

## DIRECTIVES POUR L'EXECUTION D'ESSAIS DE RESISTANCE DES ROCHES

### SOMMAIRE

*Considérations sur les essais sur roches dans l'exploitation minière* par R. Liégeois, Ingénieur Principal à Inichar.

1. *Introduction.*
2. *Etude des roches des terrains houillers en Belgique.*
  21. Etudes d'ensemble.
  22. Etudes particulières dans les travaux du fond.
  23. Mesures en surface de la résistance à la compression.
3. *Commentaires des directives proprement dites.*
  31. Méthode d'étude.
  32. Echantillons.
4. *Les roches tendres et friables du Houiller de Belgique.*
  41. Importance relative des essais de surface.
  42. Choix des essais.
  43. Ecrasement de cubes.
  44. Altération par l'eau.
5. *Conclusion.*

ANNEXES — INTERNATIONALES BUERO FUER GEBIRGSMECHANIK DER DEUTSCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN ZU BERLIN.

- *Directives pour l'exécution d'essais de compression des roches dans l'exploitation minière.*
- *Directives pour la détermination de la résistance des roches à la traction dans l'exploitation minière.*
- *Directives pour l'exécution d'essais de cisaillement des roches dans l'exploitation minière.*

*Commentaires des directives*, par R. Liégeois, Ingénieur Principal à Inichar.

## RICHTLIJNEN VOOR HET UITVOEREN VAN WEERSTANDPROEVEN OP ROTSEN

### INHOUDSTAFEL

*Bedenkingen over de weerstandproeven op rotsen in mijnontginningen*, door R. Liégeois, Eerstaanwezend Ingenieur bij Inichar.

1. *Inleiding.*
2. *Studie der gesteenten van het Belgisch kolengebergte.*
  21. Algemene studies.
  22. Bijzondere studies in de ondergrondse werken.
  23. Meting van de weerstand tegen druk op de bovengrond.
3. *Commentaar op de eigenlijke richtlijnen.*
  31. Studiemethoden.
  32. Monsters.
  33. Snelheid van het opkomen der belasting.
4. *De welke en brokkelige gesteenten van het Belgisch kolenterrein.*
  41. Het relatieve belang van de proeven op de bovengrond.
  42. Keuze der proeven.
  43. Verplettering van de kubussen.
  44. Verwering door het water.
5. *Besluiten.*

BIJLAGEN — INTERNATIONALES BUERO FUER GEBIRGSMECHANIK DER DEUTSCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN ZU BERLIN.

- *Richtlijnen voor het uitvoeren van drukproeven op gesteenten in mijnontginningen.*
- *Richtlijnen voor het bepalen van de trekweerstand van gesteenten in mijnontginningen.*
- *Richtlijnen voor het uitvoeren van schuifproeven op gesteenten in mijnontginningen.*

*Commentaar bij de richtlijnen*, door R. Liégeois, Eerstaanwezend Ingenieur bij Inichar.

## CONSIDERATIONS SUR LES ESSAIS SUR ROCHES DANS L'EXPLOITATION MINIÈRE

par R. LIEGEOIS,

Ingénieur Principal à INICHAR.

## BEDENKINGEN OVER DE WEERSTANDPROEVEN OP ROTSEN IN MIJNONTGINNINGEN

door R. LIEGEOIS,

Eerstaanwendend Ingenieur bij INICHAR.

### 1. INTRODUCTION

Nous n'avons pas connaissance de normes ou de directives belges pour l'exécution d'essais de résistance des roches dans l'exploitation minière. Il semble que l'on n'ait pas encore normalisé les essais de résistance de matériaux pierreux bien que de tels essais soient fréquemment exigés et exécutés lors de travaux de construction. A l'occasion de recherches relatives au soutènement des chantiers d'exploitation, l'Institut National de l'Industrie Charbonnière a eu très souvent recours à l'examen des roches en place et au laboratoire. Les ingénieurs de l'Institut ont participé à de nombreux Colloques sur la mécanique des roches et les pressions de terrains.

Parmi les Comités Scientifiques où la Belgique est présentée par Inichar se trouve le Bureau International de la Mécanique des Roches (Internationales Büro für Gebirgsmechanik) attaché à l'Académie des Sciences de Berlin. Ce Bureau réunit chaque année à Leipzig une Conférence Internationale à laquelle participent des représentants de 15 à 20 nations réparties principalement dans toute l'Europe et en Afrique du Sud.

A l'occasion de la réunion de 1958, le Bureau a constaté qu'il y avait grand intérêt à rendre comparables les résultats des recherches entreprises dans les différents pays participant aux réunions internationales. A cet effet, il était nécessaire que tous s'expriment en des termes techniques connus de chacun et il était important que les processus d'étude fassent l'objet d'une diffusion internationale. Les quatre premières commissions créées dans un but de compréhension réciproque ont eu à s'occuper des sujets ci-après :

1. Terminologie.
2. Technique de mesures dans les exploitations minières.
3. Essais de résistance.
4. Méthodes mathématiques.

### 1. INLEIDING

Voor zover wij weten bestaan er geen Belgische normen voor het uitvoeren van weerstandproeven op rotsen in mijnontginningen. Het schijnt dat de weerstandproeven op steenachtige materialen nog niet genormaliseerd zijn, alhoewel soortgelijke proeven dikwijls worden opgelegd en ook uitgevoerd in het bouwbedrijf. Het Nationaal Instituut voor Steenkolenijverheid heeft ter gelegenheid van opzoekingswerk aangaande de ondersteuning in de afbouwwerkplaatsen zeer dikwijls proeven verricht op het gesteente, zowel ter plaatse als in het laboratorium. De ingenieurs van het Instituut namen deel aan talrijke colloquia over de mechanica der gesteenten en de terreindrukkingen.

Bij de Wetenschappelijke Comités waarin België door Inichar vertegenwoordigd wordt hoort het Internationaal Bureau voor de Mechanica der Gesteenten (Internationales Büro für Gebirgsmechanik) verbonden aan de Academie voor Wetenschappen van Berlijn. Dit Bureau richt elk jaar te Leipzig een Internationale Conferentie in, waaraan wordt deelgenomen door de vertegenwoordigers van 15 tot 20 landen hoofdzakelijk gelegen in alle delen van Europa en in Zuid-Afrika.

Tijdens de vergadering van 1958 heeft het Bureau vastgesteld dat men er alle belang bij had de uitslagen bekomen door de verschillende landen die aan de internationale bijeenkomsten deelnemen onderling vergelijkbaar te maken. Daarom was vereist dat allen zich zouden uitdrukken in technische termen die aan iedereen bekend zijn en was het ook belangrijk dat de studieprocessussen internationaal zouden bekend gemaakt worden. De eerste vier commissies die voor taak hadden het wederzijds begrip te verstevigen dienden zich met de volgende onderwerpen bezig te houden :

1. Terminologie.
2. Meettechniek in de mijnontginningen.
3. Weerstandproeven.
4. Mathematische methoden.

Les membres de ces diverses commissions furent désignés en raison de leur compétence.

En ce qui concerne le groupe de travail « Essais de résistance », ont été désignés des représentants d'Allemagne, de la France, de la Grande-Bretagne, de l'Autriche, de la Tchécoslovaquie, de la Hongrie et de l'Union des Républiques Socialistes Soviétiques. En outre, un représentant de la Pologne et un représentant de l'Afrique du Sud ont participé aux travaux.

Le groupe de travail a mis au point un texte provisoire de directives relatives aux essais de compression, aux essais de traction et aux essais de cisaillement. Le texte a été transmis aux membres du Bureau ne faisant pas partie d'une manière permanente du Groupe de Travail. Il en est résulté un projet de texte définitif que les représentants des différents pays se sont engagés à soumettre à la critique par la voie de la presse de manière que chacun puisse faire connaître son avis.

On trouvera donc, en annexe, le texte des directives pour l'exécution d'essais de compression des roches, pour la détermination de la résistance des roches à la traction et pour l'exécution d'essais de cisaillement de roches dans l'exploitation minière. Le texte de ces directives est suivi d'un commentaire rédigé à l'intention du Groupe de Travail chargé de la rédaction du texte définitif.

Nous croyons toutefois opportun de présenter ici quelques commentaires plus détaillés des essais de résistance tels qu'ils ont été effectués jusqu'ici par l'Institut National de l'Industrie Charbonnière et des essais de résistance tels qu'ils sont proposés dans le projet des Directives du Bureau International de la Mécanique des Roches.

## 2. ETUDE DES ROCHES DES TERRAINS HOUILLERS EN BELGIQUE

### 21. Etudes d'ensemble.

Le Service Géologique de Belgique a notamment dans ses attributions l'étude des roches des terrains carbonifères dans lesquels ont lieu les exploitations de houille dans les bassins belges du Sud et de la Campine. Le Service Géologique de Belgique dispose à cet effet des renseignements recueillis lors des sondages et à l'occasion des travaux de creusement dans les exploitations souterraines. Des cartes géologiques, des plans et des coupes très détaillés ont pu être établis grâce à la collaboration du Service Géologique de Belgique, de l'Administration des Mines, de la Direction des Mines et de leurs géomètres. L'Association pour l'Etude de la Paléontologie et de la Stratigraphie Houillères a procédé dans ses laboratoires

De leden van deze verschillende commissies werden gekozen in functie van hun bevoegdheid.

De werkgroep « Weerstandproeven » was samengesteld uit de vertegenwoordigers van Duitsland, Frankrijk, Engeland, Oostenrijk, Tsjekoslovakije, Hongarije en de Unie der Socialistische Sovjetrepublieken. Daarenboven hebben een vertegenwoordiger van Polen en één van Zuid-Afrika aan de werkzaamheden deelgenomen.

De werkgroep heeft een voorlopige tekst van onderrichtingen uitgewerkt betreffende proeven op druk, op trek en op afschuiving. Deze tekst werd gezonden aan de leden van het Bureau die niet op permanente wijze van de werkgroep deel uitmaken. Daaruit ontstond een definitief ontwerp dat de vertegenwoordigers der verschillende landen door publikatie in de pers aan de kritiek willen onderwerpen zodat iedereen de gelegenheid heeft zijn mening te laten horen.

Men vindt bijgevolg in bijlage de tekst van de onderrichtingen voor het uitvoeren van drukproeven op gesteenten, voor het bepalen van hun trekweerstand, en voor het verrichten van afschuivingsproeven op gesteenten uit de mijnen. Op de tekst der onderrichtingen volgt een commentaar bestemd voor de Werkgroep die belast is met het opstellen van de definitieve tekst.

Wij nemen nochtans dat het goed is hier wat verder in te gaan op de weerstandproeven zoals ze tot nu toe door het Nationaal Instituut voor de Steenkolenijverheid werden uitgevoerd en de weerstandproeven die in het ontwerp van de Richtlijnen van het Internationaal Bureau voor de Mechanica der gesteenten worden voorgesteld.

## 2. STUDIE DER GESTEENTEN VAN HET BELGISCH KOLENBERGTE

### 21. Algemene studies.

De Aardkundige Dienst van België is onder meer belast met de studie der gesteenten in die delen van het kolengebte waarin de Belgische mijnbeekens van het Zuiden en de Kempen gelegen zijn. Hiertoe beschikt hij over de gegevens van de diepboringen en die welke men bekomt bij het vooruitdrijven van de ondergrondse ontginningswerken. De samenwerking tussen de Aardkundige Dienst van België, de Administratie van het Mijnwezen en de Directies der kolenmijnen en hun mijnmeters heeft geleid tot het opstellen van zeer gedetailleerde aardkundige kaarten, plans en doorsneden. De Vereniging voor de Studie van de Paleontologie en de Kolenstratigrafie heeft in haar laboratoria petrografische studies ver-

à l'étude pétrographique d'un certain nombre d'échantillons des roches afin de mieux connaître les conditions de dépôt des terrains houillers et de mieux comprendre les associations paléontologiques dont elle avait entrepris l'étude d'une manière assez systématique. Les travaux de cette Association ont été poursuivis par le Comité National de Géologie. La Société Géologique de Belgique et la Société Belge de Géologie, d'Hydrologie et de Paléontologie publient régulièrement des communications présentées aux réunions de ces sociétés et ayant trait à la géologie des terrains houillers. Les Annales des Mines de Belgique assurent, pour leur part, la publication de très nombreux articles relatifs à la géologie du Houiller et aux problèmes d'exploitation qui y sont liés.

## 22. Etudes particulières dans les travaux du fond.

L'exploitation rationnelle d'une ressource minérale est fondée principalement sur la connaissance du gisement; la découpe du gisement et le plan d'exploitation en découlent. Il est donc important que le gisement soit bien connu dans chaque concession, compte tenu des renseignements acquis en cours d'exploitation dans les concessions voisines. La tenue des plans est confiée à un géomètre attaché à la mine. La Direction de la mine et la Direction des travaux ont, grâce aux plans, une parfaite connaissance des exploitations en cours et des exploitations passées ou futures. Certaines sociétés se font assister temporairement ou d'une manière permanente par un géologue. Ce spécialiste a généralement pour mission principale les études préalables à de nouvelles exploitations dans le prolongement de panneaux explorés.

En dehors de ces grands travaux de prévision ou de synthèse, la connaissance des roches est primordiale dans l'exploitation minière de tous les jours. Dans chaque chantier se pose à nouveau le problème de la tenue des voies et du contrôle du toit des longues tailles. Chaque réussite, chaque échec aussi démontrent combien il importe d'adapter le soutènement des tailles et des voies à la qualité des roches. Or, l'examen des roches dans la mine se fait encore très souvent d'une manière empirique et superficielle. D'autres fois, l'examen est au contraire très poussé par d'éminents spécialistes du laboratoire, mais les résultats de ces investigations doivent être mis à la portée du mineur par quelqu'un qui connaît la mine. Mieux, les études in situ et au laboratoire doivent être guidées par un mineur et exécutées par l'industrie charbonnière elle-même.

De telles études ont été entreprises d'une façon systématique par l'Institut National de l'Industrie

richt op een aantal steenmonsters ten einde meer inlichtingen te bekomen aangaande de omstandigheden waarin de kolengesteenten werden afgezet en een beter inzicht te verkrijgen in de paleontologische associaties die ze op nogal systematische wijze is gaan bestuderen. De werkzaamheden van deze Vereniging werden voortgezet door het Nationaal Comité voor Aardkunde. De Aardkundige Vereniging van België en de Belgische Vereniging voor Aardkunde, Hydrologie en Paleontologie publiceren regelmatig de mededelingen die tijdens hun vergaderingen betreffende de geologie van het kolengebergte worden verstrekt. Van hun kant verzorgen de Annales der Mijnen van België de publikatie van een groot aantal artikels aangaande de aardkunde van het kolenterrein en de exploitatiemoeilijkheden die daarmee verband houden.

## 22. Bijzondere studies in de ondergrondse werken.

De rationele ontginning van een minerale afzetting steunt hoofdzakelijk op de kennis van deze afzetting; uit deze kennis volgt de manier waarop de afzetting wordt verdeeld en het plan volgens hetwelk ze wordt ontgonnen. Het is dus nodig dat de afzetting in elke concessie goed gekend is, waarbij gebruik gemaakt wordt van de kennis verworven tijdens de ontginningswerken in de naburige concessies. De plans worden bijgehouden door een mijnmeter die aan de onderneming verbonden is. De directie der mijn en de Directeur der werken weten dank zij deze plannen alles over de tegenwoordige, de verleden en de toekomstige ontginningen. Sommige maatschappijen nemen tijdelijk of blijvend een aardkundige in dienst; zijn voornaamste taak bestaat meestal in voorbereidende studies met het oog op nieuwe ontginningen in het verlengde van de gekende streken.

