicity index less the product of persistence, buildup and availability.

*Besides these indices risk has been defined as the product of probability and consequence or exposure (to toxic chemicals) and a rise in serious health effect.

*With such factors and indices there is scope for further thematic maps. is it worthwhile however?... possibly in a few decades; for the time being he has left a shopping list:

- *Numerical Studies
- *Environmental impact assessment
- *Risk analysis
- *Insist on higher quality
- *Pre-licencing assessments standard.

Papers presented in the session were on: *landfill, Banbury, UK a balance between the economics of disposal and affected groundwater contamination from leachate: what price the rate payers? - Informed opposition; involvement in total project will ensure amicable solution.

*Suggestion made that for landfill there should be more legislation on aftercare/monitoring leachate in the same such legislation exists for dams.

*Low-level radioactive waste upwards 400 000 m3 capacity requires disposal space in nearsurface structures, ie clays, dry-zone, sea. Population density should be low, 5 persons hectare (?).

WORKSHOPS (Session 9)

First half session: PLANNING FOR ENGINEERING GEOLOGISTS

Mr Worth gave the lecture in which he first stated a planner had to have no specific qualifications but must be someone who is home in politics and capable of applying forethought for future state of landuse and town development. Examples through the ages where planning was applied are from Greek, to Roman, to more recent examples in Paris and London as well as from the purpose-built residential towns built by industrial concerns to house their employees (Port Sunlight- Unilever, or Bournville -Cadburys Chocolates).

Planning had its heydays during the 1940's and 50's when the planner's arrogance reached its ultimate height in "The technocrat knows best" with mushrooming high rise dwellings in which no-one wanted to live including the planner. The mid-60's saw a change to more public awareness and participation and now we are in an era of eking out the resources available with emphasis on re-habilitation of derelict land.

Legal basis 1909 House Planning act. followed by 1932 Town and Country Planning act of 1932, 1971 and subsequent ammendments 72, 77 and 85.

He covered various procedural aspects with regard to planning:

- *submission plan
- *control functions
- *appeals (against decisions).

Good effects of planning:

- *Green belts
- *Removal billboard advertising
- *Conservation
- *Restitution derelict land
- *Present: dealing with contaminated land.

Shortcomings in planning act: various acts (defence/security) have precedence.

Planning act does not consider structural competence.

He concluded, however, that the trend with planners is that they will increasingly know less about geology due mainly to education cut-backs.

The second half workshop session was on INVESTIGATION FOR CONTAMINATED LAND

The second workshop sessions allowed one to make a selection from several options. A seminar on Contaminated Land was chosen presented by D. Barry from W.S. Atkins and Partners.

Classification:

- sensitive areas
 - / Housing
 - A. Heavy metals - \ Recreation
 - \ Allotments
- non-sensitive areas
 - Buildings
 - Car parks, Roads
- B. Organic - all uses sensitive

Interest varies from country to country, particularly high in the Netherlands because of high land use and high groundwater tables.

Concerned parties

- Water authorities :
- Public utilities : Vested interest
- Highways : -> are
- Local Authorities : multi-disciplines
- Local residents :

Origin contamination

Most industries can be assumed to cause contamination, including also small scale businesses such as dental laboratories; (mercury).

Effects of contamination

- *Foundation services corroded such as phenols permeate and degrade plastic pipes.
- *Other contaminants can cause explosions, fires, toxic ingestion from inhaling dust (children not adverse to tasting soil - true).
- *Public health: few sites as yet required cleaning up because of public health reasons.

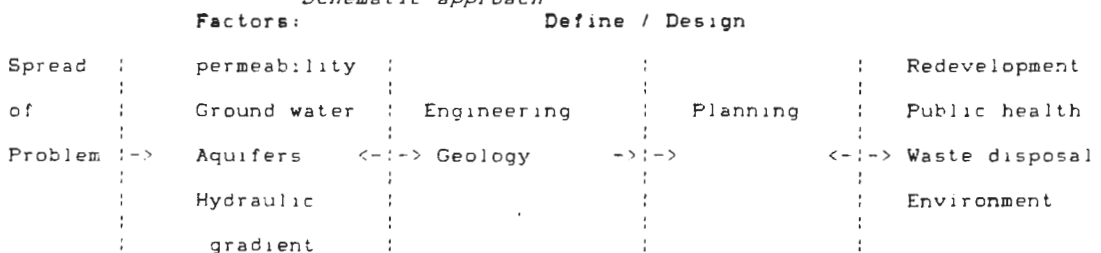
Detective work

Investigations should be tempered with pragmatism: comprehensive but not exhaustive. Phases in investigation are:

- *Desk study (obvious, but incredibly not often done)
- *History search directories, local authority rating, land use surveys and maps (these are 25 year "snap shots" of site/ used with directories), and above all,
- *serendipity chance of coming accidently across relevant information.

Investigation sequences are schematised below;

Schematic approach



**hypothesis* on site uses and areas of possible contamination: Define critical areas for testing.

**Investigation* techniques conventional: Trial pits and boreholes made to shallow depth where most contamination usually occur. Do not go into trial pits, but observe and smell. Sampling should have a representativeness factor.

**Analyses* ie for piling foundation the site may have a clay blanket preventing contaminants from seeping to underlying aquifers: bored piling can puncture such a layer.

**Incapacitate contaminants*: Dig out, biological degradation, ventilate gases.

Treatment techniques:

List of techniques	List of considerations:
--------------------	-------------------------

Containment	<i>application</i>
Covering	<i>effectiveness</i>
micro-encapsulation	<i>testing/monitoring</i>
removal	<i>durability</i>
protection	<i>off-site effects</i>
decontamination	<i>costs</i>

Precaution and alertness

Specify in addition safe working procedures which are also relevant to investigation stage.

Principal contaminant

Predominance (50% of all cases) of contamination CH4, methane which in early stages of production accompanied by CO2. Methane rises; ensure monitoring devices are properly located., whereas CO2 can issue far from source. CO2 production usually precedes CH4 Groundwater fluctuations can effect methane production as it is a function of moisture content.

CONSERVATION, RESTORATION AND PROTECTION OF LAND (Session 10)

Mr P E Wright, Chairman, Standing Local Authority Officers Panel on Land Reclamation, said by way of introduction that clients do not know what to ask or when to ask; in other words, he requires specialist advice.

Subjects covered in the session were:

- *coastal cliff stabilization in SE Cornwall,
- *land reclamation at Harwich,
- *reclamation aspects of the Liverpool Garden Festival site and
- *a case study of land restoration in Essex. The latter involved Agricultural Land Classification but its methods are considered subjective. Better to use Thomassen's classification from 1978 which considers soil structure based on air capacity and water capacity.

Ensuing discussion revolved on who is responsible for sideways migration of gas from reclaimed sites on waste; the owner, the planning authority or the inspectorate.

ENVIRONMENTAL IMPACT AND STRATEGIC PLANNING (session 11)

Mr R C Mabey, Directorate of Planning Services, Minerals Division, Dept. of the Environ. (DoE), London, suggested in his introduction a land bank of minerals should be kept especially on aggregates.

DoE policy:

- Provide finance for restoration land
- determine effects of environment on neighbourhoods
- ensure adequate supply minerals for needs of the country

so long as conditions are

- reasonable
- enforceable
- practical

district authorities policies were:

- *on the Lothian District (Edinburg) (in connection with mineral extraction),
- *on Hong Kong (in connection with slopes), and
- *Liverpool (in connection with waste disposal).
- *Wiltshire county council suggest that the planner in his application include an EEC directive which entails a process known as an *environmental impact assessment, EIA* be used; including an EIA in a planning application greatly assists the proposal. The EIA document in fact ensures that all potential obstructions to an application are sorted out beforehand; dialogue takes place with all concerned parties and thereby eases granting of planning permission.

The ensuing discussion still indicated that good news is always balanced by not so good news in which planning permission delays and mistakes featured prominently.

ENGINEERING GEOLOGY AND THE LEGAL ASPECTS OF PLANNING (Final Session)

The final session two guests speakers made presentations:

Prof. J L Knill on "*The Engineering Geologist as the expert witness*" especially in connection with tribunals (Adversarial Trial by Combat). Evidence is presented by parties concerned and information furnished to a hearing to enable it to make a decision.

One assists counsel (representing one of the parties) This demands of the expert witness the following:

- Strict independence
- Proper qualifications
- Dispassionateness
- Competence to act (an invitation as expert witness does not follow as recognition of competence) do not volunteer information.

He then gave examples of expert witnesses are called for:

- *Cow Green Reservoir where proposed reservoir would disrupt a unique botanical setting.
- *Kielder Tunnel where contractors had to restrict tunnel blasting to avoid causing potential leakage of nearby reservoir
- *Rudford Reservoir, Dartmoor initiated seismic activity on filling causing concern for reservoir safety.
- *conservation sites where water extraction is believed to cause slope instability
- *lead/zinc mine inquiry in Ireland concerning influence on groundwater

Mr. Gerrard Ryan, Queen's Counsel, on "Review of the legal aspects of land planning".

The Setting: Planning versus counsel

CONCEPT :<--examinations/testing/reports
 |
 v
 PROJECT
 |
 :<-powers of implementation<-BARRISTER
 | (counsel)
 v
 REALITY
 Lawyers purpose is to have an overall view and to achieve the requisite powers which in the legal world requires seeing *the wood for the trees*.

Lawyer Input

- promotion* plan at various levels i.e.
 - Secretary of State
 - Parliament
 - Licencing authority
- compliance* with policies
 - Parliamentary circulars
 - development policy notes
 - local authority plans
 - informal plans
- integrity*
 - assumptions made in plan
 - presentation
 - ambiguities
- flexibility*
 - consider alternatives, but',
 - too flexible->new plan->start anew
- statutory requirements (plan)*
 - understandable
 - capable of enforcement
 - clear
- debating technique*
 - watertightness-> confidence
 - gloss over less comfortable items: use vociferous public as undercover screen

preparation

Clear, concise, "Pernickety" opposition may pick on grammatical and spelling errors resulting in a "pernickety tribunal" and delaying plan.

rapport

Concern(ed) with all parties
informative
presentable

EIA: tread carefully! The EIA came to the fore: EEC directive Article 4 is a supplementary list to the EIA (Environmental Impact Assessment). This has made the EIA

- jointed
- narrative (verbose)
- stringlike quality of disjointed bits and pieces

Hence all the more cause to use a lawyer to show the way!

CONCLUDING REMARKS

This report, in the spirit of the EIA directive tends to be jointed, narrative and stringlike. I do not suggest you engage a lawyer to have its comprehension improved but instead, for far less cost, you can purchase a complete volume of the proceedings from:

The Geological Society
Burlington House
Piccadilly
London W1V 0JU

Specify hard or soft cover and if you are a fellow of the society. Costs for a non-fellow soft cover issue expected between £ 30 and £ 40; they are expected to be published this summer.



BEGIN VAN HET PERSONAL COMPUTER TIJDPERK VOOR DE AARDWETENSCHAPPEN

Reportage "Symposium: Het gebruik van de PC in de Aardwetenschappen", gehouden op 11 februari 1987 in de Aula van de Technische Universiteit Delft, geschreven door Gerard Oorthuys.

Het symposium werd gehouden in samenwerking met het KIVI, afdeling PCdI, het Dispuut Ingenieursgeologie van de TU Delft, de Mijnbouwkundige Vereniging van de TU Delft en de Ingeokring van het KNGMG.

Tijd rijp PC gebruik in de aardwetenschappen

Veel onbekendheid bestaat er over het toenemende gebruik van de PC in diverse applicaties in de aardwetenschappen. Zowel in het veld als voor de desk-study wordt de PC een onmisbaar instrument. De mogelijkheden, de voor- maar zeker ook de nadelen kunnen naar voren treden door een overzicht te geven van software op de markt en door een discussie los te maken over de problematiek waarmee PC-gebruikers geconfronteerd kunnen worden.

Vanuit TU oogpunt werd het symposium gezien als een gelegenheid om de studenten in staat te stellen hun kennis over computers uit te breiden en bovendien om in contact te komen met het bedrijfsleven.

"Multi-facet" aanpak symposium

Het symposium bestond uit sessies met voordrachten, tentoonstellingen (bezoekt tijdens koffie, lunch- *bites met bytes*, thee en borrel pauzes) en als momento een symposium boek met artikelen betreffende de voordrachten.

Vier volle sessies ieder vijf kwartier lang, met een totaal van 22 sprekers, werden gehouden. Het doel was tijdens de sessies om vier verschillende mogelijkheden van het gebruik van de personal computer in de aardwetenschappen te kunnen belichten:

De *eerste sessie* had tot doel de stand van zaken in verband met het opslaan van (ingenieurs-) geologische en geotechnische gegevens in het algemeen te geven.

In de *tweede sessie* kwam het gebruik van de PC voor grafische presentaties van gegevens zoals profielen, isopach kaarten en stereografische projecties in de gesteentemechanica, aan de orde.

De *derde sessie* bevatte vervolgens enkele specifieke analytische toepassingen, zoals simulatieprogramma's en geotechnische berekeningen.

De *vierde sessie* daarentegen was van veel algemene aard, waarin alledaagse gebruikersproblemen en bedrijfskundige aanpak werden gepresenteerd.

De tentoonstelling had als doel om de symposium gangers de kans te geven om beter inzicht te krijgen over de sessie voordrachten. Elke spreker kreeg maar tien minuten, als gevolg van de grote belangstelling van een groeiende gebruikersgroep binnen de aardwetenschappen, om een lezing presentatie te geven.

De stands waren eveneens goed bezet (24). Hier waren zowel software-huizen als ingenieursbureau's en diverse overheidsinstanties te zien. De standhouders ondervonden grote belangstelling voor hun programmatuur en computer apparatuur. Vier software-huizen waren afkomstig uit het buitenland (Frankrijk, Engeland en Denemarken).

Opkomst groot

De opkomst van het symposium was uitstekend: een totaal van 252 aanwezigen, waarvan 108 studenten (60 TUD, 19 RUU, 10 UvA, 9 VU en 10 ITC). Van de 144 niet-studenten waren er 83 personen lid van een of meerdere organiserende verenigingen en van de studenten waren er 32 lid. Van de leden waren 34 personen lid van de KIVI, 4 van de KIVI PCdI, 37 van de KNGMG, 29 van de Ingeokring en 30 van de Mijnbouw Vereniging. Behalve de standhouders uit het buitenland waren ook een aantal symposium gangers gekomen uit België en een zelfs uit Duitsland.

De response voor advertenties in het symposium boek was ook groot: 17 bedrijven en instituten hebben op die manier het symposium financieel grotendeels gesteund.

Van de standhouders waren aanwezig: 5 software huizen met programmatuur specifiek gericht op produktie van geologische kaarten, 9 ingenieurs en/of geologische bureaus met eigen geschreven of ingekochte programmatuur, 4 universiteiten, 2 wetenschappelijke instellingen en 3 leveranciers van personal computer hardware.