Niet alleen voor deze grote werken in verband met de vooruitzichten en de samenordering, doch ook voor het dagelijks werk in de ondergrond is de kennis van het gesteente van primordiaal belang. In elke werkplaats heeft men telkens weer af te rekenen met het probleem van de houding der galerijen en de dakcontrole in de lange pijlers. Uit elk succes en evenzeer uit elke mislukking blijkt hoe belangrijk het is de ondersteuning in pijlers en galerijen aan de kwaliteit van het gesteente aan te passen. Nu is het echter zo dat de studie van het gesteente in de mijnen dikwijls empirisch en oppervlakkig gebeurt. Wel zijn er eminente specialisten die zeer ver gaan in het laboratoriumonderzoek; maar de kennissen die zij met hun speurwerk verkrijgen zouden in het bereik van de mijnontginners moeten gebracht worden door iemand die de mijn kent. Beter nog,

Charbonnière dès la création de cet Institut. Une vaste campagne de mesures a eu lieu au cours des années 1954 et 1955. On a procédé à plus de 250 mesures dans plus de 40 tailles des bassins de Campine, de Liège et de Charleroi. Il s'agissait de mesures au fond réalisées au moyen d'un matériel spécial de poinçonnage qui a été décrit lors des « Journées des Epontes et du Soutènement » organisées par Inichar les 2 et 3 juin 1955. Les textes des communications présentées à cette occasion par MM. Venter, Stassen, Hausman et Liégeois ont été publiés dans les n<sup>os</sup> 4 et 5 des Annales des Mines de Belgique de 1955. On y décrit notamment les essais de poinçonnage, les essais de compression simple sur cube de roches et quelques résultats d'analyse pétrographique.

Les essais de poinçonnage ont été effectués au moyen d'une presse hydraulique dynamométrique. Cette presse présente l'avantage de se comporter en taille de la même manière qu'un étançon (sauf que l'effort appliqué par l'opérateur est appliqué en un temps relativement court). Un mur est considéré comme poinçonné sous une charge déterminée lorsque la presse s'enfonce d'au moins 10 cm sous cette charge, mais il n'est pas tenu compte uniquement de cette valeur pour classifier le mur d'une taille; on analyse soigneusement tous les diagrammes de pénétration en fonction des charges en tenant compte de la surface d'appui de la presse sur le mur et en tenant compte également de différents facteurs dont on a pu déterminer l'influence sur la résistance des murs au poinçonnage. Pour apprécier la résistance d'un mur de taille, il est indispensable d'effectuer une série d'essais le long du front de taille et, localement, perpendiculairement au front dans les différentes allées.

Il est toujours possible de munir la presse dynamométrique d'un pied similaire à celui des étançons de la taille ou à celui que l'on voudrait proposer pour pied d'étau dans la taille de sorte que le poinçonnage du mur constitue un essai in situ de réelle valeur pratique pour l'exploitant comme pour le chercheur. Si, par exemple, il s'agit de déterminer la surface à donner à des pieds d'étau, on observera que la résistance d'une roche à la compression ou au poinçonnage dépend notamment de la forme du pied d'étau et de ses dimensions. Dans le cas particulier d'un mur de veine, des essais de poinçonnage ont permis de mesurer la résistance de la roche du mur sous des pieds d'étau de sections nettement différentes et les résultats obtenus ont été les suivants: 15 kg/cm<sup>2</sup> sous le pied de 162 cm<sup>2</sup>; 30 kg/cm<sup>2</sup> sous le pied de 254 cm<sup>2</sup>; 40 kg/cm<sup>2</sup> sous le pied de 415 cm<sup>2</sup>. L'augmentation de la surface d'appui améliore le comportement des terrains

de la taille terplaatse en in het laboratorium moeten onder de leiding van een kenner der mijn staan, en door de kolennijverheid zelf ten uitvoer worden gebracht.

Dergelijke studies werden op systematische wijze ten uitvoer gelegd door het Nationaal Instituut voor de Steenkolenijverheid en dit zolang het bestaat. In de loop van de jaren 1954 en 1955 werd een uitgebreide meetcampagne uitgewerkt. Meer dan 250 metingen werden uitgevoerd in meer dan 40 pijlers van de Kempen, Luik en Charleroi. Deze metingen werden in de ondergrond uitgevoerd door middel van een speciaal drukgereedschap dat beschreven werd op de door Inichar op 2 en 3 juni 1955 georganiseerde « Studiedagen over Gesteenten en Ondersteuning ». De tekst der mededelingen tijdens deze dagen verstrekt door de Heren Venter, Stassen, Hausman en Liégeois verscheen in de nummers 4 en 5 van de Annalen der Mijnen van België van 1955. Hierin wordt onder meer een beschrijving gegeven van de indringingsproeven, de eenvoudige drukproeven op kubus en de uitslagen van enkele petrografische analyses.

De indringingsproeven werden uitgevoerd met behulp van een hydraulische pers met manometer. Het voordeel van een dergelijke pers is dat ze zich in de pijler gedraagt zoals een stijl (met dit verschil dat de operator de kracht in een betrekkelijk korte tijd oplegd). Men oordeelt dat een vloer onder een bepaalde last bezwijkt wanneer de pers onder die last minstens 10 cm in de vloer dringt, doch de vloer van een pijler wordt niet enkel op grond van deze proef beoordeeld; men maakt een zorgvuldige ontleding van al de diagrammen van de indringing in functie van de last en houdt daarbij rekening met de oppervlakte van het draagvlak der pers op de vloer alsmede van verschillende andere factoren die van invloed zijn gebleken op de weerstand van de vloer tegen indringing. Om zich een gedacht te kunnen vormen van de weerstand van de vloer in een pijler moet men in elk geval een reeks proeven uitvoeren langs het pijlerfront en plaatselijk ook op verschillende punten gelegen op een loodrechte op het front.

Het is altijd mogelijk de dynamometrische pers te voorzien van een zelfde voet als de stijlen in de pijler of als die welke men zou willen voorstellen in de pijler; de indringingsproef in de vloer is bijgevolg een proef in situ die zowel voor de exploitant als voor de wetenschapsmens een werkelijke waarde heeft. Wil men bij voorbeeld uitmaken hoe de basis van de stijlen er moet uitzien, dan zal men bemerken dat de weerstand van een gesteente tegen druk of indringing onder meer afhangt van de vorm en de afmetingen van de voet. In een bepaald geval leverde de meting van de weerstand van de vloer onder stijlen met zeer

tendres qui ont une tendance à fluer sous les charges.

Cette constatation et certains résultats d'essais réalisés par M. Jahns sont apparemment contradictoires. Aussi convient-il de préciser trois paramètres importants pour les essais de poinçonnage.

Ces paramètres sont :

- l'état de lapidification des roches;
- l'épaisseur des bancs de roches et l'état d'homogénéité de ces bancs;
- les dimensions du poinçon.

Le poinçon a généralement une forme géométrique simple : carré, rectangle ou circonférence de cercle.

Dans le cas du cercle, la répartition des contraintes est symétrique par rapport à une perpendiculaire à ce cercle en son milieu. A la limite du plateau circulaire existe une discontinuité dans l'état des contraintes. En tous points de la circonférence, la roche est soumise à des efforts de cisaillement auxquels elle résiste très mal. C'est pourquoi la rupture survient au périmètre du poinçon, ce qui distingue le poinçonnage de la compression simple.

Le rapport entre le périmètre et l'aire du plateau varie rapidement quand le rayon varie. C'est pourquoi la charge de rupture des roches soumises au poinçonnage peut varier fort selon les dimensions du plateau d'appui.

Les essais de M. Jahns ont mis ce fait en évidence pour des poinçons dont la surface d'appui était inférieure à 200 cm<sup>2</sup>. D'autre part, les mêmes essais montrent que la résistance spécifique apparente des roches diminue lorsque croît la surface du poinçon. Enfin, cette diminution est particulièrement marquante pour une roche relativement résistante. Nos essais de poinçonnage se font généralement avec des poinçons de surface supérieure à 200 cm<sup>2</sup> ou voisine de 200 cm<sup>2</sup>. D'autre part, nous disposons de nombreux résultats de poinçonnage de roches relativement tendres. Or, pour la roche la plus tendre, le diagramme de M. Jahns ne présente point de différence pour la valeur de la charge de rupture sous des poinçons de 50, 100, 150 ou 200 cm<sup>2</sup>. Dès lors, il ne nous paraît pas anormal de lier à ce diagramme descendant un diagramme montant pour les roches tendres et des poinçons d'une surface supérieure à 200 cm<sup>2</sup>. Cette valeur n'est pas arbitraire, elle est liée à l'épaisseur des bancs de roche, à la structure et à la texture de ces roches et, puisque les charges sont généralement transmises aux roches par des pieds d'étau d'une surface supérieure à 150 cm<sup>2</sup>, nous préférons des essais in situ exécutés avec des plateaux ayant au moins cette surface. En raison

verschillende voeten de volgende resultaten op : 15 kg/cm<sup>2</sup> onder de voet van 162 cm<sup>2</sup>; 30 kg/cm<sup>2</sup> onder de voet van 254 cm<sup>2</sup>; 40 kg/cm<sup>2</sup> onder de voet van 415 cm<sup>2</sup>. Een groter steunvlak heeft een gunstige uitwerking op de zachte gesteenten die onder belasting een neiging hebben om te vloeien.

Er bestaat een schijnbare tegenspraak tussen deze vastellingen en de resultaten van zekere proeven uitgevoerd door Hr Jahns. Er zijn dan ook bij de indringingsproeven drie belangrijke parameters die nauwkeurig dienen omschreven te worden; het zijn :

- de graad van verstening van de rotsen;
- de dikte en de graad van homogeniteit van de steenbanken;
- de afmetingen van de stift.

De stift heeft meestal een eenvoudige geometrische vorm : vierkant, rechthoek of cirkelomtrek.

In het geval van de cirkel liggen de spanningen symmetrisch verdeeld ten opzichte van de loodlijn door het middelpunt van de cirkel op zijn vlak opgericht. Op de omtrek van de cirkel bestaat er een discontinuïteit in de spanning. Het gesteente wordt in elk punt van de omtrek blootgesteld aan afschuivingskrachten waaraan het zeer slecht weerstaat. Dat is de reden waarom de breuk aanvangt aan de omtrek van de stift, en waarom er een verschil is tussen de enkelvoudige samendrukking en het indringen.

De verhouding tussen omtrek en oppervlakte van de bodemplaat varieert snel wanneer de doormeter verandert. Daarom kan de breukweerstand van aan indringing blootgestelde gesteenten sterk veranderen in functie van de afmetingen van het steunoppervlak.

De proeven van de Hr Jahns hebben dit duidelijk gemaakt voor zover het stiften betref met een draagoppervlak van minder dan 200 cm<sup>2</sup>. Anderzijds tonen dezelfde proeven aan dat de schijnbare specifieke weerstand van het gesteente afneemt wanneer de oppervlakte van de stift toeneemt. Deze vermindering in tenslotte vooral uitgesproken voor een tamelijk weerstandbiedende steen. Onze indringingsproeven worden meestal uitgevoerd met stiften waarvan de oppervlakte meer dan 200 of ongeveer 200 cm<sup>2</sup> bedraagt. Verder beschikken wij over talrijke uitslagen van proeven op tamelijk weke gesteenten. Welnu het diagram van de Hr Jahns dat op de zachtste steen betrekking heeft vertoont dezelfde breukweerstand voor stiften van 50, 100, 150 of 200 cm<sup>2</sup>. Het lijkt ons dan ook niet abnormaal dit dalend diagram te verlengen met een stijgend diagram voor weke gesteenten en stiften met een oppervlakte van meer dan 200 cm<sup>2</sup>. Deze waarde is niet willekeurig gekozen; ze staat in verband met de dikte van de steenbank, de structuur en de textuur dezer gesteenten, en vermits de belasting in het algemeen

même de leur nature, les roches des terrains houillers ne se prêtent pas aux essais que l'on peut réaliser sur des matériaux homogènes à grains très fins au moyen d'appareils tels que le scléroscope.

Nous avons tenu à souligner d'une façon toute particulière cet exemple parce qu'il montre la nécessité de bien connaître à la fois les matériaux sollicités et les processus pratiques de sollicitation. D'une manière générale, les campagnes de mesures ont permis de préciser l'influence de certains facteurs sur la résistance des roches dans les travaux du fond.

### 23. Mesures en surface de la résistance à la compression.

Nous pourrions résumer comme suit les résultats des travaux d'Inichar dans ce domaine.

La résistance au poinçonnage est toujours inférieure à la résistance à la compression simple mesurée sur un cube de 2,5 cm de côté. La résistance à la compression simple vaut toujours au moins deux fois la résistance au poinçonnage.

Près de 75 % des murs prospectés ont une résistance à la compression inférieure à celle donnée comme résistance minimum des schistes houillers par les auteurs que nous avons pu consulter.

L'essai de compression simple donne un classement relatif des roches identique à celui de l'essai de poinçonnage sauf pour celles qui s'altèrent très rapidement à l'eau. L'eau d'arrosage employée pour le sciage de la roche suffit pour désagréger l'échantillon.

Ces conclusions nous paraissent très importantes pour les raisons ci-après.

Certains essais de laboratoire étant relativement faciles et moins onéreux que les recherches dans le fond de la mine, il est intéressant d'observer que des échantillons soumis à la compression simple ont donné un classement relatif des roches identique à celui de l'essai de poinçonnage avec la restriction toutefois de l'influence néfaste de l'eau ou de l'humidité. Si l'on prend la précaution d'éviter l'eau et l'humidité, on sera généralement fondé de baser une comparaison de la résistance des roches à la compression sur la comparaison des résultats d'essais effectués sur des cubes de 2,5 cm de côté.

La résistance au poinçonnage est toujours inférieure à la résistance à la compression simple telle que nous l'avons mesurée. Nous avons fourni, plus haut, une explication théorique qui fait appel aux tensions de cisaillement induites au contour des poinçons. A cet effet théorique s'ajoute un effet

op het gesteente wordt overgebracht door een voet met een oppervlakte van meer dan 150 cm<sup>2</sup>, geven wij de voorkeur aan een proef in situ uitgevoerd met een stift die minstens een even grote oppervlakte heeft. Het ligt in hun natuur besloten dat de gesteenten van het kolengebergte niet geschikt zijn voor dezelfde proeven als homogene en zeer fijnkorrelige materialen die met apparaten zoals de scleroscoop kunnen behandeld worden.

Wanneer wij aan dit voorbeeld zoveel aandacht besteed hebben is het om te wijzen op de noodzakelijkheid om een grondige kennis te hebben zowel van de belaste materialen als van de manier waarop de belasting praktisch wordt aangebracht. De meetcampagnes hebben in het algemeen een precies beeld verschaft van de invloed van zekere factoren op de weerstand van het gesteente in de ondergrondse werken.

### 23. Meting van de weerstand tegen druk. op de bovengrond.

We kunnen de resultaten door Inichar in dit domein bekomen als volgt samenvatten.

De weerstand tegen indrukken ligt altijd lager dan de weerstand tegen eenvoudige samendrukking gemeten op een kubus met een zijde van 2,5 cm. Deze laatste is altijd minstens het dubbele van de weerstand tegen indringing.