Conclusie: een voorproefje van de toekomst

De dag heeft een duidelijk beeld geschapen van het scala aan mogelijkheden die de PC in de aardwetenschappen biedt. Dit was mede te danken aan het feit dat een grote variëteit aan informatie in het zeer compacte programma werd aangeboden. Het is duidelijk dat een eendags symposium nauwelijks de tijd bood om het onderwerp tot zijn recht te doen komen. Wellicht zal dat in de toekomst anders worden.

De reacties van zowel bezoekers als standhouders waren goed. Met name de bedrijven lieten weten een "succesvolle" dag gehad te hebben. Het ziet er dan ook naar, dat het symposium, zoals dat nu voor het eerst werd georganiseerd, een terugkerend evenement zal worden.

Vanwege de grote belangstelling wordt nu binnen de stuurgroep van de "PCdI", de *Persoonlijke Computer gebruik door de Ingenieur* van de KIVI, een initiatief genomen om een aparte gebruikers groep op te richten binnen het kader van de aardwetenschappen. Wie weet wordt, dankzij de computer, de communicatie tussen ingenieur en geoloog verder gestimuleerd.

Inlichtingen Personal Computer Gebruik

Voor verdere informatie over de PCdI van de KIVI kunt u contact nemen met ir. W.J. Leyds, voorzitter Stuurgroep 'PCdI' of bij ir. W. Goorden telefoon 070 919900, KIVI, PCdI, Postbus 30424, 2500 GK Den Haag.

Wie interesse heeft, kan bij dhr. P.M. Maurenbrecher, 015 785192 afd. ingenieursgeologie van de TU Delft, Mijnbouwstraat 120, 2628 RX Delft nog een exemplaar van het **symposiumboek** kopen. Kosten: f 15,-. Er zijn nog maar 20 exemplaren beschikbaar.

UNDERGROUND STORAGE OF HYDROCARBONS
IN CAVERNS AND CAVITIES

by Ir. E. Horvat, SIPM The Hague

1. Introduction

Underground storage of hydrocarbons in general and LPG/LNG in particular is becoming the subject of increasing interest, both because of its good economics (under favourable geological conditions) and its safety and environmental aspects.

This paper discusses underground storage (1.) in caverns, formed in rocks and soils, and (2.) in cavities, leached out of salt domes or stratified salt formations, although discussion of the latter has been kept brief (ref. 1 to 3.). Storage of hydrocarbons (3.) in abandoned mines or (4.) in porous formations (e.g. depleted oil and gas fields) is also possible but both applications are considered to be very specific and are outside the scope of this paper.

2. Definitions

Underground storage: in caverns (made in rock or clay) or in cavities (leached in salt) without application of a liner or insulating layer,

Type of storage : - strategic (for military or economic purposes),
- storage to accommodate seasonal fluctuations,
- for normal duties,

Hydrocarbons : - crude oil,
- oil products (gas oil, fuel oil, gasoline, etc.)

- gas at ambient temperature (liquefied gas at high pressure),
- gas at atmospheric pressure (liquefied gas at sub zero/cryogenic temperatures).

Underground storage is particularly suited for strategic storage and storage to accommodate seasonal fluctuations, while, as already mentioned, underground storage of gas may offer a number of specific advantages.

3. Underground storage of hydrocarbons at ambient temperatures in caverns made in rock or soil

The basic principle of underground storage of hydrocarbons at ambient temperatures in caverns made in rock or soil (clay) is that there must be ground water present around the cavern and the pressure of this water must be greater than the vapour/gas pressure (and hydrostatic pressure) of the material stored (fig. 1). Water will then move constantly towards the cavern, preventing leakage of hydrocarbons from storage. The "seepage forces" must in fact be large enough to prevent the escape of "gas-bubbles" through cracks, fissures, etc. The quantity of ground water seeping into the cavern should be as low as possible, which means that from an engineering geological point of view, only soils of low permeability (e.g. clay) and rock formations are suitable for this type of storage. On the other hand, a (permanently) full saturation of pores/soils/cracks around the caverns is essential, which may require the application of infiltration galleries and/or injection of the rock/soil immediate-

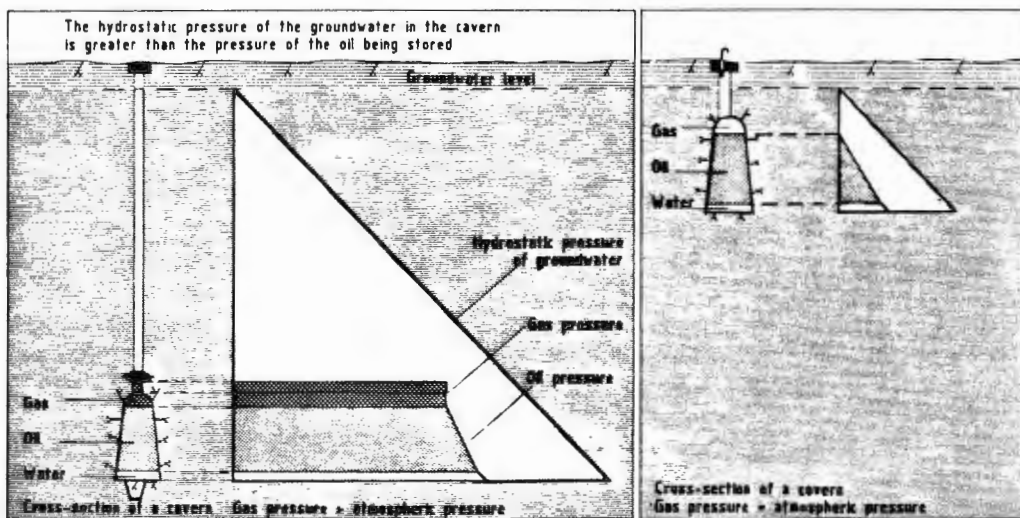


Figure 1 Principle of underground storage in caverns

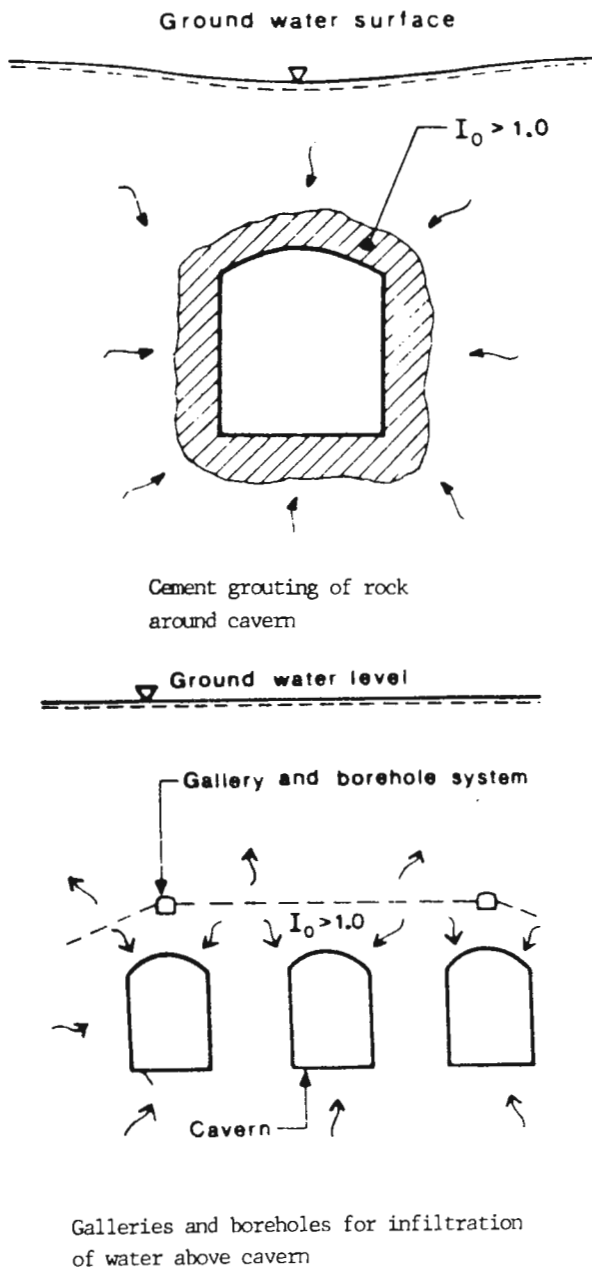


Figure 2.

from: "Prevention of gas leakage from unlined reservoirs in rock",
Bengt A^oberg, Sweden.

ly around the caverns (fig. 2). If, due to mechanical strength problems, application of a liner proves necessary it must be sufficiently permeable (e.g. open joint between concrete segments, etc.). This type of storage is suitable for the storage of crude oil, oil products (there are even cases known of underground storage of jet fuel) and pressurized LPG.

Underground storage installations are made up of long, rather slender caverns. These caverns may be grouped and dimensioned in various ways depending on the geological conditions, mechanical stability, implementation methods/possibilities, the need to store several different products, and so on (fig. 3).

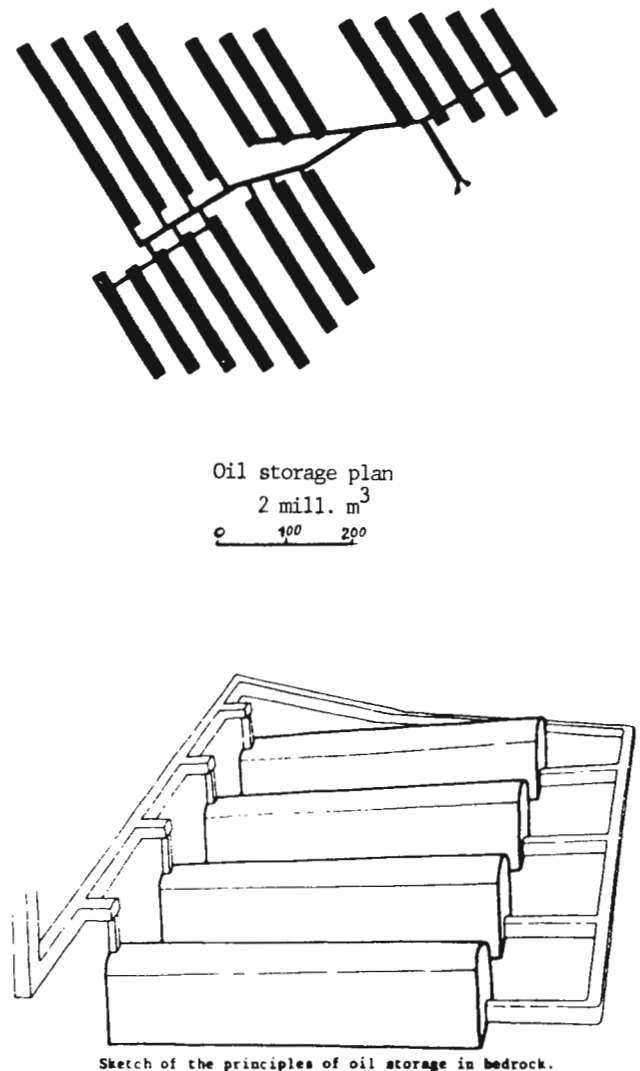


Figure 3.

from: "Oil storage in Rock"
C.O.Morfeldt, Hageconsult,
Sweden.

Depending on the vapour pressure, crude and product caverns are usually located at 15 to 25 metres below ground water level, while in the case of LPG storage the required depth is 20-25 metres for butane and 90 - 100 metres for propane. Pumping shaft arrangements and the operating system are shown schematically in fig. 4 and 5.

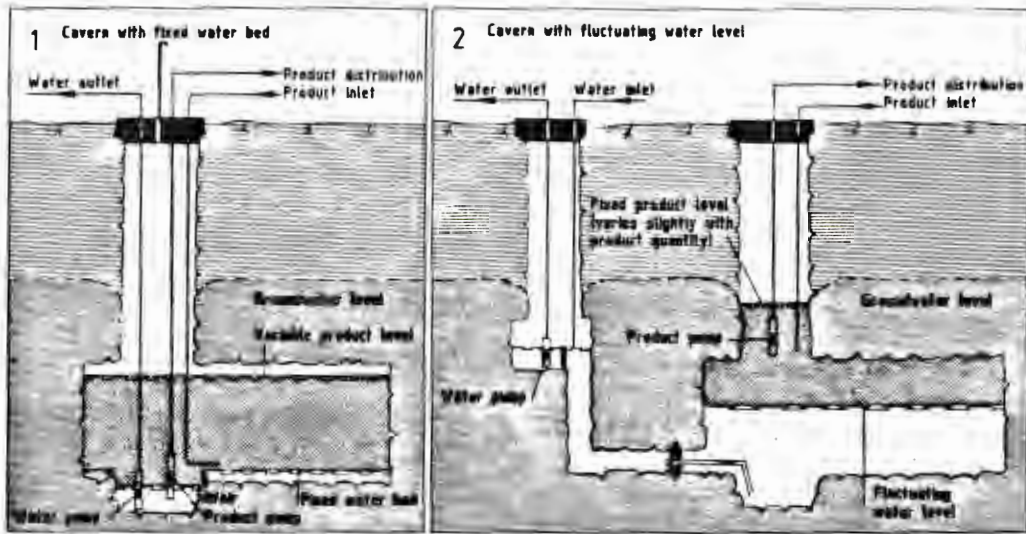


Figure 4 Pumping shaft arrangements

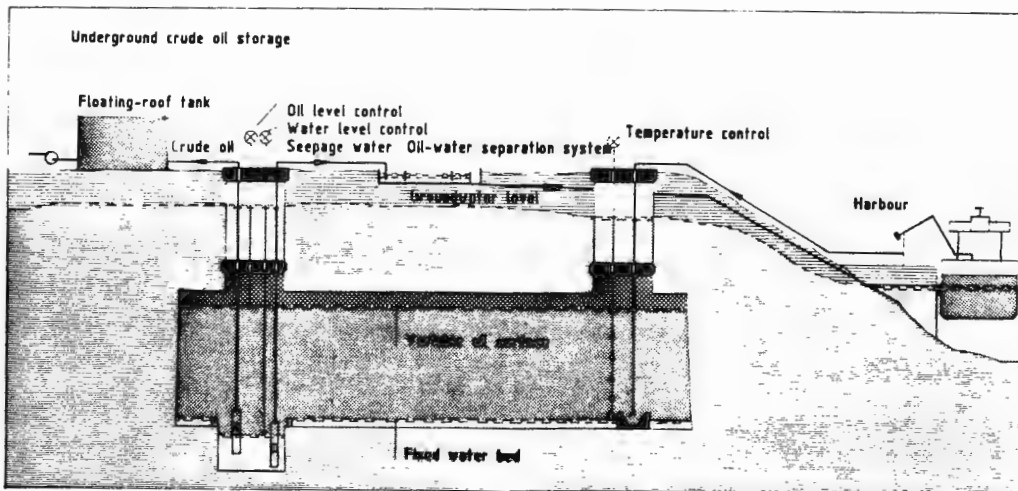


Figure 5 Operating system

4. Storage of hydrocarbons in cavities made in salt-domes or stratified salt formations

Cavities made in "rock salt" are, in areas where suitable salt deposits exist, frequently used for the underground storage of hydrocarbons because of:

- the extremely low construction costs ("solution mining") despite the considerable depths of such cavities (up to some hundreds of metres below grade);
- the favourable properties of "rock salt" in this connection (provided the salt formation is sound and homogeneous) viz. liquid and gas tightness, ability to reduce stress peaks by plastic deformation, high shock absorbing capacity with respect to explosions and earthquakes, etc.