In ongeveer 75 % van de gevallen ligt de weerstand van het vloergesteente tegen druk lager dan het minimum dat voor kolenschiefer wordt opgegeven door de auteurs die wij hebben kunnen raadplegen.

De proef op enkelvoudige samendrukking levert een zelfde indeling van de gesteenten op als de indringingsproef, tenzij het gesteenten betreft die zeer gevoelig zijn voor water. Het water gebruikt tijdens het zagen van de steen volstaat om het monster zijn weerstand te doen verliezen.

Dit zijn volgens ons belangrijke besluiten en wel om de volgende redenen.

Rekening houdend met het feit dat zekere laboratoriumproeven minder werk en moeite vragen dan het onderzoekingswerk in de ondergrond, is het van belang dat men door de monsters aan enkelvoudige samendrukking te onderwerpen komt tot dezelfde indeling als door de indringingsproef, tenzij men te doen heeft met de schadelijke invloed van water en vocht. Neemt men zijn voorzorgen tegen water en vocht, dan mag men over het algemeen aannemen dat de weerstand der gesteenten tegen samendrukking zich verhoudt zoals de uitslagen der proeven uitgevoerd op kubussen met een zijde van 2,5 cm.

De weerstand tegen indringing ligt altijd lager dan de weerstand tegen eenvoudige samendrukking zoals wij die hebben bepaald. Wij hebben

pratique qui résulte de l'échantillonnage et de la préparation d'échantillons de dimensions relativement petites. Lorsqu'on procède au débitage d'un échantillon de roche en vue d'en obtenir des cubes de 2,5 cm de côté, on doit renoncer à un certain nombre de ces cubes qui se détruisent en cours de préparation, notamment par suite de la présence de fossiles ou de surfaces de décollement naturelles. Sans le vouloir, on réalise donc, au cours de la préparation, une sélection des échantillons de sorte que sous la presse on écrase les cubes les plus sains.

Si les roches prospectées ont en général une résistance à la compression inférieure à celle donnée comme résistance minimum des schistes houillers dans la littérature, c'est probablement, en partie du moins, parce que nous n'avons pas hésité à prélever des échantillons dans des bancs de roches peu cohérentes et que nous nous sommes donné la peine de préparer des cubes d'essai à partir de morceaux de roches donnant lieu à beaucoup de déchets. Les résultats des essais de compression que nous avons obtenus dans ces conditions sont donc surestimés par rapport à la valeur moyenne réelle que nous ne connaissons pas et qu'il serait d'ailleurs difficile de déterminer par le moyen des échantillons cubiques de 2,5 cm de côté en raison de la difficulté d'obtenir de tels cubes dans ces roches. Dans un grand nombre de cas, nous avons dû tenir compte de l'irrégularité des cubes obtenus, de l'altération des surfaces en contact avec les plateaux de la presse, altération due à l'écaillage en cours de manipulation d'une roche de très faible cohésion. Quelques essais de foration dans les blocs des roches moins cohérentes nous ont enseigné que la préparation d'échantillons cylindriques n'est précisément possible qu'au-delà d'une certaine cohésion.

En conclusion de ces considérations, il faut donc craindre que les valeurs de résistance trouvées dans des laboratoires pour les roches tendres ne soient supérieures aux valeurs utiles et cela en dépit des efforts des préparateurs lors de la manipulation des blocs de roches et lors de la préparation des échantillons.

### 3. COMMENTAIRES DES DIRECTIVES PROPREMENT DITES

#### 31. Méthode d'étude.

Le groupe de travail chargé de la rédaction des directives pour les essais de roches a pris en considération dans ses travaux différentes méthodes d'étude des roches. Ce sont :

— la résistance à la compression uniaxiale;

dit hierboven theoretisch verklaard met behulp van de schuifspanningen langs de omtrek van de stift. Bij deze theoretische verklaring komt nog een praktische die verband houdt met de manier waarop de monsters worden opgenomen en de kubussen van betrekkelijke kleine afmetingen bereid. Wanneer een gesteentemonster verdeeld wordt om kubussen van 2,5 cm zijde op te leveren worden een gedeelte van deze kubussen vernield tijdens de bereiding, bij voorbeeld wegens ingesloten fossielen of natuurlijke scheidingsvlakken. Zo komt men tijdens het voorbereiden van een monsters zonder het te willen tot een selectie van de monsters, en worden enkel de beste onder de pers beproefd.

De weerstand tegen samendrukking van de onderzochte gesteenten ligt meestal lager dan het minimum dat in de literatuur voor kolenschiefer wordt opgegeven; dit komt waarschijnlijk, gedeeltelijk althans, omdat wij niet gearzeld hebben monsters te nemen in weinig samenhangende stenen en ons de moeite hebben getroost kubussen te bereiden uit gesteenten die een grote hoeveelheid afval opleveren. De resultaten der samendrukkingsproeven die we zo bekomen liggen bijgevolg te hoog in vergelijking met de gemiddelde waarde die we niet kennen en die we ten andere moeilijk zouden kunnen bepalen door middel van de methode met de kubussen van 2,5 cm, vermits het zo moeilijk is om deze stenen soortgelijke kubussen te verkrijgen. In vele gevallen hebben we moeten rekening houden met de onregelmatigheid van de bekomen proefstukken, met de verweerde toestand van de oppervlakken die met de pers in aanraking kwamen, als gevolg van het afschilferen van de uiterst zwakke stenen tijdens de behandeling. We hebben ook enkele pogingen in het werk gesteld om kernboringen te verrichten in minder samenhangend gesteente doch zijn tot het besluit gekomen dat men voor kernboring precies een minimum aan cohesie nodig heeft.

Men besluit dus uit het voorgaande dat de waarde van de weerstand van weke gesteenten, in het laboratorium bepaald, waarschijnlijk hoger ligt dan het werkelijk nuttig bedrag, en dit in weerwil van de zorg waarmee de preparateurs de steenblokken behandelen en de monsters voorbereiden.

### 3. COMMENTAAR OP DE EIGENLIJKE RICHTLIJNEN

#### 31. Studiemethode.

De werkgroep belast met het opstellen van de richtlijnen voor proeven op gesteenten heeft verschillende methoden voor de studie der gesteenten aan een onderzoek onderworpen. Het zijn :



- la résistance à la compression triaxiale;
- la résistance à la traction;
- la résistance au cisaillement;
- l'angle de frottement interne;
- la dureté chiffrée.

Le groupe de travail a également pris en considération les variations de ces valeurs en relation avec le temps et en relation avec l'orientation de la stratification.

En ce qui concerne la résistance à la compression uniaxiale, on a pris en considération la seule méthode d'essai où l'échantillon est placé entre plateaux parallèles. Après avoir examiné l'influence du graissage des plateaux, telle qu'elle a été mise en évidence par différents auteurs, le groupe de travail a choisi les essais de résistance à la presse exécutés au moyen de plateaux polis, mais non graissés, parce que ces essais peuvent se réaliser partout simplement et d'une manière similaire.

Les essais de résistance à la compression triaxiale sont conduits de manières diverses selon le laboratoire d'essai. Etant donné que les procédés de mesures sont différents l'un de l'autre et relativement coûteux, on n'a pas essayé de les normaliser. On remarquera toutefois que les essais de résistance à la compression triaxiale ont, entre autres intérêts, l'avantage de permettre la détermination de l'angle de frottement interne.

Les essais de résistance à la traction peuvent se faire correctement de différentes manières : en ce qui concerne les éprouvettes de métal, il est assez facile d'obtenir des formules simples et de les soumettre à un essai de traction uniaxiale. Il est plus difficile de réaliser les mêmes essais sur des échantillons cylindriques de roches. En particulier, une proposition américaine de coller des pastilles de métal sur les surfaces circulaires d'extrémité de l'échantillon, puis d'exercer une traction sur l'échantillon au moyen d'un fin fil soudé au milieu de ces pastilles de métal, n'a pas encore pu donner de résultats satisfaisants. Les procédés proposés par Heyne sont basés sur l'obtention de tensions de traction lors des essais de flexion. Mais, lors de ces essais de flexion, les tensions de traction ne se répartissent pas également dans toute la section de l'échantillon et ces tensions de traction sont combinées à des tensions de compression. Toutefois, ces essais sont intéressants pour les recherches relatives aux propriétés des roches des exploitations souterraines parce qu'il arrive souvent que les roches soient soumises à des efforts de flexion; c'est pourquoi le groupe de travail a conservé à son programme la rédaction de directives pour la réalisation des essais de flexion des roches de l'exploitation minière.

- de weerstand tegen samendrukking volgens één as;
- de weerstand tegen samendrukking volgens drie assen;
- de weerstand tegen trek;
- de weerstand tegen afschuiving;
- de inwendige wrijvingshoek;
- de berekende hardheid.

De werkgroep heeft eveneens de veranderlijkheid van deze waarden in functie van de tijd en de orientatie van de gelaagdheid in aanmerking genomen.

Wat de weerstand tegen samendrukking volgens één as betreft heeft men zich beziggehouden met de enige bestaande methode waar het monster tussen evenwijdige platen wordt gezet. Men heeft de invloed van het smeren der platen nagegaan, invloed die door verschillende auteurs wordt aangetoond, en nadien heeft de werkgroep zijn voorkeur gehecht aan de weerstandsproef op een pers met gepolijste doch niet gesmeerde vlakken : deze proeven kunnen overal op eenvoudige en gelijklopende wijze worden uitgevoerd.

De weerstandsproeven tegen samendrukking volgens drie assen worden naargelang het laboratorium op verschillende manieren uitgevoerd. Vermits de meettechnieken onderling verschillen en betrekkelijk kostelijk uitvallen heeft men geen pogingen aangewend om ze te normaliseren. Toch zal men opmerken dat de weerstandsproef tegen samendrukking volgens drie vlakken naast andere voordelen de mogelijkheid biedt de hoek van inwendige wrijving te bepalen.

De weerstandsproeven op trek kunnen op verschillende manieren correct worden uitgevoerd; gaat het om metalen proefstukken dan is het niet moeilijk eenvoudige formules op te stellen en een trekproef volgens één as uit te voeren. Moeilijker is het een soortgelijke proef uit te voeren op cilindrische steenmonsters. De Amerikanen stelden voor metalen schijven op de cirkelvormige uiteinden van het monsters te plakken en dit vervolgens aan een trek te onderwerpen met behulp van stalen draad die op bedoelde schijven zou gelast zijn; dit procédé heeft echter tot nu toe geen devredigende resultaten gegeven. Heyne stelde andere procédés voor, gebaseerd op het opwekken van trekspanningen door middel van buigkrachten. Tijdens deze buigproef verdelen de trekspanningen zich echter niet op gelijke wijze doorheen de ganse sectie van het monster en verder zijn de trekspanningen vermengd met drukspanningen. Toch hebben deze proeven hun belang voor opzoekingswerk betreffende de eigenschappen van de stenen uit de ondergrondse ontginningswerken, die immers vaak aan buigkrachten blootgesteld worden; daarom heeft de werkgroep het opstellen van richtlijnen voor buig-

La méthode de détermination de la résistance à la traction fait penser aux essais d'éclatement qui se réalisent relativement facilement. On comprime un échantillon uniaxialement et des tensions de traction agissent dans la direction perpendiculaire à la force de pression. Du fait que les tensions de traction déterminant la rupture des roches sont plusieurs fois plus petites que les tensions de compression déterminant la rupture de ces mêmes roches, on peut, à partir de tels essais, caractériser la résistance des roches aux tensions de traction. On doit observer toutefois l'effet néfaste de l'application locale de la force de compression qui crée des pointes de tension dans des endroits d'où partent souvent les surfaces de rupture de l'échantillon. Toutes conditions égales, de tels essais ont cependant une valeur de comparaison irréprochable.

Il est pratiquement impossible de déterminer la résistance au glissement d'une roche, car cette résistance est définie dans un état de tension homogène que rompt nécessairement le processus d'essais. C'est pourquoi on a choisi de déterminer la résistance au cisaillement, laquelle n'a de valeur que pour un processus de destruction déterminé.

Lorsque la préparation d'échantillons s'avère difficile, il est possible de procéder à des essais d'usure ou de destruction sur des morceaux de roches n'ayant subi aucune préparation ou ayant subi une préparation très simplifiée. Parmi les procédés essayés dans des laboratoires de recherches, nous citerons les essais de résistance à la compression simple de blocs de roches préparés grossièrement. A l'occasion de tels essais, on a pu empiriquement établir des diagrammes de corrélation entre la résistance à la compression simple et la résistance à la compression des blocs de roches préparés grossièrement. Les résultats obtenus à cette occasion ont fait l'objet de quelques publications. Il n'a pas paru opportun, jusqu'ici, de normaliser de tels essais.

### 32. Echantillons.

Le groupe de travail a préféré la forme cylindrique des échantillons pour deux raisons au moins :

1. « La distribution des tensions y est plus régulière que dans les échantillons cubiques lors des essais de compression uniaxiale. »
2. « Il est généralement facile d'obtenir des échantillons cylindriques à partir des carottes de forage » (\*).

(\*) Note de l'auteur. Cette appréciation émise par le groupe de travail est mise en défaut, à notre avis, lorsqu'il s'agit de roches tendres ou friables.

proeven op gesteenten uit ondergrondse ontginningsswerken op zijn programma ingeschreven.

Spreekt men van de weerstand tegen trek, dan denkt men aan de proeven waarbij het monster uiteenspringt, proeven die betrekkelijk gemakkelijk uit te voeren zijn. Het monster wordt in een richting samengedrukt, met het gevolg dat trekkrachten ontstaan in een richting loodrecht op die van de samendrukking. Wegens het feit dat deze trekkrachten die uiteindelijk de steen doen begeven verschillende malen kleiner zijn dan de drukkrachten die dezelfde steen verpletteren kan men op grond van dergelijke proeven de weerstand van het gesteente tegen trekkrachten karakteriseren. Men moet niettemin rekening houden met de slechte invloed van de plaatselijke concentratie der drukkracht waardoor puntbelastingen ontstaan op plaatsen waar dikwijls de breukvlakken van het monster een aanvang nemen. In identieke omstandigheden uitgevoerd hebben dergelijke proeven nochtans een onmiskenbare waarde als vergelijkingselement.

Het is praktisch onmogelijk de glijdingsweerstand van gesteenten te bepalen, omdat die dient bepaald te worden in een homogene spannings-toestand die niet in overeenstemming te brengen is met de beproevingstechniek. Daarom heeft men de voorkeur gegeven aan de afschuivingsweerstand, die slechts betekenis heeft bij een weldepaalde afbraakproces.

Ondervindt men moeilijkheden bij het voorbereiden van de monsters, dan bestaat de mogelijkheid om sleet of afbraakproeven te verrichten op monsters die geen enkele of slechts een rudimentaire bereiding hebben ondergaan. Vermelden we tussen de procédés die in de onderzoekslaboratorium werden beproefd slechts de weerstandsproef op enkelvoudige samendrukking van ruw bereide steenblokken. De hier bekomen resultaten werden in verschillende publikaties besproken. Tot nu toe heeft men het niet nuttig geoordeeld dergelijke proeven te normaliseren.

### 32. Monsters.

De werkgroep heeft om minstens twee redenen de voorkeur gegeven aan de cilindrische vorm :

- a) bij samendrukking volgens één as worden de spanningen regelmatig verdeeld dan in de kubische proefstukken;
- b) men kan gewoonlijk zonder moeite cilindrische proefstukken bekomen uit de kernen van de kernboringen (\*).