Provided a sufficient thickness of suitable salt is available, it is in general far cheaper to create underground storage by leaching cavities in salt than by forming caverns in rock or soil (fig. 6). The stability of the cavities is governed by their shape and size, the structural strength of salt, and by the fact that such cavities are normally kept full of liquid at all times. The hydrocarbon is normally stored on top of brine in the cavity and when the hydrocarbon is transferred to the cavity the brine is displaced to an open pit ("brine pond"). When recovering the hydrocarbon the brine is usually pumped from the "brine pond" back into the cavity to replace the hydrocarbon. It is in principle possible to increase the storage capacity by leaching while the cavity is in use for storage.

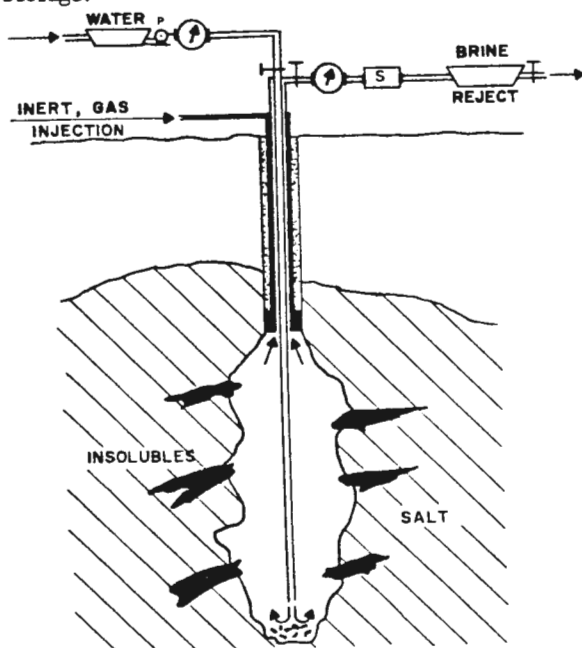


Figure 6.
Cavity in salt for storage
of hydrocarbons

Operating costs are relatively high, especially if the storage is deep - which normally is the case with this type of storage - and the product is frequently moved. The "brine displacement" method is in general considered to be the most economical method despite the problems related to brine ponding, the regulations governing brine storage and the brine condition/composition. (Salt formations often contain large quantities of gases such as methane and ethane as well as carbon dioxide which, when released by the dissolution of the salt, dissolve in the brine).

In addition to the complexity of the brine displacement procedure, two other negative aspects of this type of storage can be mentioned: The first and most important is the uncertainty regarding the actual size and shape of the cavity, the condition of the surrounding rock salt, and the potential corrosion problems. The second is that, in some cases, the integrity of the salt appears to be insufficient to prevent the stored product from being contaminated. This has been experienced, for instance, with the storage of N-butane in a particular salt dome.

With respect to the cost aspect, it is worth noting that storage facilities of this type often require a long pipeline to/from loading/discharge points.

Cavities in salt are also used for the storage of (pressurized) LPG and natural gas. The upper and lower pressure limits of the gas in the cavity ("variable-pressure storage") depend on the depth of the cavity (upper limit) and the "stability factors", such as size/shape/mechanical properties of salt, (lower limit). These limits will differ from one site to another, e.g. at the Gaz de France facility at Tersonne these limits are 80 bar (lower limit) and 220 bar (upper limit).

There is absolutely no information on the basic behaviour of salt under low/cryogenic temperatures.

5. Storage of LNG/LPG in rock/soil caverns at cryogenic temperatures

When storing LNG/LPG in caverns at cryogenic temperatures the rock/soil (plus interstitial water) around the cavern becomes frozen. Only after several years does the frozen zone reach a semi-permanent status; the ice front propagation will be relatively fast in the beginning and gradually decrease in the course of time. The boil-off rate

is directly related to the ice front propagation speed and will similarly be high in the beginning and gradually decrease as time goes by. By way of example, the results of a computer simulation study on both the ice front propagation and boil-off rate versus time are shown in figures 7 and 8.

CONFIDENTIAL

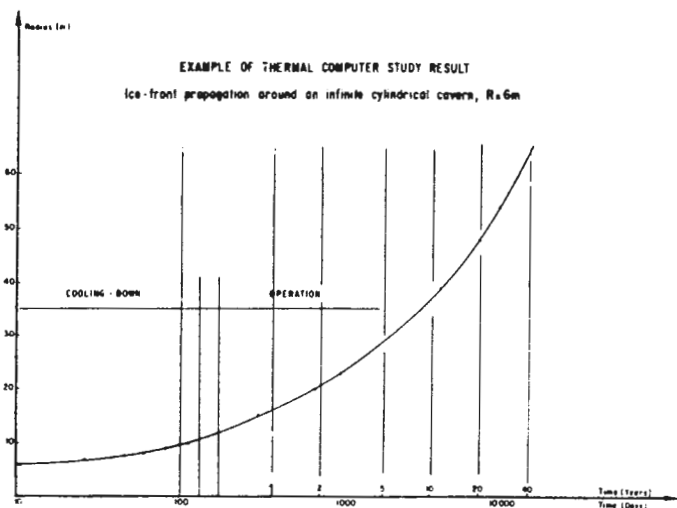


Figure 7. from: Geostock Research

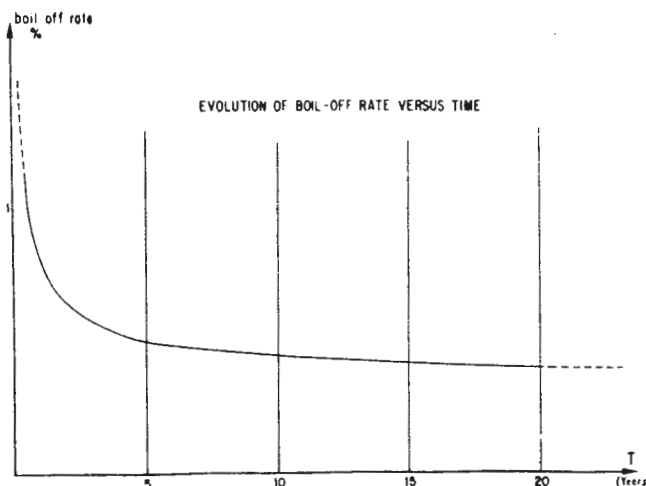


Figure 8. from: Geostock Research

The major problem of underground cryogenic storage in rock/soil caverns is that the thermal contraction of the rock/soil, induced by the low-temperature hydrocarbons being in contact with the rock/soil surface, gives rise to tensile stresses, which, depending on the tensile strength and stress-strain behaviour of the rock/soil, may

lead to (1.) generation of cracks, and (2.) a widening/opening of existing cracks and fissures. The highest stresses usually occur near corners, sharp angles between wall and bottom etc. Heterogeneity of rock/soil with respect to both composition and properties, and the cool-down rate ("thermal shock") will also influence the stress distribution and subsequent rock behaviour. All major failures with cryogenic underground storage were caused by crack propagation, leading to excessive boil-off and even to leakage to surface/adjacent caverns.

The major drawback of underground cryogenic storage is the rate of boil-off, which is always greater than for conventional storage tanks. As a general (very rough) guide, one could take a boil-off rate in hard limestone of moderate porosity (5%) of 0.5% a day for LNG at -162 deg. C, and 0.15% a day for propane at -45 deg.C. The boil-off rate will drastically increase if cracks/fissures/openings in the rock/soil are generated around the cavern and subsequently filled by low temperature hydrocarbons.

Geostock, a leading engineering contractor in this field, has been developing cryogenic underground storage since a couple of years. Fig. 9 illustrates Geostock's design principle, which is based on the assumption that there is:

- a "tensile zone" immediately around the cavern, in which zone the total stress (obtained from thermal, geostatic and hydraulic stresses) exceeds the tensile strength of the rock/soil, so that existing cracks/fissures open wider and new ones appear,
- a "compression zone" behind the "tensile zone", in which the total stress is such that the rock/soil is subjected to significant compression, preventing crack propagation and excessive water flow via wide cracks/openings from the non-frozen zone.
- a "non-frozen zone" around the frozen soil/rock with a normal geostatic stress distribution.

The thickness of the various zones according to Geostock's design principle and the feasibility of this method of underground storage depend on the temperature/stress-strain behaviour of the rock/soil surrounding the cavern. Laboratory investigations carried out by Geostock (fig. 10) indicate a considerable sensitivity to crack initiation/propagation for "hard" rocks (e.g. granite, gneiss, etc.), moderate sensitivity for "soft" rocks (e.g. limestone), and very favourable properties in this respect for clays.

Fracture and stress pattern around an infinite cylindrical cavern

(Not to scale)

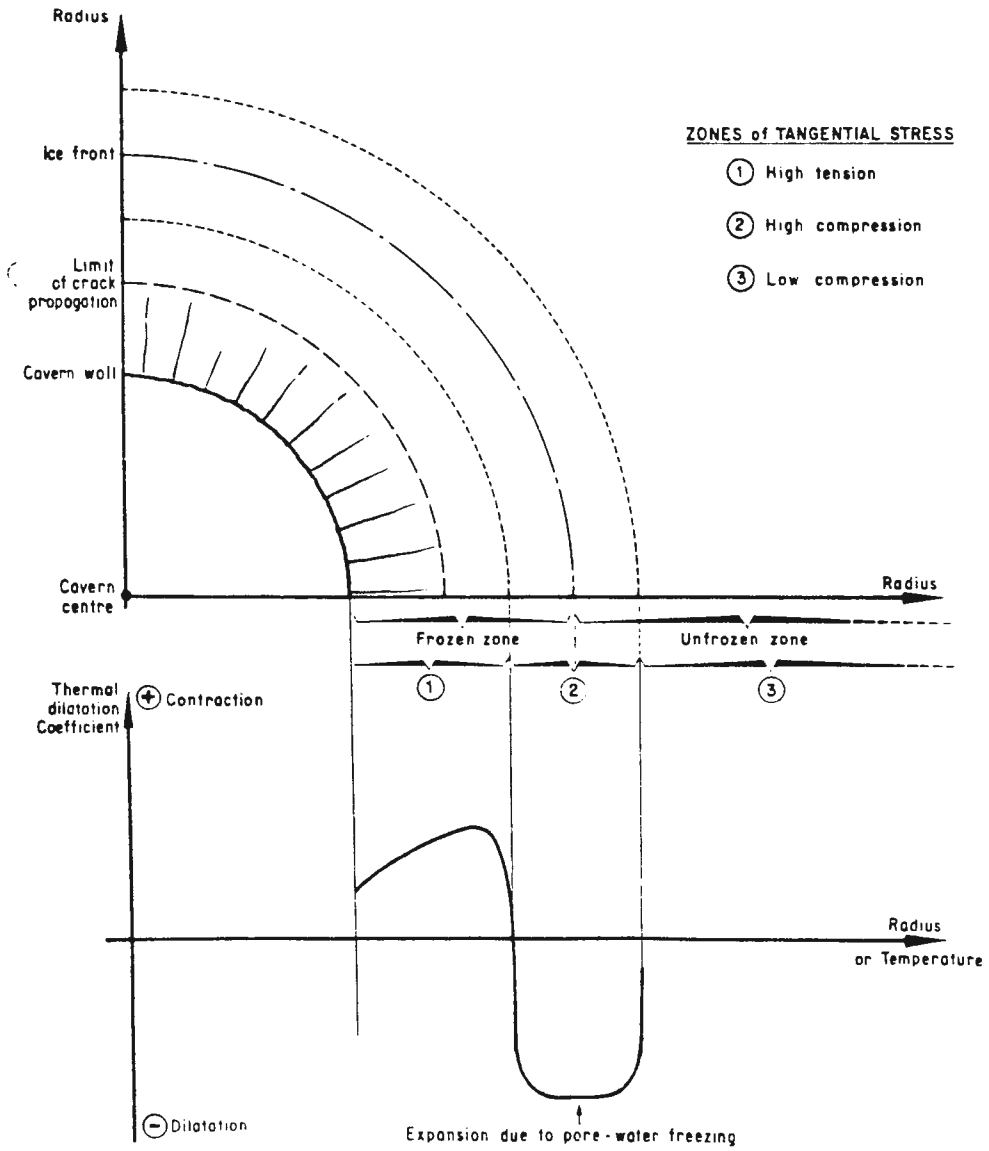


Figure 9. Geostock's design principle for underground storage of LNG/LPG at cryogenic temperatures.

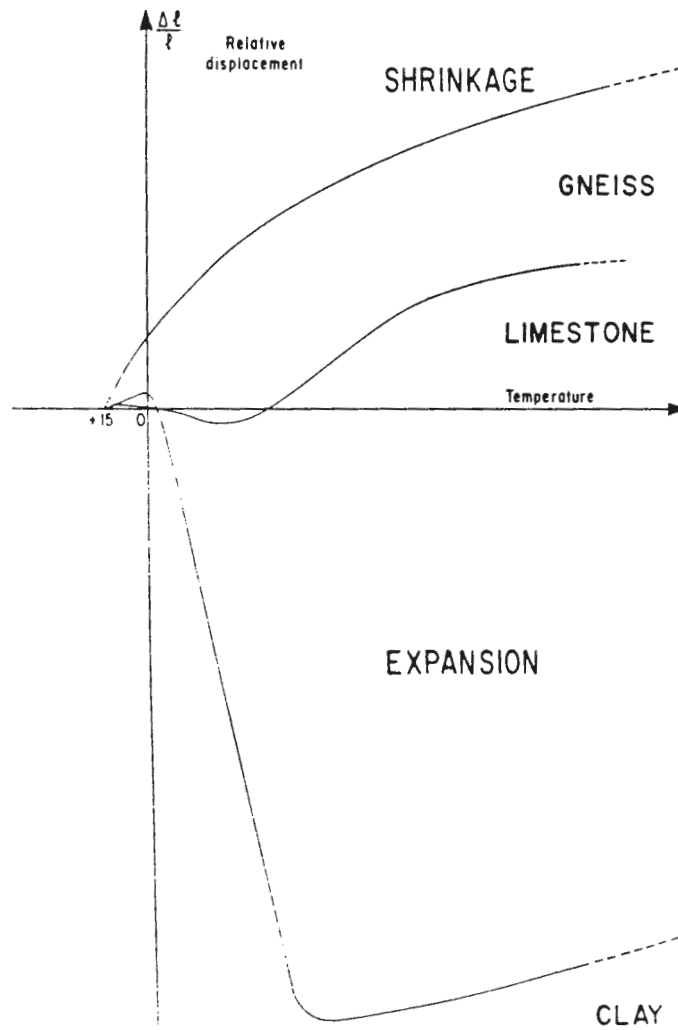


Figure 10. Temperature stress/strain behaviour of rock/soil.
(Not to scale)

from: Geostock Research.