(\*) Nota van de auteur: Deze mening van de werkgroep wordt o.i. tegengesproken in het geval van weke of brokkelachtige stenen.

Lors des essais de compression uniaxiale, il est souhaitable que l'échantillon soit environ deux fois aussi haut que large de sorte que les surfaces de rupture se développent sans entraves. Toutefois, pour un certain nombre de roches, il n'est pas possible d'obtenir des échantillons relativement longs et c'est pourquoi le groupe de travail a admis l'essai d'échantillons dont la hauteur est égale au diamètre du cylindre.

Selon les chercheurs, la résistance à la compression uniaxiale déterminée sur des échantillons de telle sorte est de 10 % supérieure à celle qu'on obtiendrait sur des échantillons dont la hauteur serait de deux fois égale au diamètre. La dimension des échantillons influence la résistance de deux manières différentes : tout d'abord la probabilité de rencontrer une zone faible dans un échantillon augmente avec les dimensions de l'échantillon de sorte que la résistance déterminée sur de gros échantillons peut être également plus faible que celle déterminée sur de petits échantillons; d'autre part, les inégalités de surface et la courbure des surfaces d'application des charges ont un rôle moins important lorsqu'il s'agit de petits échantillons que lorsqu'il s'agit de gros échantillons. D'après les résultats des recherches, ces deux facteurs n'auraient cependant pas une grande influence sur des échantillons de 40 mm de diamètre et de toute façon on peut remédier à l'inconvénient, d'après les membres du groupe de travail, en augmentant le nombre d'échantillons éprouvés. Les données concernant le fini de surface à donner aux échantillons résultent de l'expérience d'un certain nombre d'Instituts de Recherches.

En ce qui concerne les effets de contraction uniaxiale, il est particulièrement important que les surfaces soient égales, de sorte que généralement ces surfaces seront préparées au tour ou à la polisseuse. Bien que l'on n'impose pas une précision de 0,03 mm, on estime pourtant qu'elle est souhaitable.

Pour les essais de résistance à la traction qui se produisent par éclatement, il n'est pas aussi important que les surfaces d'appui soient bien égales, mais il est plus important que les surfaces latérales du cylindre soient travaillées avec soin.

Pour les essais de cisaillement, il importe surtout que les surfaces des extrémités soient préparées en fonction d'une application correcte et bien orientée de la force qui déterminera le cisaillement. En ce qui concerne le nombre des échantillons qui devraient être soumis aux essais de résistance, il n'a pas paru raisonnable au groupe de travail de le fixer à 6 ou à 10 et cela tient au fait que l'on rencontre dans les exploitations

Bij de samendrukking volgens één as moet de hoogte van het monster ongeveer het dubbels zijn van zijn breedte, opdat de breukvlakken zich ongehinderd zouden kunnen voortplanten. Voor sommige gesteenten is het vervaardigen van relatief lange profestukken echter een onmogelijke zaak, en daarom heeft de werkgroep toegelaten bij de proeven stukken te gebruiken waarvan de hoogte gelijk is aan de diameter van de cylinder.

Volgens specialisten is de weerstand tegen samendrukking volgens één as op die manier bekomen 10 % hoger dan die bekomen op een proefstuk waarvan de hoogte gelijk is aan twee maal de diameter. De afmetingen van het monster hebben op twee manieren invloed op de weerstand : vooreerst stijgt de waarschijnlijkheid dat in het monster een zwakke plek gevonden wordt met de afmetingen zodat de weerstand bepaald op monsters van grote afmetingen in het algemeen hoger zal liggen dan deze bepaald op kleine monsters. Van de andere kant hebben de ongelijkheden en de golvingen van de oppervlakken waarop de belasting wordt toegepast een geringere invloed op kleine dan op grote monsters. Proeven hebben nochtans uitgewezen dat beide vernoemde factoren geen grote invloed hebben op monsters met een diameter van 40 mm en in elk geval kan men, volgens de leden van de werkgroep, het euvel voorkomen door een voldoende aantal monsters op te nemen.

De gegevens betreffende de afwerking der contactoppervlakken van de monsters zijn de vrucht van de ondervinding van enkele Opzoekingscentrums.

Voor de drukproeven volgens één aslijn moeten de oppervlakken bijzonder glad zijn; daarom worden ze meestal op de draaibank of polijsmachine bereid. Alhoewel een precisie van 0,3 mm door de meesten overbodig wordt geacht, meent men toch dat ze wenselijk is.

Om de weerstand tegen trek bij uit elkaar springen te doen slagen moeten de contactoppervlakken volkomen gelijk zijn, belangrijker is echter dat de mantel van de cylinder zorgvuldig behandeld is.

Voor de afschuiving is van belang dat de uiterste oppervlakken voorbereid worden met het oog op een nauwkeurig inplanten en richten van de kracht die het afschuiven zal veroorzaken. Wat het aantal monsters betreft die een weerstandproef ondergaan oordeelde de werkgroep het niet redelijk zich te beperken tot 6 of 10; dit houdt verband met het feit dat men de ondergrondse werken gesteenten aantreft van de meest uiteenlopende aard. Men heeft het redelijker geoordeeld het aantal monsters te kiezen rekening gehouden met de spreiding der bekomen resultaten hetgeen dan weer geleid heeft tot het voorstellen van

minières des roches de qualités très différentes. On a pensé plus raisonnable de choisir le nombre des échantillons essayés en fonction de la dispersion des résultats obtenus et c'est ce qui a conduit à la proposition de certaines formules en relation avec les écarts à la moyenne.

### 33. Vitesse de mise en charge.

Il est bien connu que la vitesse de mise en charge influence le résultat des essais de résistance des matériaux; il n'est pas équivalent d'appliquer la charge lentement ou de l'appliquer vite ou par à-coups. S'il est exact que l'emploi de différents processus de destruction contribue à une meilleure connaissance du comportement des roches lors du tir des mines, il est essentiel au cours des essais de résistance que l'on veut comparables d'utiliser des vitesses de mise en charge bien déterminées. En principe, la vitesse choisie doit permettre une lecture facile des valeurs à mesurer au cours du temps lors des essais de résistance.

## 4. LES ROCHES TENDRES ET FRIABLES DU HOULLIER DE BELGIQUE

### 41. Importance relative des essais de surface.

Le but des directives pour l'exécution d'essais de compression des roches est de *déterminer le comportement de ces roches en cas de mise en charge par les effets de l'exploitation*. Nous croyons opportun d'attirer ici l'attention sur le fait que l'on a souvent confondu « fortes pressions de terrains » et « mauvaise qualité des roches ». Nous croyons surtout qu'une roche, même de mauvaise qualité, peut se comporter d'une manière satisfaisante dans l'exploitation minière si on la traite en tenant compte de sa mauvaise qualité; inversement, une roche réputée résistante sera inmanquablement détruite si on ne respecte pas l'intégrité de ses bancs par des procédés de creusement et des dispositifs de soutènement appropriés. Si donc la détermination de la résistance à la compression d'une roche est un élément indispensable à la comparaison à l'occasion d'une recherche, cet élément ne suffit pas pour expliquer les phénomènes de mécanique des bancs de roches dans les exploitations souterraines. En aucun cas, les recherches de laboratoire et les recherches sur modèles ne peuvent remplacer totalement la connaissance du gisement et la prédétermination des mouvements de terrains basées sur des observations et des mesures faites au fond en cours d'exploitation.

bepaal de formules aangaande de afwijkingen ten opzichte van het gemiddelde.

### 33. Snelheid van het opkomen der belasting.

Het is algemeen bekend dat de snelheid waarmee de belasting opkomt een invloed heeft op de weerstand der materialen; een last langzaam opleggen of snel of met schokken komt niet op hetzelfde neer. Indien het juist is dat men het gedrag van het gesteente ten overstaan van springwerk beter kan doorgronden indien de afbraak langs verschillende processussen wordt doorgevoerd, is het ook klaarblijkelijk dat het aanleggen van de belasting volgens een welbepaalde snelheid moet gebeuren zo men wil dat de uitslagen der weerstandmetingen vergelijkbaar zijn. In principie moet de gekozen snelheid zodanig zijn dat de gemeten waarden in functie van de tijd gemakkelijk kunnen afgelezen worden tijdens de weerstandproef.

## 4. DE WEKE EN BROKKELIGE GESTEENTEN VAN HET BELGISCHE KOLENTERREIN

### 41. Het relative belang van de proeven op de bovengrond.

Het doel dat door de richtlijnen voor het uitvoeren van drukproeven op gesteenten wordt nagestreefd, is *te bepalen hoe die gesteenten zich zullen gedragen wanneer ze tengevolge van de ontginningswerken belast worden*. Wij willen hier de aandacht vestigen op het feit dat dikwijls « sterke terreindrukken » verward worden met « gesteente van slechte hoedanigheid ». Wij zijn vooral de mening toegedaan dat een steensoort, zelfs als ze van slechte kwaliteit is, in de mijnbouw voldoening kan geven op voorwaarde dat men ze in functie van haar slechte hoedanigheid behandelt; omgekeerd zal een gesteente dat weerstandbeïdend heet te zijn onherroepelijk vernield worden als men bij het kiezen van de werkprocedures en ondersteuningstechnieken geen rekening houdt met de natuurlijke samenhang dezer banken. Toegegeven dat de drukweerstand van een gesteente een onmisbaar vergelijkings-element uitmaakt voor elk onderzoek; dit element is echter niet voldoende om een verklaring te geven voor de mechanische verschijnselen die zich tijdens de ontginning in de steenbanken voordoen. In elk geval kunnen opzoekingen in het laboratorium en op schaalmodellen nooit helemaal de plaats innemen van de ondervinding met een afzetting, en de mogelijkheid om op voorhand uit te maken, dank zij waarnemingen en metingen uitgevoerd in de ondergrond tijdens de werken, aan welke terreinbewegingen men zich kan verwachten.

#### 42. Choix des essais.

Le choix qui est fait de trois types d'essais simples pour apprécier la résistance des roches *en laboratoire* ne diminue pas pour autant les mérites d'un certain nombre d'essais donnant aux chercheurs ou à l'exploitant des éléments d'appréciation correcte de la résistance relative des roches; on doit tenir compte en effet de la nécessité, dans la plupart des cas, d'être fixé rapidement sur la valeur de résistance relative des roches. Il faut donc pouvoir réaliser les essais sur des échantillons obtenus rapidement, sans grands préparatifs, et au moyen d'une installation assez simple pour qu'on puisse en disposer sans délai. Généralement, c'est au cours d'une visite des travaux du fond que l'on prend la décision d'emporter un morceau de roche afin d'en déterminer la valeur de résistance par comparaison à des roches connues. La prise de l'échantillon se fait avec les moyens du bord. Le poids de l'échantillon est limité, car il doit pouvoir être remonté immédiatement en surface par celui qui l'a prélevé ou un de ses adjoints. Parfois même, le prélèvement a lieu à l'occasion d'une visite dans un charbonnage à l'étranger et le visiteur désire emporter avec lui le bloc de roche qu'il a détaché pour en mesurer la résistance. On comprend que, dans ces circonstances, la quantité de matériaux « échantillonnés » est limitée.

#### 43. Ecrasement de cubes.

Les machines de préparation les plus rapidement disponibles sont des scies à disques telles que celles employées sur les chantiers et dans les ateliers de construction (fig. 1). De telles scies équipées de disques diamantés ou de scies au car-

#### 42. Keuze der proeven.

Het feit dat men drie typen van eenvoudige proeven heeft uitgekozen voor het bepalen van de weerstand van een gesteente *in het laboratorium* betekent niet dat men geen waarde meer moet hechten aan een zeker aantal proeven die aan de wetenschapsmensen en ontginners de nodige elementen verschaffen om zich een juist denkbeeld te vormen van de relatieve weerstand der gesteenten; men moet er rekening mee houden dat de belanghebbende in het algemeen snel wil ingelicht zijn over de waarde van deze relatieve weerstand. De proeven moeten dus uitvoerbaar zijn op monsters, die vlug en zonder veel voorbereidselen opgenomen werden, en daartoe moet een eenvoudige installatie volstaan zo niet gaat men tijd verliezen. Gewoonlijk wordt tijdens een bezoek aan de ondergrondse werken het besluit genomen een stuk steen mee te nemen en er door vergelijking met gekende gesteenten de weerstand van te bepalen. Het monster wordt genomen met de middelen die men ter plaatse vindt. Het gewicht van het monster is beperkt vermits dit laatste naar de bovengrond moet kunnen gebracht worden door degene die het neemt of zijn helper. In sommige gevallen wordt tijdens een bezoek aan een buitenlandse mijn door de bezoeker het voornemen te kennen gegeven een stuk steen dat hij losgemaakt heeft mee te nemen voor meting van de weerstand. Men begrijpt dat de hoeveelheid « opgenomen » materiaal in die omstandigheden beperkt is.

#### 43. Verplettering van kubussen.

De gemakkelijkst te bekomen weektuigen zijn schijfzagen zoals bij werken en in werkhuizen gebezigd worden (fig. 1). Indien men deze zagen voorziet van diamant of een blad in carborundum kan men er de steen in kleine kubussen mee ver-

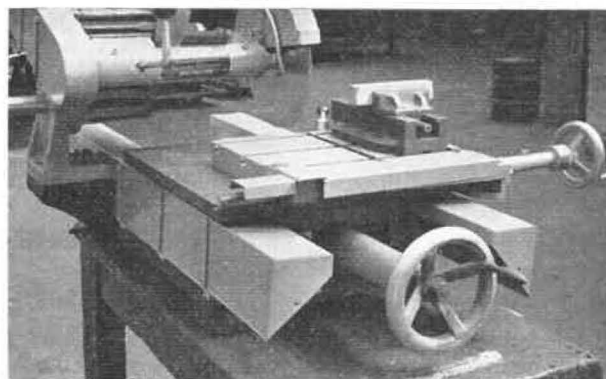


Fig. 1.

Machine à découper les cubes de roche en service à Inchar avec l'aide financière de la C.E.C.A.

Fig. 1.

Machine voor het uitsnijden van kubussen uit het gesteente gebruikt door Inchar met financiële hulp van de E.G.K.S.

borundum permettent le débitage des blocs de roche en petits cubes. La besogne peut être confiée, à défaut d'un spécialiste, à un technicien soigneux et au courant du fonctionnement d'une machine-outil relativement simple. Moyennant quelques précautions, il est possible d'obtenir des surfaces planes et bien perpendiculaires les unes aux autres, les arêtes ayant des longueurs égales et le cube étant intact. Avec certaines roches, sensibles à l'eau, on doit renoncer au disque diamanté (dont l'arrosage est obligatoire pour la préservation des diamants) et l'on se sert alors de disques au carborundum. Le sciage des cubes dans des roches friables s'accompagne parfois de la détérioration d'une face ou d'une arête. Afin toutefois de ne pas perdre une fraction importante du temps consacré au sciage, les échantillons qui ne sont pas trop abîmés sont conservés pour l'essai et l'on tient compte de la proportion de surfaces manquantes si des éclats de roches ont sauté en cours de préparation. L'erreur de parallélisme des faces opposées du cube est éventuellement corrigée par usure sur la face latérale du disque au carborundum. Le nombre des échantillons obtenus dépend, d'une part, de la dimension du bloc initial, d'autre part, de la possibilité qu'on a eue de découper des réglettes et des blocs en fonction de la forme du bloc et de la nature de la roche pour un volume et une forme donnés d'échantillons. Le nombre de cubes obtenus finalement et la qualité de ces cubes sont déjà, pour l'opérateur averti, une information intéressante sur la qualité de la roche. D'autres indices sont encore notés lors de la préparation des échantillons, telles par exemple la quantité de poussière ou sa couleur si l'on travaille à sec, la couleur de la boue et la dimension des déchets de sciage si l'on scie au moyen d'un disque diamanté. Etant donné la petitesse des échantillons, on les examine à l'œil nu ou à la loupe avant l'essai et après l'essai, afin de détecter des zones d'affaïssement naturel telles que joints de stratification, fragments de plantes fossiles, etc... Les cubes sont écrasés sous une presse d'essai universelle ou sous une presse de compression uniaxiale telle qu'on en trouve dans les laboratoires d'essai des matériaux.

#### 44. Altération par l'eau.

Parmi les essais simples donnant des indications immédiates sur la qualité des roches, il convient de retenir l'essai de plongée dans l'eau. Certaines roches sont complètement détruites en quelques minutes lorsqu'elles sont au contact de l'eau. Les unes sont réduites en de très menus fragments, les autres deviennent plastiques et finalement donnent lieu à la formation d'une boue. Des essais de

delen. Heeft men geen specialist ter beschikking dan kan men een nauwgezette techniker die met een betrekkelijk eenvoudige werktuigmachine kan omgaan met de taak belasten. Mits enkele voorzorgen te nemen bekomt men effen oppervlakken, de eenen loodrecht op de anderen, met ribben van gelijke lengte en een ongeschonden kubus. Voor sommige stenen die gevoelig zijn aan water moet men van het gebruik van diamant afzien (besproeiing is hier namelijk vereist voor het behoud van de diamant) en men gebruikt dan schijven in carborundum. Bij brokkelige rotsen wordt vaak en zijde of een ribbe tijdens het zagen beschadigd. Opdat de voor het zagen bestede tijd niet louter verloren zou zijn worden de stukken die niet te erg beschadigd zijn toch beproefd, en indien er bij de bereiding stukken steen zijn weggesprongen houdt men rekening met het ontbrekend gedeelte van het oppervlak. Zijn twee tegengestelde vlakken niet volkomen evenwijdig dan kan dit gebrek verholpen worden door het slijpen van de kubus tegen de zijkant van de schijf in carborundum. Het aantal monsters dat men op die manier kan bekomen hangt voor een gedeelte af van de afmetingen van het blok, maar ook van de mogelijkheden die er waren om regels en blokjes te zagen, afhankelijk van vorm en aard van de steen en volume en vorm van de gevraagde proefstukken. Voor een ervaren operateur betekenen het aantal en de stevigheid van de monsters reeds een belangrijke aanduiding nopens de kwaliteit van het gesteente. Nog andere bijzonderheden worden tijdens de bereiding opgetekend, zoals de hoeveelheid en de kleur van het stof wanneer men droog werkt, de kleur van het slik en de afmetingen van het zaagsel wanneer men een diamantschijf gebruikt. Gezien de geringen omvang van de proefstukken worden deze voor en na de proef met het blote oog onderzocht op natuurlijke gebreken zoals gelaagdheidsvoegen, delen van fossiele planten enz... Om de kubussen te verpletteren gebruikt men de universele proefpers of de pers voor samendrukking volgens één as, zoals ze in al de laboratoria voor beproefing van materialen voorkomt.

#### 44. Verwering door het water.

Sprekend over de eenvoudige proeven die onmiddellijke aanduidingen over de kwaliteit van de gesteenten kunnen geven mag men de onderdompeling in water niet vergeten. Sommige gesteenten zijn na enkele minuten met water in aanraking te zijn geweest hun weerstand volledig kwijt. Sommige vallen in kleine stukken uiteen, andere worden plastisch en vergaan uiteindelijk tot slik. De beproefing van de weerstand tegen water werd op systematische wijze ingericht en wordt uitgevoerd in een zeker aantal laborato-

résistance à l'eau ont été systématisés et sont réalisés dans un certain nombre de laboratoires. De tels essais peuvent être réalisés d'une façon sommaire dans les locaux de la mine ou même dans les travaux du fond. Il est très important de connaître le comportement des roches en présence d'eau ou d'humidité.

## 5. CONCLUSION

En conclusion, nous nous réjouissons de l'élaboration d'un projet de directives pour l'exécution d'essais de résistance des roches. Ce projet subira sans doute des modifications. Il pourrait être complété, comme le laisse entrevoir notre commentaire. Nous espérons qu'il suscitera des réactions, car sa présentation nous a permis d'attirer à nouveau l'attention sur l'importance de la qualité des roches dans l'exploitation minière et nous croyons qu'il s'agit là d'une question primordiale pour la direction des travaux du fond.

riums. Om een dergelijke proef op een rudimentaire wijze uit te voeren volstaat een willekeurig lokaal van de mijn of zelfs de ondergrond. Het is van veel belang te weten hoe het gesteente zich gedraagt in aanwezigheid van water of vochtigheid.

## 5. BESLUITEN

Wij besluiten met te zeggen dat we ons eromverheugen dat richtlijnen voor het uitvoeren van weerstandproeven in eerste ontwerp werden uitgewerkt. Dit ontwerp zal ongetwijfeld nog gewijzigd worden. Het zou ook kunnen aangevuld worden, zoals ons commentaar laat vermoeden. Wij hopen dat reacties zullen volgen, want wij maken van de gelegenheid van zijn verschijnen gebruik om opnieuw de aandacht te vestigen op het groot belang van de kwaliteit der gesteenten in de mijnexploitatie; wij zijn inderdaad van mening dat deze kwestie van primordiaal belang is voor de ondergrondse werken.

## ANNEXES — BIJLAGEN

### INTERNATIONALES BUERO FUER GEBIRGSMECHANIK DER DEUTSCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN ZU BERLIN

#### DIRECTIVES POUR L'EXECUTION D'ESSAIS DE COMPRESSION DES ROCHES DANS L'EXPLOITATION MINIERE

#### RICHTLIJNEN VOOR HET UITVOEREN VAN DRUKPROEVEN OP GESTEENTEN IN MIJNONTGINNINGEN

##### 1. But.

L'essai de compression sert, par la recherche de la résistance à la compression des roches se rencontrant en sous-sol, à déterminer leur comportement en cas de mise en charge par les effets de l'exploitation.

##### 2. Définition de la notion.

La résistance à la compression est le quotient de la force maximum en contrainte de pression uniaxiale, par la section d'origine de l'éprouvette, perpendiculaire à la direction de la pression. C'est une valeur de comparaison qui dépend de la forme de l'éprouvette. C'est pourquoi dans les essais de pressions déterminés ci-après, les résultats se rapportent à la résistance à la compression de cylindres dont  $l/d = 1$ .

##### 1. Doel.

Het doel van de samendrukking is, door het opzoeken van de weerstand tegen druk van de gesteenten die in de ondergrond worden aangetroffen uit te maken hoe ze zich zullen gedragen wanneer ze tengevolge van de ontginningswerken onder belasting worden gezet.

##### 2. Definitie van het begrip.

De weerstand tegen druk is het quotient van de hoogste drukkracht volgens één as door de beginsectie van het proefstuk, loodrecht op de richting van de druk. Het gaat hier om een vergelijkende waarde afhankelijk van de vorm van het proefstuk. Om die reden worden in de verder beschreven drukproeven de resultaten gegeven voor cilindres waarvoor  $l/d = 1$ .

**3. Prise d'échantillons.**

Les échantillons de roche peuvent être obtenus :

- a) de carottes de forages profonds;
- b) de carottes provenant de forages des travaux miniers;
- c) de carottes de forages provenant de blocs de roche, pour lesquels la façon de les obtenir est quelconque; le travail au tir doit cependant être écarté.

Les carottes doivent être, si possible, forées à sec. Si ceci n'est pas possible pour des raisons techniques, le dépôt du liquide de lavage sera consigné au procès-verbal. Les échantillons hydratants sont immédiatement après leur obtention, enveloppés dans une matière étanche à l'eau. Les échantillons de pierres de sel sont conservés en dessiccateur.

Dans le cas de différences structurelles de la roche, les carottes seront forées, si possible, suivant trois directions orthogonales. L'endroit de la prise d'échantillon et l'orientation de celui-ci sont à indiquer avec précision.

**4. Nombre des éprouvettes.**

Le nombre *n* des éprouvettes pour un essai est à choisir d'après la variance, connue ou estimée, des résultats des essais (suivant tableau I).

Tableau I

Coefficient de variance <i>V</i> en %	Nombre d'éprouvettes <i>n</i>
30	9
25	6
20	4
15	3

Il n'est pas admis moins de 3 pièces.

**Remarque :**

Les paramètres statistiques sont calculés par les formules suivantes :

Moyenne arithmétique de la valeur mesurée *x<sub>i</sub>* :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Ecart type :

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Variance :

$$V = s/\bar{x} \cdot 100 (\%)$$

**3. Het nemen van monsters.**

De gesteentemonsters kunnen voortkomen van :

- a) kernen van diepboringen;
- b) kernen van boringen van uit de ondergrondse werken;
- c) kernen van boringen uitgevoerd in rotsblokken die op eender welke wijze bekomen werden, met uitzondering van springwerk.

Zo mogelijk moeten de kernen door droog boren worden bekomen. Indien zulks om technische redenen niet mogelijk is wordt het bezinksel uit het spoelwater bij het proces-verbaal gevoegd. Monsters die gehydrateerd kunnen worden moeten onmiddellijk na hun bereiding waterdicht worden verpakt. Zoutmonsters worden in een droogruimte bewaard.

Wanneer de gesteenten structureel heterogeen zijn worden de kernen zo mogelijk genomen in drie loodrecht op elkaar staande richtingen. Waar en in welke richting de monsters genomen werden moet nauwkeurig worden aangeduid.

**4. Aantal proefstukken.**

Het aantal proefstukken *n* moet voor een proef gekozen worden naargelang de veranderlijkheid, gekend of vermoed, van de resultaten der proeven (volgens tabel I).

Tabel I

Veranderlijkheidscoefficient <i>V</i> in %	Aantal proefstukken <i>n</i>
30	9
25	6
20	4
15	3

Een getal kleiner dan 3 is niet toegelaten.

**Opmerking :**

De statistische parameters worden volgens de volgende formules berekend :

Rekenkundig gemiddelde van de gemeten grootheid *x<sub>i</sub>* :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Type-afwijking :

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Veranderlijkheid :

$$V = s/\bar{x} \cdot 100 (\%)$$



### 5. Dimensions et forme des éprouvettes.

Les éprouvettes ont une forme cylindrique. On préférera les cylindres ayant un diamètre  $d = 42$  mm (ou  $1\frac{5}{8}$  suivant les normes internationales BX) et un rapport d'élanement  $l/d = 1$  où  $l$  est la hauteur du cylindre.

Des différences par rapport aux normes préférentielles sont admissibles dans l'intervalle entre 40 et 45 mm (diamètre et longueur) et jusqu'à 5% (coefficient d'élanement).

### 6. Préparation des éprouvettes.

Les éprouvettes sont produites par découpage de la carotte; les faces d'about doivent être parallèles entre elles et perpendiculaires à la surface extérieure cylindrique.

Les faces d'about doivent être planées de telle sorte que :

1. L'erreur de parallélisme mesurée sur un diamètre ne doit pas dépasser 0,05 mm.
2. L'erreur de perpendicularité des faces d'about par rapport à la surface extérieure ne doit pas dépasser 0,05 mm.
3. La courbure des faces d'about doit être inférieure à 0,03 mm.

### 7. Installation d'essai.

L'essai de compression peut être exécuté avec toute machine d'essai de compression appropriée. Les plaques d'appui doivent être polies mais non graissées. Une des plaques d'appui doit être montée sur joint sphérique.

### 8. Exécution de l'essai.

L'éprouvette est placée soigneusement entre les plaques d'appui de la machine d'essai. La vitesse de charge doit être réglée au début de l'essai entre 5 et 10 kp/cm<sup>2</sup>/s. La vitesse ainsi réglée est à maintenir autant que possible jusqu'à apparition de la rupture. La charge maximum définit la valeur recherchée.

La teneur en humidité ainsi que le poids et toutes autres propriétés de l'éprouvette, déterminables extérieurement, qui correspondent aux circonstances existantes, au lieu du prélèvement doivent être consignés avec précision dans le procès-verbal d'essai. On procédera, si possible, à l'examen pétrographique de la roche.

### 5. Afmetingen en vorm van de proefstukken.

De proefstukken hebben een cilindrische vorm. Men zal de voorkeur geven aan cylinders met een diameter  $d = 42$  mm (of  $1\frac{5}{8}$  volgens de internationale normen BX) en een verhouding slankheid  $l/d = 1$  waarin  $l$  de hoogte van de cylinder voorstelt.

Afwijkingen ten opzichte van deze voorkeurnormen kunnen toegelaten worden binnen de ruimte van 40 tot 45 mm (diameter en lengte) en tot 5% (slankheid).

### 6. Bereiding der proefstukken.

Men bekomt de proefstukken door de kern door te snijden; de eindvlakken moeten evenwijdig zijn aan elkaar en loodrecht staan op de uitwendige cilindrische mantel.

De eindvlakken moet afgevlakt worden zodanig dat :

1. De afwijking van het parallellisme gemeten volgens een diameter niet meer dan 0,05 mm belooft;
2. De afwijking van de loodrechte stand der vlakken ten opzichte van de mantel niet meer dan 0,05 mm bedraagt;
3. De kromming der eindvlakken minder dan 0,03 mm blijft.

### 7. Proefinstallatie.

De drukproef kan worden uitgevoerd met elke machine die voor een drukproef geschikt is. De steunvlakken moeten gepolijst doch niet gesmeerd zijn; één der steunplaten moet op een bolscharnier gemonteerd worden.

### 8. Uitvoering van de proef.

Het proefstuk wordt centrisc h tussen de steunvlakken van de proefbank opgesteld. De snelheid van belasten moet bij de aanvang van de proef geregeld worden tussen de 5 en de 10 kp/cm<sup>2</sup>/s. Eenmaal geregeld moet deze snelheid zoveel mogelijk behouden blijven tot de breuk optreedt. De hoogste belasting geeft de gezochte waarde.

Vochtgehalte en gewicht en alle andere kenmerken van het proefstuk, die uitwendig kunnen vastgesteld worden, en overeenkomen met de omstandigheden die op de plaats van het opnemen bestaan, moeten nauwkeurig in het proces-verbaal van de proef opgenomen worden. Indien mogelijk zal ook een petrografisch onderzoek op het gesteente verricht worden.

**9. Exploitation des résultats.**

De la force maximum  $P_{max}$  est déduite la résistance à la compression

$$\sigma_D = \frac{P_{max}}{F_0} \text{ (kp/cm}^2\text{)}$$

$F_0$  est la section d'origine de l'éprouvette perpendiculaire à la direction de la pression. Si l'éprouvette soumise à l'essai a un coefficient d'élanement anormal, on calcule la résistance en appliquant la formule :

$$\sigma_D = \frac{9 \cdot \sigma_a}{7 + 2 d/l}$$

dans laquelle  $\sigma$  est la résistance à la compression mesurée avec le coefficient d'élanement anormal. Le calcul de transformation est à renseigner au procès-verbal de l'essai.