Based on this information, Geostock and Distrigaz (Belgium) carried out an in-situ test on a 200 m³ pilot cavern in clay at Schelle near Antwerp (ref. 4). The cavern (a circular gallery, length 30 m, diam. 3m, 23 m below grade, lined with concrete segments) was cooled down over a period of 6 months to -196 deg.C and maintained at this temperature (by partly filling the cavern with liquid nitrogen) for 11 weeks.

Cool-down was effected by circulation of gaseous nitrogen or liquid nitrogen at the lower temperatures (below -120 deg.C), this being sprayed from the remote end of the gallery. According to Geostock the test was successful.

The primary advantage of refrigerated cavern storage over above-ground refrigerated tanks is, its greater economy, though safety and environmental aspects also play an important role. Above a certain minimum storage size, it is definitely cheaper to build refrigerated cavern storage, provided (1) the geological/geotechnical conditions meet the requirements, and (2) the problems referred to above are reliably solved. Information from various sites indicates storage costs of 30% to 60% of that of above-ground "double integrity" storage (fig. 11).

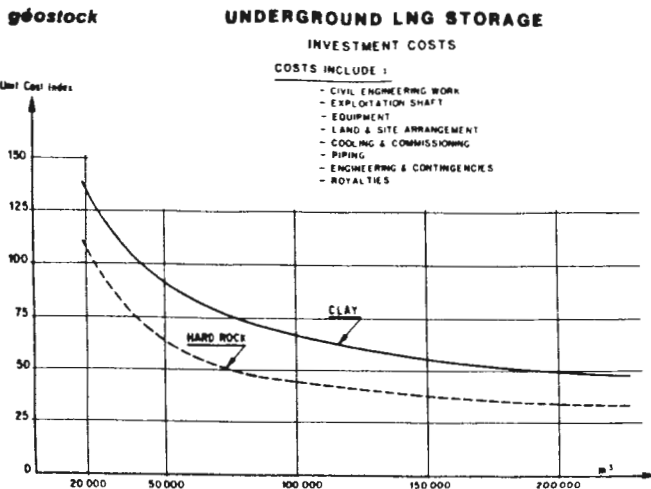


Figure 11. from: Geostock.

In addition, the maintenance costs for this type of storage are certainly lower, but this is partly offset by the higher operating cost emanating from the higher boil-off rate.

By locating the caverns at a particular depth some over-pressure is allowed, which could be required if there is a loss of refrigeration due to machinery failure or power outage.

The installation of caverns requires a relatively long lead time because of the geological/geotechnical feasibility study which must take place at every site (6 to 12 months), whilst the cool-down time is also relatively long (6 to 9 months).

Due to the problems related to "crack propagation", long term effects and operational aspects, this method is still considered to be in the development stage.

6. General conclusions

Advantages:

- In general, the method is cheap (in salt formations very cheap) for large quantities under favourable geological/geotechnical conditions. (fig. 12)

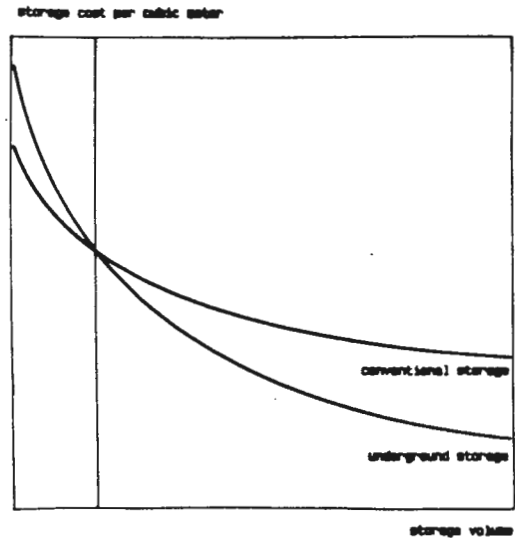


Figure 12. Storage costs: Underground storage versus conventional storage.

- Favourable safety, environmental and strategic aspects.
- Space-saving.
- High earthquake/explosion resistance.

Disadvantages:

- Relatively extensive preliminary investigations and long lead time required.
- High probability of "surprises" during construction.
- Operational inconveniences ("sludge", "wax", "aging", "water contamination", etc.).
- Complex inspection and repairs may be necessary.

Items to be investigated further:

- In some cases the integrity of salt appears to be insufficient to prevent the stored product from being contaminated.
- Behaviour of salt under sub-zero and cryogenic conditions.
- Temperature/stress-strain behaviour of clays and soft/hard rock under sub-zero and cryogenic conditions taking into account the influence of stress level/state and cool-down rate (cryogenic liquefied gas storage).
- Behaviour of pore and molecular water during cool-down (cryogenic liquefied gas storage).

- Ice front propagation, heat influx and the related boil-off rate versus time (cryogenic liquefied gas storage).

References:

1. "Opslagmogelijkheden in zoutformaties"
by Ir.Th.Wassmann, AKZO Hengelo,
Symposium "Ondergrondse Ruimten en Infrastructuur",
KIVI/NIDIG/NVA, 26.11.'86, Bussum (Holland).
2. "Storage in salt cavities"
by Prof.Dr.Michael Langer,
First Arab Seminar on Underground Storage of Oil
and Gas, Baghdad, October 20-26, 1979,
Organized by: Arab Geologist Association
Ministry of Oil, Iraq
Hagconsult AB, Sweden, Stockholm.
3. "Gas storage in stratified salt formations"
by Dipl. Ing. Norbert Lindermann,
First Arab Seminar on Underground Storage of
Oil and Gas, Baghdad, October 20-26, 1979,
Organized by: Arab Geologist Association
Ministry of Oil, Iraq
Hagconsult AB, Sweden, Stockholm.
4. "LPG and LNG Terminals Associated with Under-
ground Storage",
by J.P. Lagron and A.Boulanger, Geostock Paris,
Conference Papers Gastech '85, Nice France 1985.

AANKONDIGING

INGENIEURSGEOLOGISCHE KAARTEN VAN NEDERLAND

Sinds enkele jaren vervaardigen de Rijks Geologische Dienst en Grondmechanica Delft samen Ingenieursgeologische kaarten op schaal 1:5.000. Tot op heden zijn kaartensets van vier stedelijke gebieden gemaakt, allen gebaseerd op bestaande grondgegevens. In 1986 is, mede met het oog op het IAEG-congres in 1990, een begin gemaakt met het ambitieuze project Ingenieursgeologische kaarten van Amsterdam.

Voorafgaande aan de jaarvergadering van de Ingenieursgeologische Kring zal een uitgebreide toelichting op het project Ingenieursgeologische kaarten van Nederland worden gegeven. Daarbij zal aandacht worden geschonken aan geologische en geotechnische aspecten, gebruiksmogelijkheden en soortgelijke buitenlandse kaarten.

Het programma van 23 april ziet er als volgt uit:

- 15.00 Opening door de voorzitter van de Ingenieursgeologische Kring.
- 15.10 - 16.30 Voordrachten door:
 - L. Kok (Bureau Grondmechanica Amsterdam)
 - R. Hillen (Rijks Geologische Dienst)
 - P.V.F.S. Krajicek (Grondmechanica Delft)
- 16.30 - 17.00 Jaarvergadering. Agenda wordt ter plaatse uitgereikt.
Er vindt een bestuurswisseling plaats.
Aftredend zijn: E.Oele, R.Haakmeester.
Het bestuur draagt als nieuwe bestuursleden voor:
J. Hartevelt en P.M.Maurenbrecher.
- 17.00 - 17.30 Borrel.

Plaats: Bureau Grondmechanica
Dienst Openbare Werken
'Wibautshuis"-blauwe zaal
Wibautstraat 3
Amsterdam.

E. Oele.

STABILITEIT VAN VERLATEN MIJNEN IN DE LIMBURGSE KALKSTEEN ("MERGEL"): EEN BENADERING VANUIT DE GESTEENTE MECHANICA.

Lezing gehouden voor de "Ingeokring", op 19 maart 1987 te Geulhem, Zuid Limburg.

Peter N.W. Verhoef
Universitair Docent in de Ingenieursgeologie,
Faculteit Mijnbouwkunde en Petroleumwinning,
Technische Universiteit,
Postbus 5028,
2600 GA Delft.

Samenvatting

Sommige delen van de oude "room-and-pillar" mijnen in de Limburgse Kalksteen lijken instabiel te zijn. Er komen scheuren voor in de pijlers, en op enkele plaatsen zijn er aanwijzingen dat scheuren uitgroeien en pijlers langzaam deformerden. Er zijn instortingsgebieden, sommige instortingen hebben recent plaatsgevonden. In dit artikel wordt verslag gedaan van de onderzoeken van de Sektie Ingenieursgeologie (T.U.-Delft) naar de stabiliteit van verlaten mijnen in de kalksteen.

Waarschijnlijk speelt een kruipmechanisme een rol bij het langzaam bezwijken van de pijlers. Verder onderzoek, zowel in-situ als in het laboratorium kan mogelijkheden opleveren om te voorspellen wanneer bezwijk gevaar het grootst is. Het bezwijken van een deel van de verlaten mijnen kan oppervlakte verzakking en schade van bovenliggende gebouwen tot gevolg hebben. Bebouwing of ophogingen boven verlaten mijngangen kunnen instorting veroorzaken. Bij het onderzoek is de "tributary area methode" toegepast. De methode geeft een mogelijkheid de spanning in de pijlers te schatten. Bovendien kan met deze methode relatief snel worden vastgesteld welke gebieden kritiek zijn (mits goede kaarten van de verlaten mijnen voorhanden zijn).

Inleiding

Sinds 1982 wordt door de Sektie Ingenieursgeologie van de T.U.-Delft in de "Limburgse Mergel" gewerkt. De "mergel" is een zeer zwakke kalksteen (calcisiltiet of calcareniet). De kalksteen is een zeer dankbaar studie-objekt vanuit gesteentemechanisch oogpunt. De steen is makkelijk te bewerken. Het is dus eenvoudig om monsters van allerlei grootte te verkrijgen en bovendien kunnen allerlei grootschalige in-situ proeven in de groeven of verlaten mijnen uitgevoerd worden.

Voor een gesteente is de kalksteen vrij homogeen van samenstelling. Hoewel op sommige plaatsen diaklazen en breuken in de kalksteen voorkomen, zijn er ook veel gebieden en lagen in de kalksteenopvolging die nauwelijks of geen diaklazen bevatten. De enige discontinuïteit in het gesteente is dan de gelaagdheid. Behalve discontinuïteiten komen in de krijtkalk regelmatig "aardpijpen" voor. Dit zijn oplossingsgaten, vaak gevuld met grond die uit de bovenliggende grondlagen in de oplossingspijpen gezakt is. Als in de ondergrondse mijnen zo'n aardpijp aangesneden wordt, stroomt de grond de gangen in. Dergelijke oplossingsgaten (dolines) hebben vaak aan het oppervlak depressies in het landschap veroorzaakt.

In bepaalde lagen van het Maastrichtse Krijt (bijv. de Nekumlaag in de Pietersberg en de Meersem laag bij Geulhem) zijn bouwstenen gewonnen. Dit gebeurde al vanaf de Romeinse tijd, met uitgebreide winning vanaf de middeleeuwen tot in de vorige eeuw. De bouwsteen werd in blokken uitgezaagd. Dit ging soms zeer

systematisch, zodat mooie gangen ontstonden met pijlers kalksteen van voldoende breedte, zoals bijvoorbeeld in het centrale deel van de Pietersberg. Op andere plaatsen is ongecoördineerd gewerkt en vond roofofbouw plaats. Hier zijn de pijlers vaak te smal of ondermijnd. Dergelijke plaatsen zijn vaak ingestort, of instortingsgevaarlijk.

In 1983 en 1984 heeft de Sektie Ingenieursgeologie gewerkt in de gangen van de Pietersberg, op het terrein van de ENCI-groeve. In 1986 is op verzoek van Staatstoezicht op de Mijnen onderzoek verricht in de Geulhemmer mijn, in een gebied waar de pijlers scheuren vertonen. De werkperiodes waren steeds twee weken. Deze veldwerken vormen een deel van de cursus Ingenieursgeologie. In teamverband worden ingenieursgeologische opnamen gemaakt. Enkele studenten kregen als opdracht een stabiliteitsanalyse volgens de "tributary area theory" te maken. Hiervoor is het nodig om een nauwkeurige kaart van de ondergrondse gangen te maken, met behulp van landmeetkundige methoden. Verder worden monsters genomen om in het laboratorium de sterkte van de krijtkalk te bepalen. Als een schatting van het gewicht van de bovenliggende lagen gemaakt kan worden, kan daarna een stabiliteitsberekening uitgevoerd worden. Deze methode zal in dit artikel toegelicht worden. Naast het werk aan de stabiliteit van de oude mijnen volgens deze methode hebben studenten een seismische studie van de pijlers gemaakt (doormeten van pijlers met behulp van een Nimbus hamer seismograaf), en zijn er grootschalige in-situ proeven uitgevoerd (in-situ schuifproef, plaatbelastingproeven). Bovendien zijn van de ENCI-groeve en de Groeve 't Rooth opnamen gemaakt van de verticale opeenvolging van krijtkalklagen. Van elke laag zijn monsters genomen en beproefd. Op deze wijze zijn geotechnische profielen (leggen met gelijke geotechnische eigenschappen zoals sterkte en stijfheid) opgesteld. Deze studies zijn in verslagen vastgelegd [1,2,3,4,5,6,7]. Er zijn twee afstudeerscripties verschenen over de stabiliteit van de oude "room-and-pillar" mijnen in de Pietersberg [4,5]. Het ligt in de bedoeling de komende jaren deze werkzaamheden voort te zetten. Aan de hand van het voorbeeld van de Geulhemmer Mijn wordt in het navolgende gedeelte het probleem van de stabiliteit van oude mijnen in "mergel" besproken.

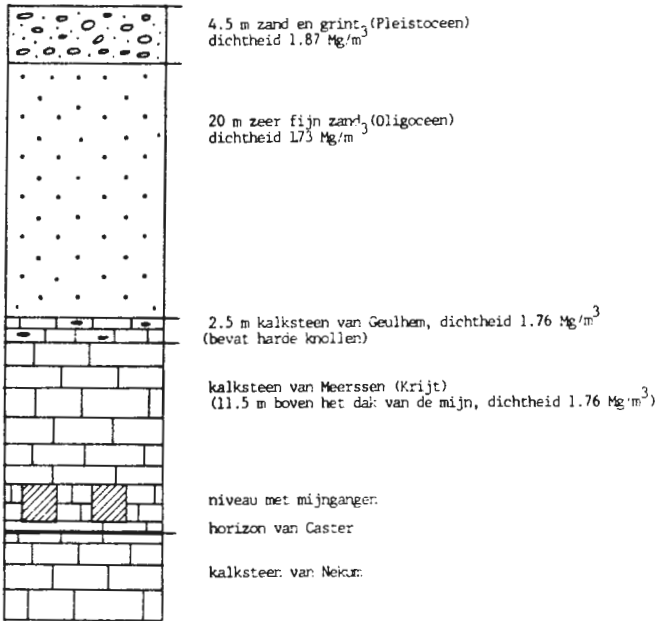
Verantwoording

Voor dit artikel werd gebruik gemaakt van de informatie die de afgelopen jaren door de studenten is verzameld. Voor deze studies is door alle betrokkenen in Zuid Limburg (Rijks Geologische Dienst-district Zuid, de ENCI, Anker-Smit) alle medewerking verleend, vaak met groot enthousiasme.