**10. Caractérisation de la valeur.**

Pour caractériser la valeur de la résistance, il est recommandé de donner les valeurs moyennes suivant le tableau II où le facteur de progression  $p = 1,5$  est à la base de l'échelle des valeurs moyennes des résistances.

Tableau II

Résistances kp/cm <sup>2</sup>	Résistances moyennes kp/cm <sup>2</sup>
< 40	30
40 — 60	50
60 — 100	80
100 — 150	120
150 — 230	180
230 — 350	280
350 — 520	400
520 — 800	600
800 — 1200	900
1200 — 1800	1350
1800 — 2700	2000
> 2700	3000

**11. Supplément.**

Dans les cas où la prise de carottes de sondage n'est pas possible, on peut utiliser des procédés d'examen sur éprouvettes brutes. La méthode repose sur une proposition du professeur Dr M.M. Protodiakonov et Dr V.S. Voblikov, Institut des Mines de l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S. Elle est recommandée pour les essais de pression sur roches cassantes.

**9. Aanwending van de resultaten.**

Uit de maximale kracht  $P_{max}$  leidt men de drukweerstand af

$$\sigma_D = \frac{P_{max}}{F_0} \text{ (kp/cm}^2\text{)}$$

$F_0$  stelt de oorspronkelijke sectie van het proefstuk loodrecht op de richting van de drukkracht voor. Wanneer het gebruikte Proefstuk een abnormale slankheid vertoont, wordt de weerstand volgens de volgende formule berekend :

$$\sigma_D = \frac{9 \cdot \sigma_a}{7 + 2 d/l}$$

waarin  $\sigma_a$  de drukweerstand gemeten bij een normale slankheid voorstelt. Deze transformatieberekening moet in het proces-verbaal vermeld worden.

**10. Het karakteriseren van de gevonden waarde.**

Om de waarde van de weerstand te karakteriseren gebruikt men bij voorkeur de gemiddelde waarden volgens tabel II die de factor 1,5 bevat als verhouding tussen de gemiddelde waarden van de weerstand.

Tabel II

Weerstand kp/cm <sup>2</sup>	Gemiddelde weerstand kp/cm <sup>2</sup>
< 40	30
40 — 60	50
60 — 100	80
100 — 150	120
150 — 230	180
230 — 350	280
350 — 520	400
520 — 800	600
800 — 1200	900
1200 — 1800	1350
1800 — 2700	2000
> 2700	3000

**11. Bijvoegsel.**

In die gevallen waarin geen kernboring kan worden uitgevoerd, kan men andere procédés toepassen, bestaande uit proeven op brute monsters. Men gaat hier uit van een voorstel van professor Dr M.M. Protodiakonov en Dr V.S. Voblikov, Instituut der Mijnen van de Academie der Wetenschappen van de U.S.S.R. Dit voorstel is aanbevelenswaardig voor drukproeven op broze gesteenten.

**A. Exécution de l'éprouvette. — Forme et dimensions de l'éprouvette.**

Les éprouvettes peuvent être exécutées à partir de blocs de roche provenant de l'abattage, ou à partir de carottes de sondages profonds. Par la réduction de gros blocs de roche au moyen de marteaux à main, de dispositifs de concassage ou autres, on confectionne des éprouvettes qui doivent avoir une forme ovoïde avec un rapport des petits aux grands diamètres d'environ 1,5.

Des morceaux ayant la forme de plaques ou de prismes, ainsi que les fragments concaves, ne conviennent pas.

On doit utiliser des éprouvettes d'un volume de 100 cm<sup>3</sup>. Pour obtenir les morceaux répondant à ces conditions, on arrondit les arêtes vives des morceaux bruts par de légers coups de marteau.

On détermine le volume de l'éprouvette par son poids et son poids spécifique. Les éprouvettes prises isolément ne doivent montrer aucune différence de poids plus grande que 2 %.

D'après la précision désirée, on doit examiner 15 à 25 éprouvettes de roche.

Du poids moyen des éprouvettes et du poids spécifique de la roche, on déduit le volume V moyen en cm<sup>3</sup>. La section moyenne d'une éprouvette est alors de :

$$F = \sqrt[3]{\pi/4 \cdot V^2} \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$= 0,92 \sqrt[3]{V^2} \approx \sqrt[3]{V^2}$$

**B. Exécution d'un essai de compression.**

L'essai de pression peut être exécuté sur toute machine à essais de pression appropriée.

L'éprouvette est placée entre les plaques d'appui polies de manière que son grand axe soit parallèle à la direction de la pression et la stratification perpendiculaire, suivant possibilité, à cette direction de pression (fig. 2).

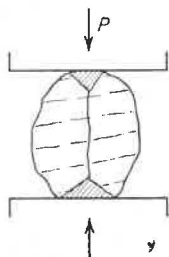


Fig. 2.

Disposition de l'éprouvette soumise à l'essai après préparation sommaire.

Stand van het proefstuk tijdens de proef na een rudimentaire bereiding.

**A. Bereiding van het proefstuk. — Vorm en afmetingen van het proefstuk.**

De proefstukken kunnen gemaakt worden uit blokken gevonden in de ontginningswerken of uit de kernen van diepboringen. Door grote rotsblokken kleiner te maken door middel van een gewone hamer, een breker of iets dergelijks, vormt men proefstukken met een eivorm, zodat de verhouding tussen de kleine en de grote diameters ongeveer 1,5 bedraagt.

Stukken wier vorm eerder die is van een plaat of een prisma evenals concave stukken komen niet in aanmerking.

Men moet proefstukken met een volume van 100 cm<sup>3</sup> gebruiken. Om stukken te bekomen die aan deze voorwaarden voldoen, moet men de scherpe randen van de brute stukken met lichte hamerslagen bewerken.

Men bepaalt het volume van het proefstuk door middel van het gewicht en het soortelijk gewicht. Elk afzonderlijk gewogen mogen de proefstukken geen grotere afwijking dan 2 % vertonen.

Naargelang de verwachte precisie moet men 15 tot 25 proefstukken van dezelfde rots onderzoeken.

Uit het gemiddeld gewicht van de proefstukken en het soortelijk gewicht van de rots leidt men het volume af in cm<sup>3</sup>. De gemiddelde sectie van een proefstuk is dan :

$$F = \sqrt[3]{\pi/4 \cdot V^2} \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$= 0,92 \sqrt[3]{V^2} \approx \sqrt[3]{V^2}$$

**B. Het uitvoeren van een drukproef.**

De drukproef kan uitgevoerd worden met elke machine voor drukproeven die geschikt is.

Het proefstuk wordt tussen de gepolijste steunvlakken geplaatst zodanig dat zijn grote as evenwijdig is met de richting van de druk en de gelaagheid zo mogelijk dwars op deze richting staat (fig. 2).

De belasting moet op zulke wijze toenemen dat de vervorming voor de breuk optreedt met een snelheid van 5 tot 15 mm/min. Men zal de maximum belasting noteren. Springen er stukken af tijdens de proef, die op hetzelfde ogenblik dat de breuk geschiedt zouden kunnen geplet worden, dan moet men deze stukken verwijderen. Terwijl men dat doet moet men ervoor zorgen het hoofdgedeelte van het proefstuk niet te verplaatsen.

**C. Breukweerstand.**

De waarde van de breukweerstand wordt bepaald als de maximum belasting, ongeacht of deze in het begin of op het einde van de proef wordt waargenomen.

La charge doit augmenter à un rythme tel que la vitesse de déformation avant rupture soit de 5 à 15 mm/min. Noter la charge maximum. En cours d'essai, il faut écarter d'éventuels morceaux qui risqueraient d'être écrasés en même temps que la partie principale de l'éprouvette. En écartant les morceaux, on veillera à ne pas déplacer la partie principale de l'éprouvette.

**C. Résistance à la rupture.**

Comme valeur de la charge de rupture on prend la valeur maximum, indépendamment du fait qu'elle s'indique au début ou à la fin de l'essai.

De toutes les éprouvettes examinées, on calcule la valeur moyenne de la charge de rupture P en kp.

La résistance d'éprouvettes de formes irrégulières est déterminée par

$$\sigma_p = P/F \text{ (kp/cm}^2\text{)} \quad (1)$$

où F est la section moyenne de toutes les éprouvettes. Pendant la compression d'éprouvettes de formes irrégulières, il se forme aux points de contact avec les plaques d'appui de la presse, hors de la roche écrasée, des coins coniques qui provoquent une division verticale de l'éprouvette.

Dès lors, la résistance  $\sigma_p$  calculée suivant la formule ci-dessus est une valeur relative de la résistance de la roche.

Pour la plupart des roches, le rapport de la résistance de rupture  $\sigma_p$  d'éprouvettes irrégulières à la résistance uniaxiale  $\sigma_D$  d'éprouvettes uniformes vaut 0,19. Ce rapport peut être utilisé comme mesure des propriétés de ténacité plastique des roches.

Pour certaines roches particulièrement cassantes, ce rapport se réduit jusque 0,08 et, pour des roches relativement tenaces et plastiques, il atteint jusque 0,50. Parfois, après le rassemblement de données supplémentaires, ce coefficient peut être précisé.

**D. Compléments.**

Lors d'essais d'éprouvettes d'un volume de 100 cm<sup>3</sup>, l'influence du facteur de masse est insignifiante et peut être négligée. Dans le cas où le facteur de masse doit être connu, on doit exécuter des essais sur deux grandeurs d'éprouvettes, soit par exemple :

$$V_1 = 10 \text{ cm}^3 \quad V_2 = 100 \text{ cm}^3$$

Men berekent de gemiddelde waarde van de breukbelasting P en kp, uitgaande van al de bekomen uitslagen.

De weerstand van onregelmatig gevormde proefstukken wordt gegeven door

$$\sigma_p = P/F \text{ (kp/cm}^2\text{)} \quad (1)$$

waarin F de gemiddelde sectie van al de proefstukken voorstelt. Bij het samendrukken van proefstukken van onregelmatige vorm komen er in de contactpunten met de steunvlakken der pers, buiten het verpulverd gedeelte van de rots, nog konische wiggen die een vertikaal splijten van het proefstuk veroorzaken.

De volgens hogervermelde formule berekende weerstand  $\sigma_p$  geeft bijgevolg een betrekkelijke waarde voor de weerstand van de steen.

Voor de meeste gesteenten ligt de verhouding tussen de breukweerstand  $\sigma_p$  van onregelmatig gevormde proefstukken en de weerstand  $\sigma_D$  volgens één as van regelmatige proefstukken bij 0,19. Deze verhouding kan gebruikt worden als maatstaf voor de plastische taaiheid van gesteenten.

Voor sommige zeer broze soorten kan de verhouding teruglopen tot 0,08 en voor bijzonder taaie en plastische rotsen kan ze tot 0,50 gaan. Soms kan deze verhouding na het verzamelen van meer gegevens nauwkeuriger worden bepaald.

**D. Aanvullingen.**

Bij proefstukken van 100 cm<sup>3</sup> kan de factor massa verwaarloosd worden wegens zijn geringe invloed. In die gevallen waarin de factor massa moet gekend zijn moet men een proef uitvoeren op proefstukken van twee grootten, bij voorbeeld

$$V_1 = 10 \text{ cm}^3 \quad V_2 = 100 \text{ cm}^3$$

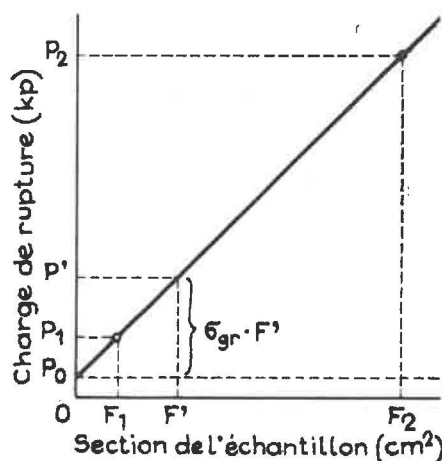


Fig. 3.

Relation entre la charge de rupture et la section de l'éprouvette. Charge P en kg - section F en cm<sup>2</sup>.

Verband tussen breukbelasting en sectie van het proefstuk. Belasting P in kg - sectie F in cm<sup>2</sup>.

Charge de rupture : breukbelasting — Section de l'échantillon : doorsnede van het proefstuk.

La relation entre la section de l'éprouvette  $F_1$  qui est déterminée par la formule (1) et la charge de rupture est linéaire (fig. 3) suivant la formule

$$P \cong P_0 + \sigma_p \cdot F \quad (\text{kp}) \quad (3)$$

L'ordonnée d'origine  $P_0$  représente un paramètre pour l'influence de l'effet de masse sur la résistance.

On a :

$$P_0 \cong \frac{P_1 F_2 - P_2 F_1}{F_2 - F_1} \quad (\text{kp}) \quad (4)$$

L'angle d'inclinaison de la droite  $\sigma_p$  ( $\text{kp}/\text{cm}^2$ ) représente la limite de résistance d'éprouvettes irrégulières.

$$\sigma_p = \frac{P_2 - P_1}{F_2 - F_1} \quad (\text{kp}/\text{cm}^2) \quad (5)$$

En divisant l'égalité (3) par la section de l'éprouvette  $F$  ( $\text{cm}^2$ ), on obtient la résistance d'éprouvettes irrégulières en relation avec leur section.

$$\sigma_{p_1} \cong \sigma_p + \frac{P_0}{F} \quad (\text{kp}/\text{cm}^2)$$

De verhouding tussen de sectie  $F_1$  bepaald volgens de formule (1) en de breukbelasting van het proefstuk is lineair (fig. 3) volgens de formule

$$P \cong P_0 + \sigma_p \cdot F \quad (\text{kp}) \quad (3)$$

De ordinaat van de oorsprong  $P_0$  stelt een parameter voor de invloed van het massaffect op de weerstand.

Men heeft :

$$P_0 \cong \frac{P_1 F_2 - P_2 F_1}{F_2 - F_1} \quad (\text{kp}) \quad (4)$$

De hellingshoek van de rechte  $\sigma_p$  ( $\text{kp}/\text{cm}^2$ ) geeft de weerstandsgrens van het onregelmatig proefstuk.

$$\sigma_p = \frac{P_2 - P_1}{F_2 - F_1} \quad (\text{kp}/\text{cm}^2) \quad (5)$$

Deelt men de gelijkheid (3) door de sectie van het proefstuk  $F$  ( $\text{cm}^2$ ) dan bekomt men de weerstand der onregelmatige proefstukken ten opzichte van hun sectie.

$$\sigma_{p_1} \cong \sigma_p + \frac{P_0}{F} \quad (\text{kp}/\text{cm}^2)$$

## DIRECTIVES POUR LA DETERMINATION DE LA RESISTANCE DES ROCHES A LA TRACTION DANS L'EXPLOITATION MINIERE

### RICHTLIJNEN VOOR HET BEPALEN VAN DE TREKWEERSTAND VAN GESTEENTEN EN MIJNONTGINNINGEN

#### 1. But.

Les recherches de laboratoire pour la détermination de la résistance à la traction des roches servent à obtenir des valeurs de comparaison qui permettent de juger de la tenue des roches en exploitation des mines en cas de sollicitations de tension ou de flexion.