Professor D.G.Price is degene die het vakgebied Ingenieursgeologie in Nederland heeft geïntroduceerd. Hij heeft al snel ideeën ontwikkeld om te werken in en met de Limburgse Krijtkalk. Het veldwerk gebeurt onder zijn leiding. Het is zeker niet zo dat wij in het stadium verkeren de Limburgse Krijtkalk goed "te begrijpen". Behalve een goede kennis van de theorie is, zeker met betrekking tot de gesteentemechanica, een goede kennis van het gesteente zelf nodig. Eigen waarnemingen, of zorgvuldig genoteerde waarnemingen van anderen zijn hierbij onmisbaar. Hiervoor wordt sterk gesteund op het werk van Ir. A.Venmans, zoals vastgelegd in zijn afstudeerwerk [5] en via hem op wijlen Ir.D.C.van Schaik, die voor de tweede wereldoorlog jaren aan het vraagstuk van de stabiliteit van Limburgse Krijtkalk heeft gewerkt, voornamelijk in de Pietersberg

[8]. De ideeën in dit artikel zijn gedeeltelijk veronderstellingen, die nog bewezen, of door metingen bevestigd, moeten worden. De discussies die de schrijver met Professor Price, Ing.W.Verwaal en met studenten, met name Arjan Venmans en Harry Nienhuis, heeft gevoerd hebben hem geholpen een beter inzicht te krijgen in de gesteentemechanica van de krijtkolk.

STRATIGRAFIE BIJ GEULHEM



10 m

fig. 1

Kenmerken van de Geulhemmer Groeve [6].

In het gedeelte waar de opnamen in 1986 gemaakt werden, toepasselijk de "studentengrot" genoemd, komen geen diaclazen in de kalksteen voor. Wel aardpijpen, met een doorsnede van meestal minder dan 1 m, die regelmatig door de bouwsteenwinning aangesneden zijn. De stratigrafische opbouw is weergegeven in Fig. 1. De dichtheid van de verschillende lagen is tevens vermeld, omdat met behulp hiervan de verticale spanning boven de mijngangen berekend kan worden. De gongen zijn "uitgezaagd" in de kalksteenlaag van Meerssen. Laboratoriumgegevens over deze laag zijn samengevat in Tabel 1. De grondwaterspiegel bevindt zich beneden het vloerniveau van de mijngangen.

De hoogte van de gongen is rond de 2 tot 3 meter. De omvang van de pijlers varieert van ongeveer 3 x 4 m tot 7 x 11 m. De ratio breedte/hoogte (W/H) ligt rond de 1-2.

De dikte van de lagen boven dit gedeelte van de mijn is ongeveer 37 m. De verticale spanning op het "dek-niveau" is 0.66 MPa (0.66 x 10⁶ N/m² = 6.6 Kg/cm² = 6.6 bar).

$$\sigma_v = \gamma_i \times h_i$$

$$\left\{ \begin{array}{l} h_i = \text{dikte van laag } i \\ \gamma_i = \text{volume gewicht van laag } i \text{ (zie fig.1)} \end{array} \right.$$

GEULHEMMEER MIJN: GESTEENTE EIGENSCHAPPEN		
	\bar{X}	S
• DRUKSTERKTE (KERNEN) (MPa)	2.2	0.8
DRUKSTERKTE (KUBUS) (MPa)	2.5	0.6
RESTSTERKTE (KUBUS) (MPa)	0.8	0.3
• TREKSTERKTE (BRAZILIAANS) (MPa)	0.20	
• E-MODULUS (MPa)	715	267
POISSON'S RATIO (STATISCH)	0.24	0.03
POISSON'S RATIO (DYNAMISCH)	0.31	0.08
• SPECIFIEKE DICHTHEID (Mg/m ³)	1.76	0.04
DROGE DICHTHEID (Mg/m ³)	1.40	0.05
VERZADIGDE DICHTHEID (Mg/m ³)	1.86	0.04
• VOCHTGEHALTE (%)	20.5	2.3
POROSITEIT (%)	45.9	3.3
• ULTRASONIE SNELHEID (m/s)	1465	161

Tabel 1

Spanning en vervorming

Om te weten te komen wat het effect is van toenemende verticale spanning op een pijler kunnen we verschillende methoden van observatie toepassen.

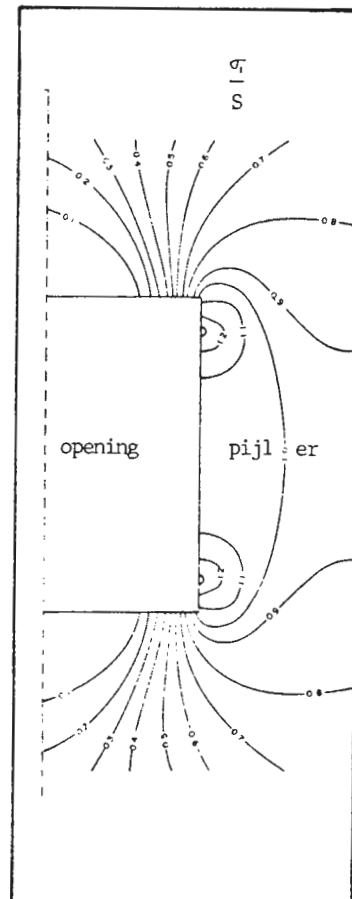


fig. 2.

Spanningsverdeling in pijler met breedte/hoogte ratio W/H = 1. Contourwaarden zijn verhouding van de hoofdcomponent van spanning (σ_1) en de gemiddelde druk op de pijler (S). [11]

1. Het bestuderen van de toestand van pijlers in de mijnen. Pijlers komen in allerlei soorten en maten voor. Pijlers met een klein horizontaal oppervlak staan onder hogere spanning dan pijlers met een groter draëgvlak. Sommige pijlers vertonen geen tekenen van zwakte, andere hebben scheuren en weer andere zijn bezweken. Door de toestand nauwkeurig op te nemen kan een idee van de sterkte van de pijlers verkregen worden.

2. Het nemen van monsters en die onder nauwkeurig vastgelegde omstandigheden beproeven in het laboratorium. Behalve over sterkte kunnen tevens gegevens over stijfheid (deformatie modulus) en reststerkte verkregen worden.

Het voordeel van werkwijze 2 is dat nauwkeurige gegevens verkregen kunnen worden. Het grote nadeel is echter dat gegevens verkregen aan een klein monster niet representatief hoeven te zijn voor een groter volume gesteente. Het is bekend dat in het algemeen grote volumens gesteente (de "gesteente massa") zwakker zijn en minder stijf dan de laboratoriummonsters. Willen we uitzoeken wat het "schaaleffect" op de sterkte en stijfheid van de Limburgse Krijtkalk is, dan moeten ook insitu proeven worden gedaan, waarbij grotere volumina gesteente worden belast.

Figuur 3 illustreert hoe een drukproef op een gesteentekern uitgevoerd wordt. De rekstrookjes op het monster meten de verticale en horizontale verplaatsing, waaruit de vervorming (strain) in verticale en horizontale richting berekend wordt (vervorming = lengteverandering/initiele lengte). Het monster is "cyclisch" belast. Er is belast tot een bepaalde spanning A, daarna ontlast tot 0, hierna is weer belast. Blijkbaar heeft het gesteente een permanente vervorming OB ondergaan. De lijn AB geeft de elastische component van de deformatie weer. Het gesteente is bezweken bij C. De bijbehorende spanning is de "druksterkte" van het gesteente ("unconfined compressive strength"). Merk op dat de proef is uitgevoerd zonder steundruk; ook de pijlers hebben geen "steun" van opzij, in horizontale richting. Na het bezwijken heeft de apparatuur geen spanning-vervormingsrelatie meer kunnen registreren. Dat kan alleen met speciale, zeer

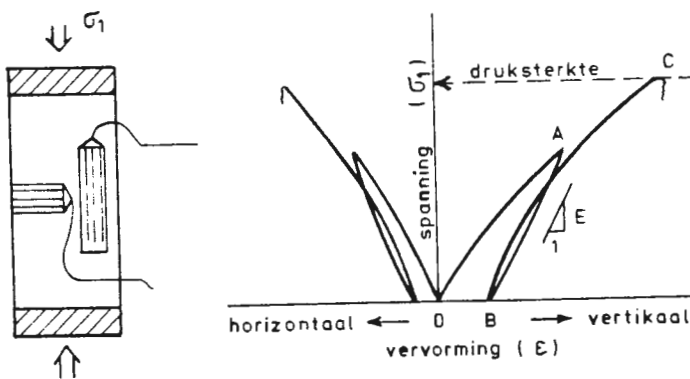


fig. 3.

stijve, drukbanken die servo-gestuurde vizjels hebben. Met zulke apparatuur kan de complete "stress-strain"curve bepaald worden (fig. 4).

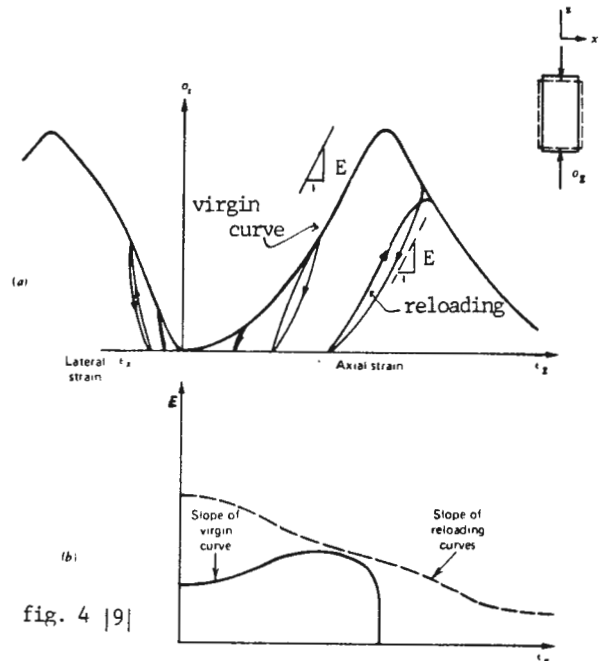


fig. 4 |9|

Figuur 4a laat een complete curve zien. Figuur 4b illustreert het verloop van de "stijfheid" van het monster. De "virgin curve" loopt concaaf opwaarts. Dit houdt in dat het monster bij toenemende spanning stijver wordt ("strain hardening"). Ook bij de Limburgse kalksteen is dit het geval, zoals blijkt uit de vorm die de openingen aannamen die gemaakt werden in een deel van de Pietersberg, waar met de hand (houwelen) mergel voor landbouwkundige doeleinden werd gewonnen (fig.5). Op de plaatsen waar grote spanningen ontstonden (zie figuur 2) is de mergel stijver en was dus moeilijker te winnen: de uitgravingen kregen zodoende een ellipsoidale vorm.



Gallerijen met een ellipsoidale vorm in de Pietersberg, zuidelijk deel (foto W.C.L.van Schaik, [5])

fig. 5.

Op de T.U. wordt al zo'n 4 jaar gebouwd aan speciale servo-gestuurde stijve drukbanken, waarvan een 50 kN bank speciaal voor zwakke gesteenten. Helaas hebben we nog geen proeven kunnen doen. Daarom kunnen we alleen nog vergelijkingen maken met waarnemingen die door anderen gemaakt zijn bij proeven op gesteente waarbij het complete bezwijkgedrag geregistreerd is. Fig. 6 geeft een globaal overzicht van gesteente-deformatie-gedrag bij een drukproef. De spannings-vervormings curve is voor

een eenmalige belastingsgeschiedenis (geen cyclische belasting, zie Fig. 4). In gebied A geen scheurtjes en poriën in het monster dicht (permanente deformatie). In gebied B vindt elastische deformatie plaats. Als de druk hoger dan rond de 36% van de druksterkte wordt beginnen scheurtjes in het monster te ontstaan. Scheurvorming kan geregistreerd worden door microfoons in de opstelling te plaatsen (bovenste deel figuur 6). De vorming van

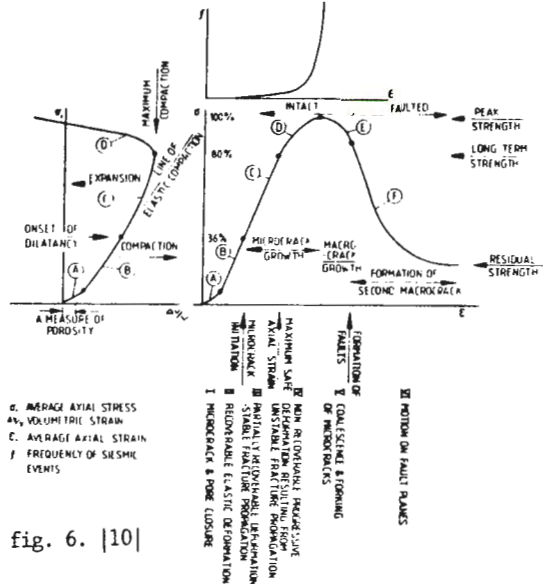


fig. 6. [10]

A description of rock deformation (after Price 1979).

scheurtjes leidt ertoe dat de deformatie in gebied C slechts gedeeltelijk elastisch is; hier vindt permanente deformatie plaats. Als zo'n 80% van de druksterkte is bereikt vindt scheurvorming op grote schaal plaats (veel akoestische scheurvorming, het gesteente "kraakt"). Tenslotte bezwijkt het gesteente. De scheurtjes zijn uitgegroeid; langs grotere scheurvlekken (E) glijden nu gesteente fragmenten langs elkaar (F). Het bezwaken gesteente kan nog spanning opnemen: het heeft een reststerkte (ongeveer 20% van de druksterkte). Het linker diagram van fig. 6 laat het verloop van de volumeverandering zien (eerst compactie, daarna expansie). Van belang is, dat in figuur 6 een "long term strength" staat aangegeven. Blijft de spanning onder 80% van de druksterkte, dan is de kern op lange termijn stabiel. Boven deze waarde kan na verloop van tijd toch bezwijken plaatsvinden. Hier komen wij in het vervolg van dit artikel op terug.



fig. 7. Bezwaken pijler (Pietersberg).

Een druksterkte proef wordt tegenwoordig volgens vaste normen uitgevoerd (A.S.T.M., I.S.R.M.). De kern heeft meestal een doorsnede van 50 mm en een lengte van 100 mm. Proeven op monsters met een andere lengte/diameter verhouding geven andere resultaten. Monsters met een afwijkende vorm eveneens. Dit heeft duidelijk te maken met de spanningsverdeling binnen een monster, die van de vorm van het monster afhangt. Aangezien pijlers een vorm hebben die gerelateerd is aan een kubus, zijn drukproeven uitgevoerd op kubussen. Opvallend is dat het bezwijkpatroon van een kalksteenkubus identiek is aan dat van bezwaken pijlers (fig.7,8).