#### 2. Définition de la notion.

Pour la détermination de la résistance à la traction des roches, on utilise l'essai d'éclatement (division). Le corps d'épreuve est soumis à une force de pression suivant deux lignes opposées de sa surface (ou plus précisément des bandes). La force de pression libre à l'intérieur du corps d'épreuve des tensions de traction, agissant sui-

#### 1. Doel.

Met opsporingswerk in het laboratorium voor de bepaling van de trekweerstand van gesteenten beoogt men het vastleggen van vergelijkingswaarden waardoor het mogelijk wordt zich een oordeel te vormen over de houding der gesteenten in de mijnontginning wanneer ze op trek of buiging worden belast.

#### 2. Definitie van het begrip.

Om de weerstand van gesteenten tegen trek te bepalen gebruikt men de splijtproef. Het te beproeven stuk wordt blootgesteld aan een drukkracht volgens twee lijnen die tegenover elkaar op de cylindermantel gelegen zijn. De drukkracht veroorzaakt in het inwendige van het proefstuk

vant une direction perpendiculaire à la force de pression et qui fendent le corps d'épreuve en deux moitiés. Comme résistance à la traction, on prend la grandeur théorique de la tension transversale au début de la rupture. Elle est appelée résistance à l'éclatement (à la division).

**3. Prise d'échantillons.**

Les échantillons de roche peuvent être obtenus :

- a) de carottes de forages profonds (exécutés à partir de la surface);
- b) de carottes provenant de forages de travaux miniers;
- c) de carottes de forages provenant de blocs de roche pour lesquels la façon de les obtenir est quelconque; le travail au tir doit cependant être écarté.

Les carottes doivent être si possible forées à sec. Si ceci n'est pas possible pour des raisons techniques, le dépôt du liquide de lavage sera consigné au procès-verbal. Les échantillons hydratables sont, immédiatement après leur obtention, enveloppés dans une matière étanche à l'eau. Les échantillons de pierres de sel sont conservés en dessiccateur. Dans le cas de différences structurales de la roche, les carottes seront forées si possible suivant trois directions orthogonales. L'endroit de la prise d'échantillons et l'orientation de celui-ci sont à indiquer avec précision.

**4. Nombre des éprouvettes.**

Le nombre *n* des éprouvettes pour un essai est à choisir d'après la variance, connue ou estimée, des résultats des essais (suivant tableau III).

Tableau III

Coefficient de variance <i>V</i> en %	Nombres d'éprouvettes <i>n</i>
30	9
25	6
20	4
15	3

Il n'est pas admis moins de 3 pièces.

*Remarque :*

Les paramètres statistiques sont calculés par les formules suivantes :

Moyenne arithmétique de la valeur mesurée  $X_1$  :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_1^n X_1$$

trekspanningen, werkend in een richting die loodrecht op de drukkracht gelegen is, en die het proefstuk in twee helften doen splijten. Als trekweerstand neemt men de theoretische waarde van de dwarse trekspanningen op het ogenblik dat de breuk begint. Men noemt ze weerstand tegen splijting.

**3. Het nemen van de monsters.**

De monsters kunnen voortkomen van :

- a) kernen van diepboringen;
- b) kernen van boringen van uit ondergrondse werken;
- c) kernen van boringen uitgevoerd in rotsblokken die op eender welke wijze bekomen werden, met uitzondering van springwerk.

Zo mogelijk moeten de kernen door droog boren worden bekomen. Indien zulks om technische redenen niet mogelijk is, wordt het bezinksel uit het spoelwater bij het proces-verbaal gevoegd. Monsters die gehydrateerd kunnen worden moeten onmiddellijk na hun bereiding waterdicht verpakt worden. Zoutmonsters worden in een droogruimte bewaard. Wanneer de gesteenten structureel heterogeen zijn worden de kernen zo mogelijk genomen in drie loodrecht op elkaar staande richtingen. Waar en in welke richting de monsters genomen werden moet nauwkeurig worden aangeduid.

**4. Aantal proefstukken.**

Het aantal proefstukken *n* moet voor een proef gekozen worden naargelang de veranderlijkheid, gekend of vermoed, van de resultaten der proeven (volgens tabel III).

Tabel III

Veranderlijkheidscoefficient <i>V</i> in %	Aantal proefstukken <i>n</i>
30	9
25	6
20	4
15	3

Een getal kleiner dan 3 is niet toegelaten.

*Opmerking :*

De statistische parameters worden volgens de volgende formules berekend :

Rekenkundig gemiddelde van de gemeten grootte  $X_1$  :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_1^n X_1$$

Ecart type

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Variance

$$V = S/\bar{X} \cdot 100 (\%)$$

### 5. Dimensions et formes des éprouvettes.

Les éprouvettes ont la forme d'un cylindre de diamètre  $d$  et hauteur  $h$ , qui peuvent aller de 40 à 45 mm.

### 6. Préparation des éprouvettes.

La surface extérieure de l'éprouvette peut être travaillée par forage et tournage. Des erreurs locales de diamètre entre les génératrices de la surface en charge et des droites sont admises jusqu'à 0,4 mm.

Les dimensions nécessaires au calcul des résultats sont mesurées avec la précision du 0,1 mm. Pour le diamètre du cylindre, on prend la moyenne des diamètres de la surface extérieure à ses extrémités et à son milieu, la hauteur du cylindre est la moyenne de la hauteur prise à la surface extérieure et dans son axe. Pour le calcul des résultats de l'essai, on prend la moyenne arithmétique de ces valeurs arrondies au mm.

On peut utiliser pour l'essai, des cylindres dont les faces d'about ne sont pas travaillées. Ces éprouvettes doivent alors être chargées de telle sorte que les faces de rupture choisies forment un angle droit. Les dimensions (avant tout la distance de ces angles droits, c'est-à-dire la hauteur du cylindre) seront convenablement mesurées seulement après la destruction, sur la surface de rupture réelle.

### 7. Installation d'essai.

Pour la réalisation, toute machine d'essai (presse) suffit, dont la force est suffisante pour atteindre la destruction de l'éprouvette. Une des deux plaques d'appui de la presse doit être montée sur rotule, de telle sorte que des différences de diamètre aux extrémités de l'éprouvette soient égalisées.

### 8. Réalisation des essais.

L'éprouvette est placée comme un cylindre couché entre les plaques d'appui de la presse. La force de pression — exercée sur les surfaces de rupture choisies — est augmentée d'une manière

Type-afwijking :

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Veranderlijkheid :

$$V = S/\bar{X} \cdot 100 (\%)$$

### 5. Afmetingen en vorm van de proefstukken.

De proefstukken hebben de vorm van een cylinder met een diameter  $d$  en een hoogte  $h$ , die kunnen gaan van 40 tot 45 mm.

### 6. Bereiding der proefstukken.

Het buitenoppervlak van het proefstuk kan geboord of gedraaid zijn. Plaatselijke afwijkingen in doormeter tussen de belaste generatrices mogen 0,4 mm bereiken.

De afmetingen van het proefstuk, die men nodig heeft voor de berekening van het resultaat, worden opgemeten met een nauwkeurigheid van 0,1 mm. De diameter van de cylinder wordt gemeten aan de uiteinde en in het midden van het vlak der belastingen, de hoogte van de cylinder volgens de twee belastinglijnen en de as van de cylinder. Het rekenkundig gemiddelde van deze metingen wordt op de mm afgerond.

Men kan voor deze proef ook cylinders gebruiken waarvan beide eindvlakken niet bewerkt zijn. Deze cylinders moeten echter zo geplaatst worden dat het daaruit volgend breukvlak een rechthoek is. De afmetingen van deze rechthoek, en vooral zijn breedte, die met de hoogte van de cylinder overeenkomt, worden best pas na de breuk op het werkelijk breukvlak opgemeten.

### 7. Proefinstallatie.

De splijtproef kan worden uitgevoerd op elke daartoe geschikte machine. Een der drukplaten van de pers moet op zodanige manier scharnierend gevestigd worden dat een verschil in diameter tussen de uiteinden van het proefstuk wordt gecompenseerd.

### 8. Uitvoering van de proef.

Het proefstuk wordt liggend en goed gecentreerd tussen de drukplaten van de pers aangebracht. De drukkracht — aangelegd volgens een vooraf gekozen breukvlak — wordt op geleidelijke wijze verhoogd met 1 tot 5 kp/cm<sup>2</sup>/s tot het proef-

continue à une vitesse de 1 à 5 kp/cm<sup>2</sup>/s jusqu'à rupture de l'éprouvette (ordinairement dans le plan de la charge). La force maximum atteinte est renseignée.

Pour certaines sortes de roches, dont les propriétés dépendent de l'humidité, on fait la moyenne de la teneur en eau des morceaux après destruction de l'éprouvette. Suivant nécessité, on peut déterminer d'autres propriétés (poids spécifique, densité apparente).

### 9. Exploitation des résultats.

La résistance à l'éclatement est calculée à partir de la formule

$$\sigma_z = \frac{2 P}{\pi dh} \quad (\text{kp/cm}^2)$$

dans laquelle

- P = charge maximum (kp)
- d = diamètre du cylindre (cm)
- h = hauteur (longueur) du cylindre (cm)

stuk breekt (meestal volgens het belastingsvlak). De hoogste bereikte belasting wordt opgetekend.

Bij steensoorten waarbij de eigenschappen van de vochtigheidsgraad afhangen, wordt het watergehalte opgemeten op het breukvlak na de proef. Zo nodig kunnen nog meer eigenschappen (schijnbaar of gewoon soortelijk gewicht) bepaald worden.

### 9. Aanwending van de resultaten.

De splijttrekvastheid wordt berekend als volgt :

$$\sigma_z = \frac{2 P}{\pi dh} \quad (\text{kp/cm}^2)$$

Hierin zijn

- P = de hoogste kracht (kp)
- d = de diameter van de cylinder (cm)
- h = de hoogte van de cylinder (cm)

## DIRECTIVES POUR L'EXECUTION D'ESSAIS DE CISAILLEMENT DES ROCHES DANS L'EXPLOITATION MINIERE

### RICHTLIJNEN VOOR HET UITVOEREN VAN SCHUIFPROEVEN OP GESTEENTEN EN MIJNONTGINNINGEN

#### 1. But.

La signification des expériences de laboratoire pour la recherche de la résistance au cisaillement des roches consiste en la production de valeurs de comparaison qui permettent des prévisions sur la tenue des roches à l'occasion de sollicitations de pression et de glissements simultanés comme conséquence de travaux miniers.

#### 2. Définition de la notion.

a) La résistance au glissement est la tension tangentielle dans un corps, conduisant à la rupture, et qui suppose un état de tension égale dans toutes ses parties. La direction de la cassure est quelconque.

b) La résistance au cisaillement est celle des forces tangentielles établies sur toute la surface de rupture, pour laquelle la répartition des tensions est irrégulière et la direction de la cassure obligée, par le dispositif d'essai, de passer dans une zone de plus grande contrainte. En raison de la répartition irrégulière des tensions de cisaillement sur la surface de rupture, la résistance au

#### 1. Doel.

Laboratoriumopzoeken voor het bepalen van de schuifvastheid van gesteenten hebben tot doel vergelijkingswaarden vast te leggen, waardoor het mogelijk wordt zich een oordeel te vormen over de houding van het gesteente bij belasting door samenwerkende druk en glijkrachten als gevolg van terreinbewegingen.

#### 2. Definitie van het begrip.

De glijvastheid is de tangentiële spanning, op het ogenblik van de breuk, in een lichaam dat onderworpen is aan een spanningtoestand die in elk zijner delen dezelfde is. De breukrichting is onbepaald.

De schuifvastheid is de tangentiële kracht gedeeld door de grootte van het breukvlak in al die gevallen waarin de spanning ongelijkmatig verdeeld is en de richting van de breuk door de proefinrichting in een zone van grootste belasting wordt gesitueerd. Vermits de schuifspanning ongelijkmatig over het breukoppervlak verdeeld is, is de schuifvastheid een gemiddelde waarde. Deze



cisaillement sera une valeur moyenne. Sa valeur maximum dépend de la forme de l'éprouvette et de la direction de la charge et ne peut donc servir que comme valeur de comparaison.

La résistance au glissement n'est techniquement définissable que pour des corps élémentaires suffisamment petits. Sa mesure n'est pas pratiquement réalisable pour des roches. La résistance au cisaillement est seule mesurable.

Choisi parmi d'autres essais possibles (par ex. essai de pression triaxial, essai de cisaillement avec forces perpendiculaire et de cisaillement applicables séparément ou dans un rapport constant), on doit décrire dans les présentes directives un projet d'essai de cisaillement : celui de Fisenko et Ilnickaja. La résistance au cisaillement peut, grâce à cet essai, être mesurée pour différentes directions de rupture sous l'effet de forces normales.

### 3. Prises d'échantillons.

Les échantillons de roche peuvent être obtenus :

- de carottes de sondages profonds;
- de carottes provenant de forages de travaux miniers;
- de carottes de forages provenant de blocs de roche obtenus de manière quelconque, le travail au tir étant cependant écarté. Les carottes doivent être si possible forées à sec. Si ceci n'est pas possible pour des raisons techniques, le dépôt du liquide de lavage sera consigné au procès-verbal. Les échantillons hydratables sont immédiatement après leur obtention, enveloppés dans une matière étanche à l'eau. Les échantillons de pierres de sel sont conservés en dessiccateur.

Dans le cas de différences structurelles de la roche, les carottes seront prélevées par foration si possible suivant trois directions orthogonales.

L'endroit de la prise d'échantillons et l'orientation de celui-ci sont à indiquer avec précision.

### 4. Nombre des éprouvettes.

Le nombre  $n$  des éprouvettes pour un essai est à choisir d'après la variance, connue ou estimée, des résultats des essais (suivant Tableau IV).

Tableau IV

Coefficient de variance $V$ en %	Nombre d'éprouvettes $n$
30	9
25	6
20	4
15	3

Il n'est pas admis moins de 3 pièces.

waarde hangt af van de vorm van het proefstuk en de proefinstallatie en kan dan ook enkel een vergelijkende rol spelen.

De glijvastheid heeft enkel betekenis voor voldoende kleine lichamen; strikt genomen kan ze op gesteenten niet gemeten worden; en kel de schuifvastheid is meetbaar. Tussen de bestaande mogelijkheden, bij voorbeeld drukproeven volgens drieassen, schuifproeven met afzonderlijk instelbare of een bepaalde verhouding tot elkander staande normale en schuifkrachten dient in deze richtlijnen de schuifproef volgens Fisenko en Ilnickaja beschreven te worden. De schuifvastheid kan bij verschillende breukrichtingen en normaalkrachten gemeten worden.

### 3. Het nemen van de monsters.

De monsters kunnen voortkomen van :

- kernen van diepboringen;
- kernen van boringen van uit ondergrondse werken;
- kernen van boringen uitgevoerd in rotsblokken die op eender welke wijze bekomen werden, met uitzondering van springwerk.

Zo mogelijk moeten de kernen door droog boren worden bekomen. Indien zulks om technische redenen niet mogelijk is, wordt het bezinksel uit het spoelwater bij het proces-verbaal gevoegd. Monsters die gehydrateerd kunnen worden moeten onmiddellijk na hun bereiding waterdicht verpakt worden. Zoutmonsters worden in een droogruimte bewaard.

Wanneer de gesteenten structureel heterogeen zijn, worden de kernen zo mogelijk genomen in drie loodrecht op elkaar staande richtingen. Waar en in welke richting de monsters genomen werden moet nauwkeurig worden aangeduid.

### 4. Aantal proefstukken.

Het aantal proefstukken  $n$  moet voor een proef gekozen worden naargelang de veranderlijkheid, gekend of vermoed, van de resultaten der proeven (volgens tabel IV).