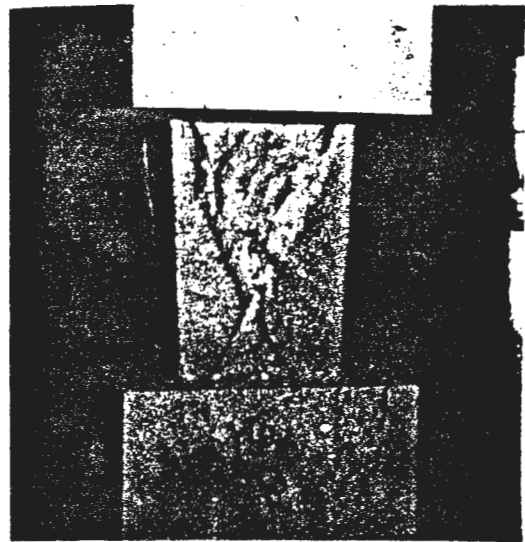


fig. 8. Bezwaken proefkubus [4]

Venmans [5] heeft een aantal elegante proeven uitgevoerd op blokmonsters en een proefpijler in de Pietersberg (fig.9). Bij deze proeven heeft hij door cyclisch te belasten ook de reststerkte kunnen vaststellen (fig.10). Deze proeven zijn de enige proeven met volledige spannings-vernervings krommen waar we tot nu toe gebruik van hebben kunnen maken. Ze hebben betrekking op monsters uit de Nekumlaag in de Pietersberg en zijn dus strikt genomen niet van toepassing op de situatie bij Geulhem. Een aantal punten komen uit deze proeven naar voren (fig.10):

1. Bij toenemende monster grootte neemt de druksterkte toe.
2. Bij toenemende monster grootte neemt de stijfheid (deformatie modulus) toe.

Dit zijn verrassende resultaten. Krijt kalk is het enige gesteente dat zo reageert (tenminste wanneer het belast wordt loodrecht op de laagdheid). Alle andere gesteenten worden zwakker en minder stijf wanneer het belaste volume toeneemt [1,2,3,13] (de Limburgse kalksteen ook wanneer de belasting evenwijdig aan de laagdheid wordt opgebracht). Of deze resultaten geëxtrapoleerd mogen worden naar pijler-grootte is de vraag.

Sterkte van pijlers

Om de sterkte van een pijler te schatten zou men als volgt te werk kunnen gaan:

$$\text{Sterkte pijler} = \text{druksterkte kubus} \times \text{correctie factor grootte} \times \text{correctie factor vorm.}$$

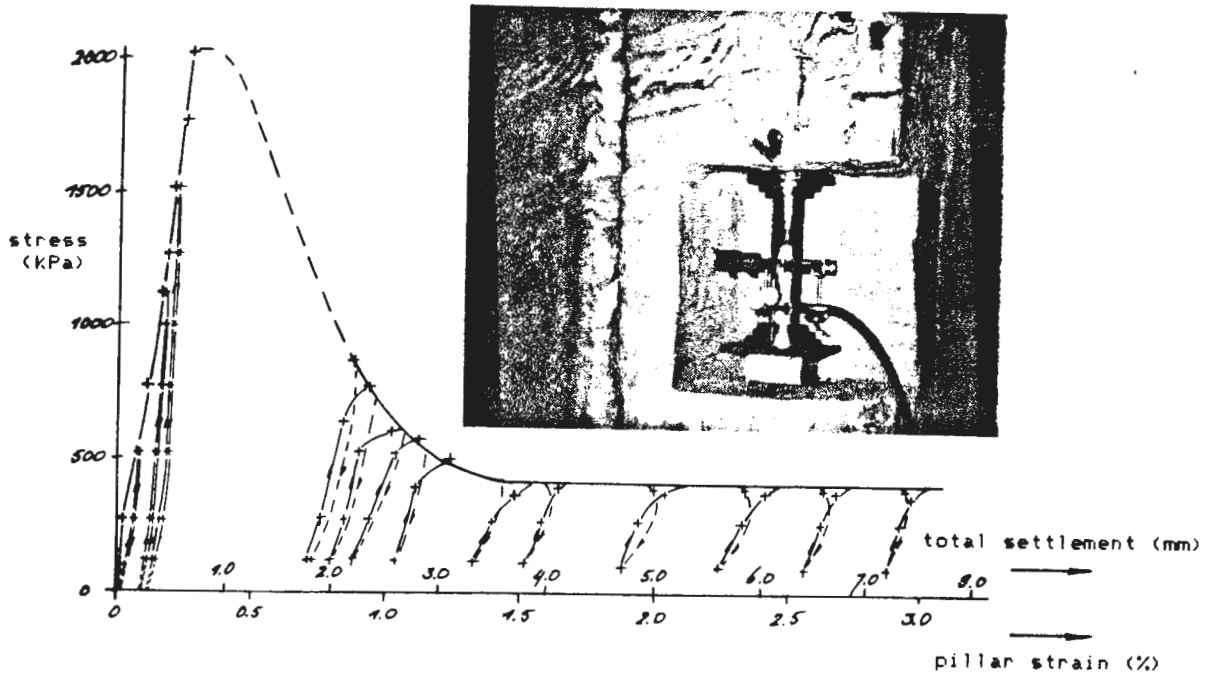
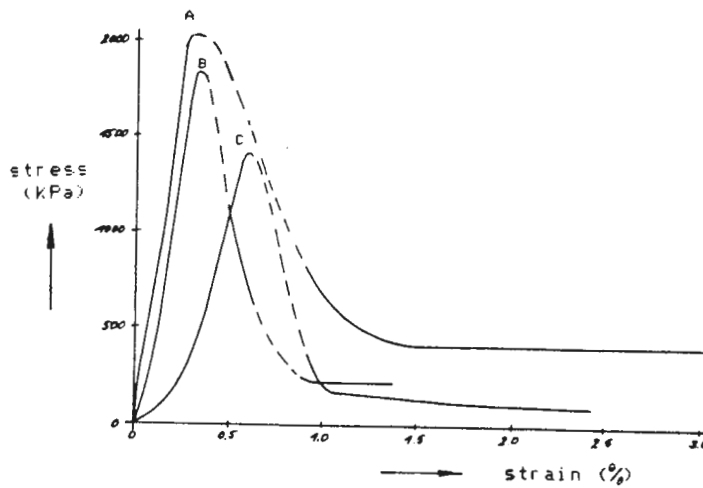


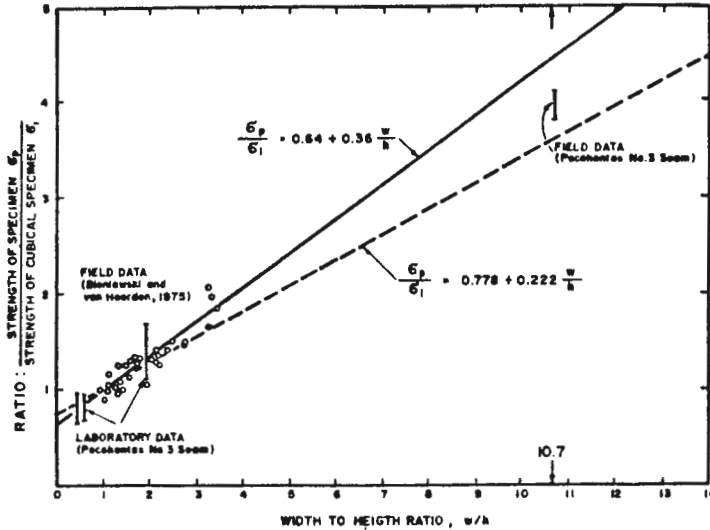
fig. 9. [5]



curve	sample size l x w x h (mm)	m (%)	$\bar{\sigma}_c$ (kPa)	$\bar{\sigma}_r$ (kPa)	Et1 (MPa)	Et3 (MPa)
A	180x180x90	12.3	2020	430	730	2160
B	130x130x260	29.7	1840	decr	790	1820
C	050x100	25.5	1410	decr	420	-

fig. 10. Spannings- vervormings kromen voor een modelpijler (A) (zie fig. 9), een blokmmonster (B) en een kern (C). m = vochtgehalte, $\bar{\sigma}_c$ is piek-druksterkte, $\bar{\sigma}_r$ = reststerkte. "decr.": reststerkte neemt continu af. E_{t1} is elasticiteitsmodulus eerste "reloading", E_{t3} is elasticiteitsmodulus derde "reloading" (zie fig. 4 en 9) [5]

Uit figuur 10 volgt dat de correctie factor voor de grootte >1 zou kunnen zijn. Echter, omdat het nog een hele stap is van een proefpijler (volume 3 dm³) naar een pijler (volume in orde 2000 - 30.000 dm³) nemen we een correctiefactor 1 aan. Correctie voor de vorm is een moeilijker probleem. Pijlers die erg breed zijn ten opzichte van hun hoogte zijn veel sterker dan slankere pijlers. Vooral in de kolenmijnbouw zijn hier proeven over gedaan, onder andere in-situ proeven waarbij pijlers steeds kleiner werden gemaakt, totdat ze bezweken. Ook op andere typen gesteente zijn proeven uitgevoerd. De pijlervorm wordt weergegeven door de breedte/ hoogte ratio, W/H (fig. 11).



Effect breedte-hoogte verhouding W/H op de sterkte van steenkool [14] fig. 11.

Een schatting van de sterkte van een pijler kan als volgt verkregen worden:

$$S_p = \text{kubusdruksterkte} \times (0.778 + 0.222 W/H)$$

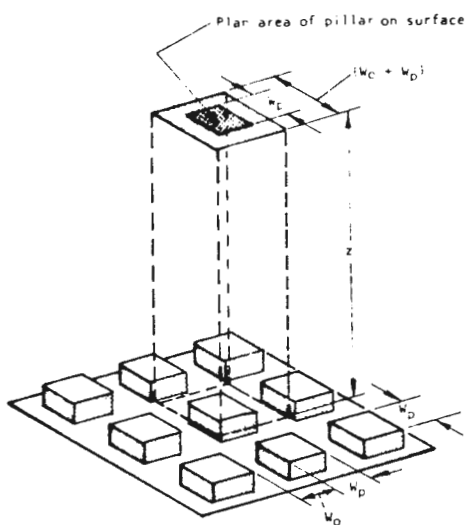


fig. 12.

Links de werkwijze bij de "tributary area theory". De last van het dak wordt gelijkmatig over de pijlers verdeeld [11]. Rechts de kaart van de "studentengrot" in de Geulhemmer mijn met de tributary areas aangegeven rond elke pijler [6].

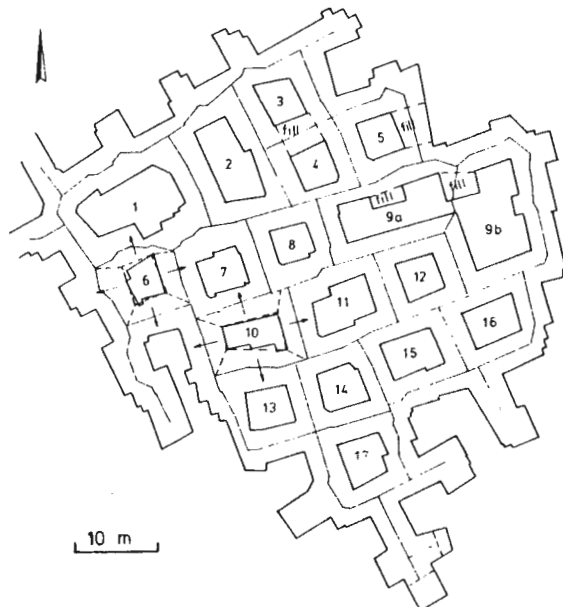
Tributary Area Theory [9,11]

Op de "studentengrot" in de Geulhemmer Mij is de zogenaamde "tributary area" methode toegepast (fig. 12). Elke pijler wordt een evenredig deel van de belasting toegeschreven. De spanning S op iedere pijler wordt berekend door het gewicht van elke kolom gesteente en grond die een pijler moet dragen te delen door het oppervlak van de pijler. De sterkte van de pijler (S_p) wordt vervolgens berekend (Tabel 2). De "veiligheidsfactor", F, is gedefinieerd door S_p/S. Is de spanning op een pijler groter dan de sterkte van die pijler, dan is F < 1. De pijler is dan volgens de theorie bezweken. Bij Geulhem zijn de pijlers 6 en 10 volgens de berekening bezweken. De berekening is nog een keer uitgevoerd, met de aanname dat 6 en 10 bezweken zijn, en nog een reststerkte hebben van 1/3 S_p. De omliggende pijlers moeten dan meer last dragen en de veiligheidsfactor F wordt dan ook lager, echter ze blijft > 1 (tabel 2B). In werkelijkheid zijn de pijlers 6, 10 en 12 bezweken. Pijler 12 heeft een variatie in hoogte langs de omtrek. Voor de vaststelling van de vormcorrectie factor is de gemiddelde hoogte gebruikt. Wellicht dat daarom geen F < 1 gevonden is [6].

De factor 1/F geeft de ratio S/S_p. In procenten uitgedrukt is dit het percentage spanning in de pijler ten opzichte van de sterkte van de pijler. De onderzoeksgroep die de opname gemaakt heeft [6], merkte op dat alle pijlers die meer dan 70% van hun sterkte belast zijn scheuren vertonen. Alleen pijler 16 is een uitzondering, maar daarvan wordt aangenomen dat de berekende belasting op die pijler te hoog is geschat [6]. De oorzaak voor het ontstaan van scheuren in deze pijlers wordt gezocht in kruip. Er wordt op gewezen dat deze pijlers al zo'n 130 jaar meer dan 70% van hun druksterkte belast worden [6].

Kruip deformatie van pijlers

Scheurvorming in pijlers belast boven 70% van hun druksterkte en de indicatie dat sommige pijlers deformerden (groei van scheurtjes,



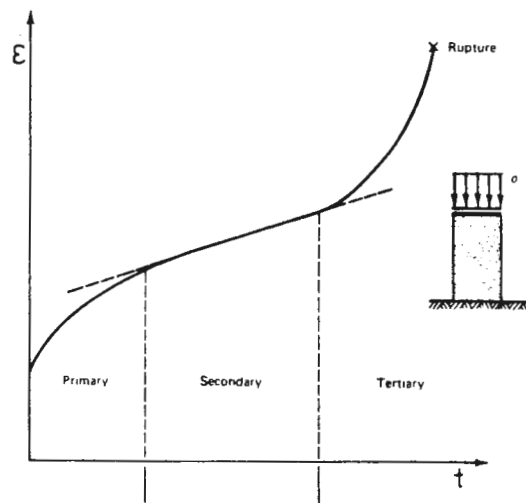
A										B		
Pillar no.	W	H	W/H	Nshape	Sp	S	F	1/F		F	1/F	%
1	4.7	2.31	2.03	1.22	2.98	1.69	1.8	57		1.7	60	
2	4.3	2.21	1.94	1.20	2.94	2.01	1.5	68		1.5	68	
3	4.1	1.84	2.22	1.27	3.11	2.45	1.3	79		1.3	79	
4	4.3	1.91	2.25	1.27	3.11	2.29	1.4	74		1.4	74	
5	4.2	1.83	2.29	1.28	3.13	2.54	1.2	81		1.2	81	
6	3.5	2.67	1.31	1.06	2.59	2.97	0.9	115		*	*	
7	4.0	2.18	1.83	1.18	3.87	2.49	1.5	64		1.2	86	
8	4.1	2.13	1.92	1.20	2.94	2.72	1.1	93		1.1	93	
9a	2.9	1.95	1.48	1.10	2.69	1.63	1.7	61		1.7	61	
9b	6.3	1.78	3.53	1.56	3.82	1.42	2.7	37		2.7	37	
10	2.2	2.25	0.97	0.99	2.42	2.84	0.9	117		*	*	
11	3.9	2.15	1.81	1.18	2.89	2.04	1.4	71		1.2	82	
12	3.9	2.57	1.51	1.11	2.72	2.33	1.2	86		1.2	86	
13	4.6	2.05	2.24	1.27	3.11	2.31	1.3	74		1.1	92	
14	4.7	2.68	1.75	1.16	2.84	2.11	1.3	74		1.3	74	
15	4.1	3.03	1.35	1.07	2.62	1.95	1.3	74		1.3	74	
16	4.4	2.64	1.66	1.14	2.79	1.97	1.4	71		1.4	71	
17	4.1	2.52	1.62	1.13	2.76	2.11	1.3	76		1.3	76	

Tabel 2 |6|

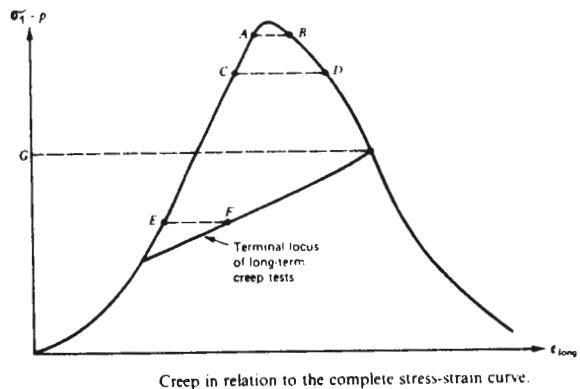
losraken van kalkdeeltjes, afbladderen langs pijlerwanden) wijst er op dat kruip deformatie plaatsvindt. Het langzaam met de tijd deformeren (tijdsafhankelijke deformatie) wordt kruip genoemd en is ook bekend uit de kolenmijnbouw [12]. Figuur 13 illustreert kruipgedrag. Vaak kan kruipgedrag door de volgende vergelijking beschreven worden:

$$\epsilon = (\text{vervorming}) = A + Bt + C \epsilon(t) \text{ (fig. 13 a)}$$

waarbij A de elastische vervorming op tijdstip $t=0$ is, Bt de "steady-state", of secundaire, kruip en $C \epsilon(t)$ de overgangs- of primaire kruip. Een term voor de tertiaire kruip is niet opgenomen, omdat deze in het laboratorium vaak zo snel plaatsvindt, dat ze niet te meten is. Bij pijlers in mijnen wordt de tertiaire fase, het bezwijken, vaak wel geregistreerd: er is een periode van versnelde beweging, gepaard gaand met kraken voor bezwijken, wat enkele uren of zelfs dagen voor het uiteindelijke bezwijken van de pijlers geregistreerd kan worden [12]. Ook de werkers in de Limburgse kalksteen bleven soms stil luisteren of ze soms kraken ("pitsen") hoorden, zo ja, dan maakte men zich uit de voeten omdat een instorting op komst was [5].



Te voorspellen wanneer een pijler die kruipt zal bezwijken is een moeilijke zaak. Het is bekend dat een pijler die hoger belast is relatief sneller kruipt en ook eerder bezwijkt. De complete stress-strain curve van de krijtkalk (fig.10) kan ons hierbij helpen (fig.13 b). Als een bepaalde vervorming door het kruipproces bereikt is, zal bezwijken plaatsvinden. Gebruiken we een geïdealiseerde bezwijkcurve, gebaseerd op figuur 9, dan kan geschat worden wat de maximale vervorming zal zijn voordat een pijler die kruipt zal bezwijken (fig.14).



Een schatting van de tijdsduur die er voor nodig is om tot bezwijken te komen: De pijlers in Geulhem, die 70% belast zijn zijn nog niet bezwaken, en staan al 130 jaar. De kruipsnelheid is dus langzamer dan $4/130 = 0.03$ millistrain per jaar ($\dot{\epsilon} = 10^{-7}$ /sec) (fig.14). (Dit betekent bij voorbeeld dat een pijler van 2 meter hoogte door kruip per jaar ongeveer $0.03 \times 2 = 0.06$ millimeter korter zou worden). Geen wonder dat bij de eerste pogingen om kruip te meten over een periode van enkele weken geen enkele verplaatsing gemeten is [6]! Het is duidelijk dat kruipproeven in het laboratorium en vooral ook metingen van kruipsnelheden in de groeven ons veel verder kunnen helpen wat betreft kruip, zodat we in de toekomst beter kunnen schatten wat de risico's zullen zijn.

fig. 13. |9|

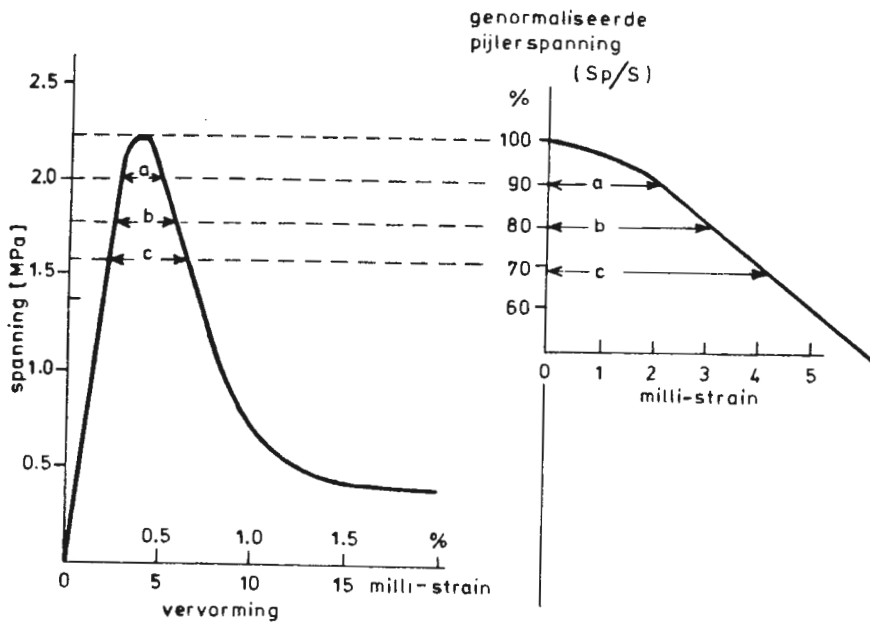


fig. 14. Links de geïdialiseerde spannings-vervormings kromme voor krijtkalk (zie tekst), rechts is de minimale vervorming die nodig is voordat een gesteekan bezwijkt ten gevolge van kruip weergegeven, als functie van de spanning in de pijler.

Instorting

Het bezwijken van pijlers kan een "domino-steen" effect hebben: doordat een pijler bezwijkt worden omgevende pijlers boven hun druksterkte belast en bezwijken ook. De delen die op deze wijze kunnen instorten en de volgorde van instorting kunnen worden voorspeld met behulp van de "tributary area theorie". Beek [4] heeft hiervoor een computerprogramma ontwikkeld. Venmans [5] heeft twee-dimensionale modelproeven gedaan met behulp van een "base-friction" apparaat om het bezwijken van room-and-pillar mijnen in krijtkalk te simuleren (fig. 15). Het bezwijken van een deel van

de mijnen hoeft niet direct oppervlakte verzakking tot gevolg te hebben. Wellicht volgt op bezwijken instorting van het dak, vaak kan echter een bovenliggende kalksteenlaag het ingestorte deel overspannen. Het is mogelijk om, na vaststelling van de sterkte en deformatie eigenschappen van de kalksteenlagen boven de mijnopeningen met behulp van elasticiteits-theorie een schatting te maken van de sterkte van het dak. Een voorbeeld van zo'n benadering:



fig. 15 |5|

In de "studentengrot" wordt het dak gevormd door een 30 cm dikke fossielrijke "hard ground" laag. Boven die laag zit een leemlaag. De 30 cm dikke laag is op veel plaatsen naar beneden gevallen (fig. 16). Wordt de hardgroundlaag als een "ingespannen balk" beschouwd dan is de maximale trekspanning die de balk kan hebben [12]:

$$\sigma_{t,max} = \frac{\gamma \cdot L^2}{2t}$$

waarbij $\sigma_{t,max}$ de maximale trekspanning is (c.q. de treksterkte), γ het volumegewicht, t de dikte en L de spanwijdte. Vullen we de waarden uit tabel 1 in:

$$0.20 = \frac{1.76 \times 9.8 \times 10^{-3} \times L^2}{2 \times 0.3} \quad \text{dan: } L = 2.6 \text{ m}$$

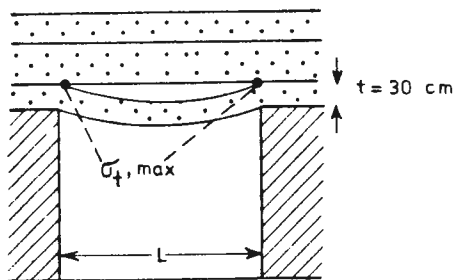
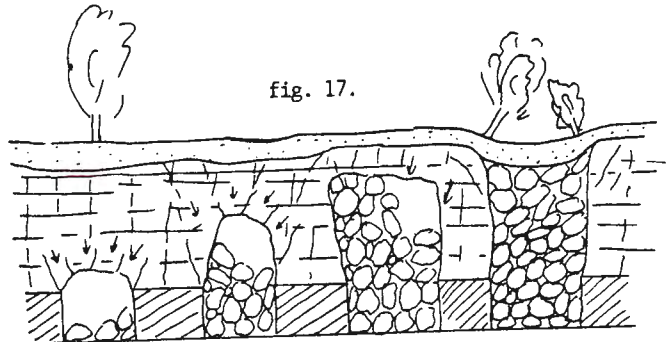


fig. 16.

Nu hebben "hardgroundlagen" vaak een grotere sterkte dan de gemiddelde krijtkalk. Venmans [5] vond een druksterkte van 23 MPa voor een hardground uit de Pietersberg. De bijbehorende treksterkte is rond de 2 MPa en de max. spanwijdte L wordt ruim 8 meter. Echter, de cementatiegraad binnen een hardground laag kan sterk variëren. Wil men precies weten wat de conditie van het dak is dan moet een nauwkeurige opname gemaakt worden van de structuur (diaklazen) en de laagopbouw. Bovendien speelt een rol hoe groot de horizontale in-situ spanningscomponent in het dak is. Antwoord op de laatste vraag zou verkregen kunnen worden door het uitvoeren van in-situ "flat jack" proeven: een mogelijkheid voor verder onderzoek! (zie de laatste paragraaf; fig. 19).

Bezwijkt het dak wel, dan is oppervlakte ver-zakking een logisch gevolg (fig. 15). Voorspelling van de grootte hiervan is moeilijk. Venmans noteerde waarnemingen over de instortingsgebieden van de Pietersberg [5]. Bij instorting kan rekening gehouden worden met een "bulking-factor" van 33%. Ingestorte mergelbrokken nemen ongeveer 33% meer volume in, dan de kalksteen in originele positie (fig. 17).



Instorten van het dak van een mijngang. De migrerende holte hoeft het oppervlak niet te bereiken als het puin (wat een groter volume inneemt dan het intacte gesteente) het dak van de holte bereikt.

Het is duidelijk dat het plaatsen van bouwwerken of andere extra belastingen boven de mijnen instorting tot gevolg kan hebben.

Voorkomen van instorting

Figuur 18 geeft een aantal mogelijke ondersteuningstechnieken. In de Pietersberg heeft men op sommige plaatsen een pijler "ommuurt". Zo'n muurtje kan alleen als functie hebben het dak te steunen. Is de pijler nog aan het bezwijken, dan heeft hij weinig aan de horizontale steundruk die zo'n muurtje geeft. Venmans [5] heeft waargenomen dat los gestorte grond tegen zwakke pijlers op sommige plaatsen voldoende steun leek te geven en verder bezwijken tegenhield. Ook dit onderwerp zal met verdere gesteente mechanische studie gebaat zijn: Hoeveel steundruk is nodig om een pijler uit de geveerzone te halen en zijn sterkte (S_p) te verhogen, opdat $S/S_p < 70\%$?

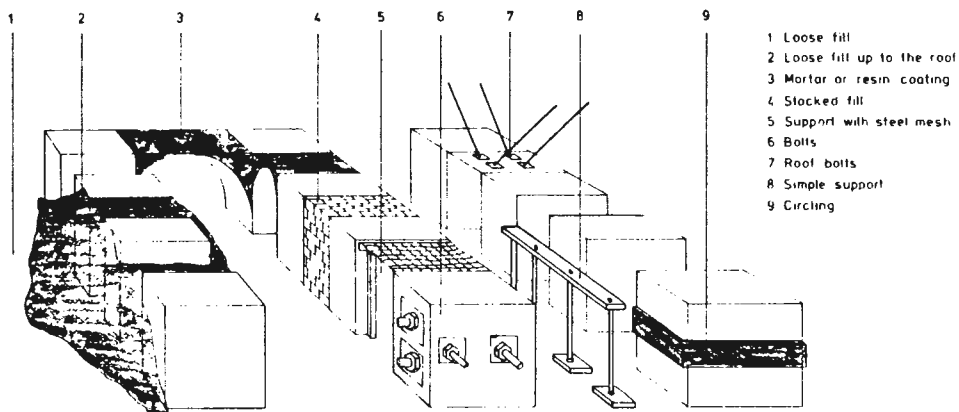


fig. 18. |6|

Tenslotte

Hopelijk is uit het bovenstaande naar voren gekomen dat de situatie van de oude mijnen in de krijtkalk zich zeer goed leent voor een gesteente mechanische studie. Met behulp van de "tributary area methode" is vast te stellen welke zones gevaar lopen en waar het gevaar het grootst is. Met behulp van de beschikbare kaarten van de mijnen in de omgeving van Valkenburg en Sibbe zouden "hazard maps" gemaakt kunnen worden.