Tabel IV

Veranderlijkheidscoefficient $V$ in %	Aantal proefstukken $n$
30	9
25	6
20	4
15	3

Een getal kleiner dan 3 is niet toegelaten.

**Remarque :**

Les paramètres statistiques sont calculés par les formules suivantes.

Moyenne arithmétique de la valeur mesurée  $X_i$

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

Ecart type

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Variance

$$V = S/\bar{X} \cdot 100 (\%)$$

**5. Dimensions et formes des éprouvettes.**

Les éprouvettes ont une forme cylindrique. Le diamètre et la longueur de l'éprouvette sont 42 mm. Par exception, on peut accepter un diamètre de 70 mm; cependant les résultats ne sont pas comparables.

**6. Préparation des éprouvettes.**

Le diamètre moyen de l'éprouvette doit être plus petit que le diamètre intérieur des berceaux dans le dispositif d'essai (par. 7), mais cependant pas de plus de 0,1 mm. La longueur des éprouvettes peut varier de  $\pm 2,5$  mm; des erreurs locales de diamètre d'éprouvette par rapport à la valeur moyenne doivent se limiter à  $\pm 0,05$  mm et les différences des faces d'about en plan et perpendicularité sur la surface latérale ne doivent pas dépasser 0,05 mm.

Les carottes de roches sont, en cas de nécessité, tournées au diamètre nécessaire. La surface latérale et les faces d'about seront rectifiées. Les mesures sont à relever exactement avec des outils de précision.

**7. Dispositif d'essai.**

La recherche de la résistance au cisaillement se fait dans un dispositif suivant fig. 4. Ce dispositif peut être placé dans toute presse d'essai quelconque dont la puissance est suffisante pour parvenir à la destruction de l'éprouvette.

Ce dispositif comprend : supports intermédiaires (a), matrices interchangeables (b), coins (c), plateaux (d) et un roulement à bille (e). Il est recommandé d'avoir à disposition trois paires de matrices avec angles d'inclinaison de 30°, 45° et 60° et une paire de coins à 5°. Si on tourne le coin de 180° ou si on ne l'emploie pas, on peut obtenir les angles d'inclinaison indiqués au Tableau V.

**Opmerking :**

De statistische parameters worden volgens de volgende formules berekend :

Rekenkundig gemiddelde van de gemeten grootheid  $X_i$  :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

Type-afwijking :

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Veranderlijkheid :

$$V = S/\bar{X} \cdot 100 (\%)$$

**5. Afmetingen en vorm van de proefstukken.**

De proefstukken hebben de vorm van een cylinder. Diameter en lengte daarvan bedragen 42 mm. Uitzonderlijk mag een diameter van 70 mm aangenomen worden; in dat geval zijn de uitslagen echter niet meer vergelijkbaar.

**6. Bereiding der proefstukken.**

De gemiddelde diameter van het proefstuk moet kleiner zijn dan de binnendiameter van de goot waarin het stuk gelegd wordt tijdens de proef, doch het verschil mag niet meer dan 0,1 mm bedragen. In de lengten zijn afwijkingen van  $\pm 2,5$  mm toegelaten; plaatselijke afwijkingen van de diameter ten opzichte van het gemiddelde mogen niet meer dan  $\pm 0,05$  mm belopen; oneffenheden op de basisvlakken of afwijkingen van deze vlakken ten opzichte van de loodlijn op de mantel mogen niet meer bedragen dan 0,05 mm.

Zo nodig worden de proefstukken op de gewenste diameter afgedraaid. Mantel- en basisvlakken worden geslepen. De afmetingen moeten door middel van precisiewerktuigen nauwkeurig nagemeten worden.

**7. Proefinstallatie.**

Voor het bepalen van de schuifvastheid gebruikt men de inrichting voorgesteld in fig. 4. Deze kan aangebracht worden in eender welke pers, die voldoende kracht kan ontwikkelen om de breuk van het gesteente te veroorzaken.

Bij deze inrichting behoren tussenleggers *a*, matrijzen *b* die kunnen verwisseld worden, wiggen *c*, platte vlakken *d* en een rollager *e*. Het best beschikt men over drie paar matrijzen met een helling van 30, 45 en 60° en een paar wiggen met een helling van 5°. Door deze wiggen 180° om te draaien of helemaal niet te gebruiken, verkrijgen de tussenleggers de volgende hellingen :

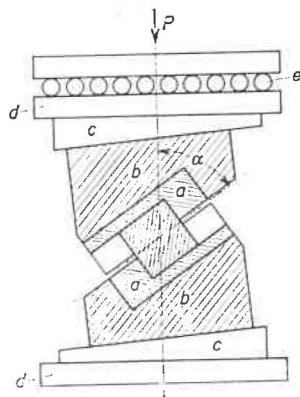


Fig. 4.  
Essai de cisaillement.

a : support intermédiaire - tussenlegger — b : matrices interchangeable - matrijzen die kunnen verwisseld worden — c : coin - wig — d : plateau de presse - platte vlakke — e : rouleaux - rollager —  $\alpha$  : angle d'inclinaison du support intermédiaire - hellingshoek der tussenlegger

Tableau V

Matrice	Coin	Angle d'inclinaison
30	— 5	25
30	0	30
30	+ 5	35
45	— 5	40
45	0	45
45	+ 5	50
60	— 5	55
60	0	60
60	+ 5	65

Toutes les pièces du dispositif doivent être exécutées en acier de haute valeur, traité.

### 8. Réalisation des essais.

L'éprouvette à expérimenter est placée au centre du berceau du support de la matrice inférieure et couverte par le support intermédiaire de la matrice supérieure. Les espaces éventuels entre l'éprouvette et les berceaux doivent être remplis par des feuilles de cuivre. Sur les matrices sont placés le roulement à billes et les plaques d'acier. Les axes du roulement doivent être parallèles à la face de cisaillement. L'ensemble du dispositif est placé soigneusement entre les plaques d'appui de la presse. La vitesse de charge, rapportée à la pression par  $\text{cm}^2$  de la surface de cisaillement, doit être fixée dès le début de l'essai de 5 à 10  $\text{kp}/\text{cm}^2/\text{s}$ . La vitesse de déformation ainsi fixée doit être maintenue autant que possible jusqu'à la rupture. La charge maximum définit la valeur recherchée.

Fig. 4.  
Afschuivingsproef.

Tabel V  
Hellingshoek (in graden)

van de matrijs	van de wig	van de tussenleggers
30	— 5	25
30	0	30
30	+ 5	35
45	— 5	40
45	0	45
45	+ 5	50
60	— 5	55
60	0	60
60	+ 5	65

Alle onderdelen der inrichting moeten vervaardigd zijn uit hoogwaardig veredeld staal.

### 8. Uitvoering van de proef.

Het te onderzoeken proefstuk wordt in de opvanggoot van de tussenlegger der onderste matrijs gelegd en langs boven met de tussenlegger van de bovenste matrijs bedekt. Zo er tussen het stuk en de groten ruimte bestaan moeten die met bladkoper worden opgevuld. Boven de matrijzen brengt men het rollager en de staalplaat aan. De rollen liggen met hun as evenwijdig aan de schuifrichting. De gehele inrichting wordt goed centraal tussen de drukplaten van de pers opgesteld. De snelheid van belasting, uitgedrukt in loodrechte drukkracht per vierkante centimeter schuifvlak, moet bij de aanvang van de proef geregeld worden op 5 tot 10  $\text{kp}/\text{cm}^2/\text{s}$ . Deze waarde moet zo mogelijk tot op het einde van de proef gehouden blijven. Voor de interpretatie van de resultaten gaat men uit van het waargenomen maximum.

**9. Exploitation des résultats.**

La pression perpendiculaire sur la face de cisaillement est  $\sigma = P/F \sin \alpha$  (kp/cm<sup>2</sup>) avec P = force verticale, F = surface de cisaillement. La résistance au cisaillement de la roche pour une pression verticale donnée se monte à

$$T = P/F \cos \alpha \text{ (kp/cm}^2\text{)}$$

Comme mentionné ci-dessus pour chaque angle d'inclinaison de la matière, on réalise *n* essais. Pour chaque angle d'inclinaison, on calcule les valeurs moyennes des grandeurs  $\sigma$ ,  $T$  et de la variance *V*. Sur la base de ces valeurs on peut construire une courbe limite de la résistance au cisaillement de la roche en fonction de la contrainte perpendiculaire à la section. Pour cette courbe, les efforts perpendiculaires seront portés en abscisses et les résistances au cisaillement de la roche en ordonnées.

Pour simplifier, on peut limiter à 3 les différents angles d'inclinaison. En ceci les angles 30°, 45° et 60° sont conseillés. Dans ce cas on se passe des coins (4).

**9. Aanwending van de resultaten.**

De normaaldruk op het schuifvlak bedraagt :

$$\sigma = P/F \sin \alpha \text{ (kp/cm}^2\text{)} \quad (1)$$

Hierin betekenen :

P = vertikale kracht

F = Breukoppervlakte

$\alpha$  = hoek tussen drukrichting en breukvlak

Voor een gegeven normaaldruk bedraagt de schuifvastheid van een gesteente

$$T = P/F \cos \alpha \text{ (kp/cm}^2\text{)} \quad (2)$$

Voor elke hellingshoek der matrijzen worden *n* proeven uitgevoerd en wordt de gemiddelde waarde van de grootheden  $\sigma$ ,  $T$  en de veranderlijkheidscoëfficiënt *V* berekend. Met behulp van deze waarden kan een grenskurve van de schuifvastheid van het gesteente in functie van de normaalspanning opgesteld worden. Daarbij komen de normaalspanningen in abscis en de schuifvastheid van het gesteente in ordinaat.

Ter vereenvoudiging kan het aantal verschillende hellingshoeken tot drie beperkt worden; hierbij worden 30, 45 en 60° voorgesteld; in dat geval heeft men de wiggen *c* niet nodig.

**COMMENTAIRE DES DIRECTIVES,**

par R. LIEGEOIS, Ing. principal à INICHAR

**COMMENTAAR BIJ DE RICHTLIJNEN**

door R. LIEGEOIS, Eerstaanwezend Ingenieur bij INICHAR

1. Il me paraît utile d'attirer l'attention des usagers sur la nécessité de réaliser les essais au moyen d'une presse sûre à bâti rigide et dispositif de mesure soigneusement contrôlé. L'introduction des éprouvettes dans une machine inadéquate peut fausser les résultats. Je crains que l'introduction de feuilles de cuivre entre l'éprouvette et les plateaux de presse ne soit critiquable.

2. Il reste une certaine imprécision dans la description des éprouvettes et de l'installation d'essai.

a) Le diamètre de la surface extérieure des cylindres n'est pas défini avec précision.

b) L'état de polissage des plaques d'appui n'est pas chiffré.

1. Het lijkt me nuttig de aandacht van de belangstellenden te vestigen op de noodzakelijkheid de proeven uit te voeren met een pers met een stevige infrastructuur en nauwkeurige meetinstrumenten. Plaatst men de proefstukken in niet geschikte apparaten dan kan het resultaat vervalst worden. Ik vrees dat het aanbrenge van bladkoper tussen proefstuk en pers een betwistbare maatregel is.

2. In de beschrijving van de proefstukken en de installatie blijven zekere vragen onopgelost :

a) de diameter van het buitenoppervlak der cilindres wordt niet nauwkeurig bepaald.

b) de graad van oplijsting van de steunvlakken wordt niet in cijfers uitgedrukt.

3. Le fait que les opérations de préparation de l'échantillon font intervenir la foreuse, le tour ou le marteau, signifie que les éprouvettes ne représentent qu'imparfaitement le matériau. Il ne suffit pas de dire que la résistance mesurée dépend de la forme de l'éprouvette. Il faut ajouter qu'elle dépend des dimensions et du façonnage. Car la méthode de préparation des éprouvettes et leurs dimensions font éliminer d'office tous les morceaux trop petits pour façonner une éprouvette. Ceci a son importance, principalement pour les roches hétérogènes et fragiles qui sont précisément fréquentes dans le Houiller de Belgique.

3. Daar men bij het bereiden van de proefstukken gebruik maakt van de boor, de draaibank of de hamer betekenen de proefstukken slechts een onvolkomen weergave van het materiaal. Het volstaat niet te zeggen dat de gemeten weerstand afhangt van de vorm van het proefstuk; men moet er aan toevoegen dat hij eveneens afhangt van de afmetingen en van de afwijking. Want bereidingsmethode en afmetingen sluiten van tevoren die stukken uit die te klein zijn voor een proefstuk. Dit is van belang, vooral voor de heterogene en brokkelachtige gesteenten die men zo veel aantreft in het Belgische steenkoolterrein.

#### BIBLIOGRAPHIE

- Conférence internationale sur les Pressions de Terrains et le Soutènement dans les Chantiers d'Exploitation. Liège, 24-28 avril 1951, 488 p.
- Journée des épontes et du soutènement. Charleroi, 2-3 juin 1955. Annales des Mines de Belgique, 1955, septembre, p. 803-839.
- Journées d'études internationales sur les pressions de terrains. Essen, 17-18 octobre 1956.
- Journées de la mécanique des roches. Paris, 17-18 juin 1957. Revue de l'Industrie Minérale, juillet 1957.
- Congrès sur les pressions de terrains. Leipzig 1958, 14-16 octobre.
- Colloque du Bureau International pour la mécanique des roches. Leipzig, 1959, 3-7 novembre. Akademie Verlag, Berlin.
- Conférence Internationale sur les pressions de terrains. Paris, 16-20 mai 1960.

Chaque année, depuis 1958, le Bureau International de la Mécanique des Roches à Berlin organise au début du mois de novembre une réunion à laquelle sont invités une trentaine de spécialistes de ces questions. A l'occasion de cette réunion, le Bureau publie un volume contenant les textes complets des conférences présentées et des discussions. Quatre volumes ont été publiés jusqu'à présent mais en langue allemande seulement.

- Journées d'information sur le soutènement marchant en Belgique. Liège, 20 février 1961. Annales des Mines de Belgique, avril, p. 309-387 et mai 1961, p. 467-528.
- Journée d'information sur les cadres articulés sur piles de bois. Liège, 26 septembre 1960. Annales des Mines de Belgique, décembre 1960, p. 1284-1311.
- Congrès de Prague 1961 pour l'accroissement de la rentabilité dans les mines. Bergbautechnik, septembre 1961, p. 449-454.
- 13<sup>me</sup> session de la Commission Technique de la C.E.C.A. à Heerlen-Hasselt, 27-29 mars 1962. Annales des Mines de Belgique, juin 1962, p. 533-591.
- IV<sup>me</sup> Conférence Internationale sur les pressions de terrains. New York 1964, mai (à paraître).
- G. EVERLING: Richtlinien für Festigkeitsuntersuchungen an Gesteinen. Entwurf 1963 des Internationalen Büros für Gebirgsmechanik, Bergbau-Archiv. 1/2, 1964, p. 85-91.

Sinds 1958 richt het Internationaal Bureau voor de Mechanica der Gesteenten elk jaar in het begin van de maand november een internationale bijeenkomst in, waarop een dertigtal specialisten in het vak worden uitgenodigd. Bij deze gelegenheid publiceert het Bureau een brochure met de volledige tekst van al de mededelingen en besprekingen. Tot nu toe werden vier brochures uitgegeven, echter uitlopend in het Duits.