In-situ instrumentatie in gebieden waar kruip optreedt kan veel informatie verschaffen. Hierbij kan vooral gedacht worden aan verplaatsingsmetingen tussen vaste punten. Dergelijke metingen moeten op gezette tijden, over een lange periode (jaren), met een hoge nauwkeurigheidsgraad (0.01 mm), uitgevoerd worden. In-situ kruipproeven en kruipproeven op laboratorium-schaal (het liefst ondergronds in een kalksteen mijn) moeten opgezet worden. Daarbij moet aan zeer lange termijn proeven gedacht worden (jaren). Van belang is tevens uit te zoeken wat voor deformatiemechanisme een rol speelt bij kruip (onregelmatige scheurgroei?, collapse van poriënruimte?). Binnenkort kan de nieuwe 50 kN servo-gestuurde drukbank in gebruik genomen worden. De eerste proeven zullen zeker krijtkalk betreffen en gericht zijn op het bepalen van de volledige spannings- vervormings kromme (fig.14).

Op grotere schaal, in de mijnen zelf, worden binnenkort weer plaatbelastingproeven uitgevoerd om het effect van schaal op sterkte en deformatie te meten. Een nieuwe ontwikkeling zou kunnen zijn "flat jack" testen te doen. Een flat jack is een dubbelwandige platte doos die in een uitgezoopte gleuf in het gesteente geplaatst kan worden [9,15]. De doos is gevuld met olie. Met behulp van een pomp kan de doos onder spanning gebracht worden. Met de flat jack is het mogelijk de in-situ spanningscomponent loodrecht op de doos te bepalen en bovendien, als verplaatsingsopnemers in de doos geplaatst zijn, gegevens over de deformatiemodulus te verkrijgen (fig.19).

Er is nog veel werk te doen in de kalksteenmijnen. Dat werk zien we met plezier tegemoet. Niet alleen uit vakinteresse. Zoals Ir. van Schaik in 1938 al schreef hebben de "grotten" een grote cultuurhistorische waarde [8]. Het is fascinerend om in de "grotten" te werken en geconfronteerd te worden met tekeningen en krabbels uit de middeleeuwen of een recenter verleden. Een van de redenen om ze in stand - en overeind - te houden.

Literatuur verwijzingen

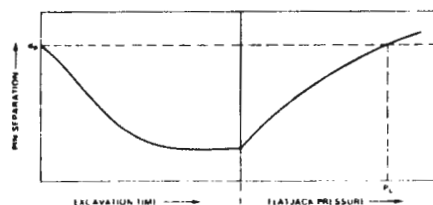
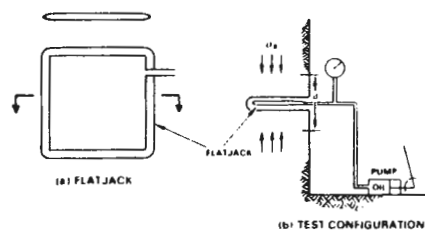
[1] Price, D.G. et al (1983): "Engineering Geological Properties of Maastrichtian Chalk, ENCI Quarry, Maastricht. Mededelingen Ingenieursgeologie Delft (Med.Ing.Geol.), 21, 263 pp.

[2] Beek, M.v. et al (1984): "Engineering Geological Properties of Maastrichtian Chalk, ENCI Quarry, Maastricht, Phase 2, Med.Ing.Geol., 24, 110 pp.

[3] Amerika, A. et al (1985): "Engineering Geological Properties of Maastrichtian Chalk", ENCI Quarry, Maastricht, Phase 3, Med.Ing.Geol., 26, 123 pp.

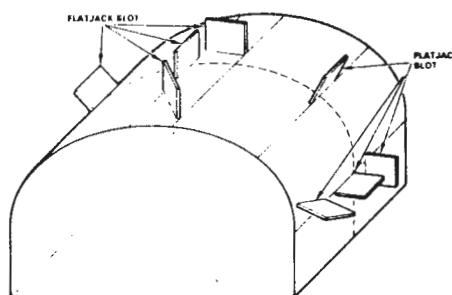
[4] Beek, M.van (1985): "Stabiliteit van verlaten mijnen". Computerevaluatie en modelproeven. Med.Ing.Geol., 27, pp. 209.

[5] Venmans, A. (1985): "Instability in the St.Pietersberg room and pillar workings. Model tests on a newly developed base friction machine and literature study". Med.Ing.Geol., 28, pp 125.



(c) PIN SEPARATION VERSUS SLOT EXCAVATION TIME AND FLATJACK PRESSURE (NOTICE IDENTIFICATION OF CANCELLATION PRESSURE P_c)

The flatjack test (a) Flatjack (b) Test configuration (c) Pin separation vs slot excavation and flatjack pressure (notice identification of cancellation pressure, P_c)



Example of the layout of slots for flatjack tests

fig. 19. [15]

[6] Deibel I. et al (1987): "Report of the fieldwork in the Geulhemer Mine", Med.Ing.Geol., in voorbereiding.

[7] Lap, J. et al (1987): "Engineering Geological investigation of the Nekami Quarry", Med.Ing.Geol., in voorbereiding.

[8] Schaik, D.C. van (1938): "De Sint Pietersberg", Leiter-Nijpels, Maastricht, 388 pp.

[9] Goodman, R.E. (1980): Introduction to rock mechanics, Wiley, New York.

[10] Farmer, I.W. (1983): Engineering behaviour of rocks. Chapman and Hall, 204 pp.

[11] Hoek E. and Brown, E.T. (1980): "Underground excavations in rock". Institution of Mining and Metallurgy, London.

[12] Obert, L. and Duvel, W.I. (1967): "Rock mechanics and the design of structures in rock". Wiley, New York, 650 pp.

[13] Heuze, F.E. (1980): "Scale effects in the determination of rock mass strength and deformability". Rock Mechanics, 12, 167 - 192.

[14] Bieniawski, Z.T. (1984): "Rock mechanics design in mining and tunneling" Balkema, Rotterdam, 272 pp.

[15] ISRM (1987): "Suggested Methods for Rock Stress determination, Method 1: suggested method for rock stress determination using a "flat jack" technique". Int.J.Rock Mech. Min. Sci., 24, 53-59.

ROCK MECHANICS SEMINARS

De faculteit Mijnbouwkunde en Petroleumwinning beschouwt de toegepaste gesteentemechanica als een van haar belangrijkste onderzoeksvelden, aangezien beide vakgroepen van de faculteit gesteentemechanisch onderzoek doen.

Om het contact met anderen die belangstelling hebben in de gesteentemechanica te stimuleren is een "seminar" opgezet. Elke maand in het collegejaar wordt een bijeenkomst georganiseerd, waar een of twee sprekers verslag doen van hun onderzoek. Inmiddels heeft de eerste bijeenkomst plaatsgevonden. Belangstelling is getoond door onderzoekers van de universiteiten en bedrijfsleven (o.a. Shell-K.S.E.P.L, Grondmechanica Delft, Kon.Volker Stevin Bagger Mij, AKZO-Chemie). De organisatoren van de seminars zijn:

- Prof.D.G.Price, TUD-Mijnbouw (Ingeokring, K.N.G.M.G.)
- Prof.ir. J.de Koning, TUD-Werktuigbouw (Central Dredging Association)
- Prof.ir. P.van Leeuwen, TUD-Mijnbouw (Koninklijk Instituut van Ingenieurs, Afd. Mijnbouw)
- Prof.ir.H.P.S. van Lohuizen, TUD-Civiele Techniek (K.I.V.I., tunneltechniek)
- Dr.N.Rengers, I.T.C. (International Society of Rock Mechanics)
- Dr. C.Spiers, R.U.U. (Structural Geology).

Het programma voor de komende maanden is als volgt:

- 29 april: Dr.C.Spiers (Utrecht): "H.P.T. experimenten"
Dr.H. Stel (V.U.,A'dam): "Paleo stress metingen in kalksteen"
- 13 mei: Dr.ir.F.B.J.Barends en Ir.A.H.Nooy van der Kolff (Grondmechanica Delft): "Triaxial testing of reservoir rock and its application in subsidence predictions"
- 11 juni: Dr.H.W.M. Witlox (K.S.E.P.L., Rijswijk)
"Finite element models of faults"
Dr.I.v.d.Molen (K.S.E.P.L.): "Growth of faults in sand observed with tomography"

De bijeenkomsten vinden plaats in de faculteit Mijnbouwkunde, Mijnbouwstraat 120, Delft; zaal E, 15.30 - 17.30 uur.

Belangstellenden kunnen zich opgeven bij de secretaris van de seminars, Drs. P.N.W. Verhoef, Fac. Mijnbouwkunde en Petroleumwinning, Postbus 5028, 2600 GA Delft. Ze worden opgenomen in het adressenbestand en krijgen automatisch uitnodigingen met samenvattingen van de lezingen toegestuurd.

O R E P R O C E S S I N G
by S.K. JAIN

distributed by: A.A. Balkema, P.O.Box 1675,
NL-3000 BR Rotterdam,
price: Hfl. 84,80 or US\$ 41.00
(incl 6% BTW)

The author, Dr. S.K. Jain, completed his education in metallurgical engineering at the Banaras Hindu University, India in 1971. He is also the author and/or co-author of **An Introduction to Metallurgical Analysis, Chemistry for Engineers and Material Science and Manufacturing Process**. He is presently a Reader in Metallurgical Engineering at the Malaviya Regional Engineering College at Jaipur, India.

"This book is intended to serve as a bridge between the study of the basic principles of ore processing and their application in industry". After reading this opening statement by the author the reader with an interest in mineral processing will have wetted his appetite, as very few books are able to present a well balanced picture for the above mentioned two applications. All unit operations of mineral processing are described in chapters that are approximately thirty pages long. This implies that the reader can get a good grasp of the principles of various unit operations such as crushing, grinding, classification, dense media separation, gravity concentration, magnetic and electrical concentration and solid/liquid separation in a relative short period of time. The most important unit operation of mineral processing viz. flotation is given due consideration, as twenty five percent of the book deals with this subject. The well written chapter on the application of ore microscopy in processing of ores is out of place at the end of the book. A combination with the mineral liberation chapter would have been more logical. The chapter that deals with flowsheets for the processing of various important ores is very brief and therefore should not be considered representative for the industry. Moreover the flowsheets that are discussed are not representative for the large scale of combinations and the range of complexities of the mineral industry. The last two chapters deal also with important subjects such as sampling, automation, plant layout

and equipment selection. Unfortunately they are too brief to be representative for an elaborate description of the application in industry. Information presented in these two chapters is outdated and does not represent the current status of developments in mineral processing.

There are indications that parts of this book were written with the benefit of textbooks from Eastern Europe, rather than Western Europe or Northern America. A.F. Taggart was THE mineral processing specialist just before and after the second world war. As often happens with translations from English into Russian and back, names are often misspelled. So Taggart became Taggort en M. Rey became M. Ray. The bibliography listed for the description of the Climax Mill near Denver, Colorado was obtained from the Russian textbook on flotation by V.A. Glembotski, V.I. Klassen and I.N. Plaksin! One has to assume that the author has not been able to locate one of the many articles written about the Climax Mill and published in various American or West European journals or books. The bulk of the limited number of references quoted by the author are dated in the late sixties or early seventies. This means that most of the developments that occurred during the last fifteen to twenty years have not been covered by Dr. Jain.

The three chapters on flotation: Flotation-History and Theory, Flotation Reagents and their Action and Flotation Practice and Machines is an excellent compilation of the subject matter. It provides a balance between theory and practice and this part of the book is recommended for everyone interested in various aspects of flotation.

The layout of the book is pleasing for the reader, but the quality of the illustrations is not excellent and can be improved in future editions.

Discussing the contents of Ore Processing in some more detail, the following observations are offered. The discussion about economic recovery in the second chapter can be enhanced if typical examples of smelter schedules and mill operating costs are provided. This is especially important in view of the ever declining ore grades.

The reader's appetite for the application of the theoretical information is not only wetted by the understandable English that is used but also by a number of examples. Unfortunately not all the examples utilize up to date information. This is shown by the example to calculate the weight of a sample of a 6-gram-per-ton gold ore that is required to assure a correctness of sampling to 0.02 gram per ton. The author's calculation shows that a sample weight of 265 gram should be sufficient. Using the sampling theories developed by Gy and accepted throughout the world, Gy's fast slide rule calculator shows, that one would require approximately 50 kilogram! The author did not discuss any of the extensive number of liberation models that have been and are being developed for use in ore size reduction. One dimensional models are simple and straight forward and will show the student the potential benefit of using such an approach immediately.

Practical recommendations for efficient operation of various pieces of equipment provides an excellent help for the graduate who uses this book as an ore processing reference manual. The crushing principles are well described and gives the reader a total view of most of the available options. Advanced methods, such as cryogenic crushing could have been included to provide the reader with an opportunity for some novel approaches.

The grinding chapter gives a good description of what is involved in this phase of ore size reduction. It is not clear whether the formula for mill critical speed is correct, but this is not critical for the practical operator. From a student's and basic principle point of view it would have been helpful had the author presented the theoretical derivation of this formula. The material on mill sizing is well balanced and to the point. Extensive use has been made of industry literature from non-Eastern European origin. With the present day cost of energy one would have liked to have more information available on the complexities of the energy requirements in grinding. After trials by a large number of operators it has been generally accepted that autogenous grinding does not provide a significant reduction in grinding energy requirements.

The main reason is a reduction in mill throughput that is caused by the abnormal distribution of grinding media. To alleviate this problem operators have reintroduced small quantities of steel balls into autogenous circuits, resulting in a grinding process of semi-autogenous grinding. It is not obvious from the text why the author prefers to describe ball milling before rod milling. This is not the normal sequence in mineral processing plants. Once again the practical advice given will be extremely helpful for the mill operating engineer.

The theoretical background needed to describe the movement of solids in fluids is concise and specific. This gives a good basis for the subsequent study of classification, dense medium and gravity separation.

The section on flotation is well balanced in terms of history, theory and practice. The extensive outline on flotation chemicals makes this a very helpful tool for those not yet experienced in the art AND science of flotation. The flotation section should be considered the most significant achievement of the book. It easily could stand by itself as a flotation reference manual. Some high quality photographs of flotation equipment may be all that is needed.

The chapter on chemical processing of ores does not contribute to the overall level of this publication. For example it omits to a large extent the significant developments that have taken place in the copper world, where solvent extraction of leach liquors has virtually changed the industry. Major efforts on the development for new processes to treat chalcopyrite concentrates, such as the Arbiter, Clear, Cyprus and ferric chloride processes have been excluded by the author. The hydrometallurgy of zinc is not addressed. This is in contrast to the Caron process for nickel laterites. The chapter on ore microscopy will serve as an excellent introduction to this subject, although the latest developments in terms of chemical analysis by microprobe and scanning electron microscopes has not been mentioned.

To serve as a true reference manual the chapter on process flowsheets for the various ores should have been more elaborate. For student use it is probably sufficient.

The weakest section of Ore Processing are the last two chapters that deal mainly with aspects that could and should be of interest to the practicing mineral processing engineer. Standard textbooks by others that were published thirty or forty years ago address this aspect better than the author. The author indicates that "continuous analysis of pulp by X-ray Fluorescence is becoming popular". This may be so for India but surely not for the rest of the world, including Africa and South America where Courier on-line analysis systems by Outokumpu of Finland are present in nearly every single mineral processing plant.

This book has some shortcomings, but for students who are learning the subject and non-ore dressing professionals who would like to know more about the basics of mineral processing, it can serve as an excellent starting point.

Willem P C Duyvesteyn

