SLAAND BOREN MET HARDMETAAL

SLAAND BOREN MET HARDMETAAL

PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN DOCTOR IN DE TECHNISCHE WETENSCHAP AAN DE TECHNISCHE HOOGESCHOOL TE DELFT OP GEZAG VAN DEN RECTOR MAGNIFICUS PROF. DR. IR. A. J. KLUYVER, HOOGLEERAAR IN DE AFDEELING DER SCHEIKUNDIGE TECHNOLOGIE, VOOR EEN COMMISSIE UIT DEN SENAAT TE VERDEDIGEN OP WOENSDAG 20 OCTOBER 1948 DES NAMIDDAGS TE 4 UUR

DOOR

PAUL WINTGENS
MIJNINGENIEUR
GEBOREN TE HEERLEN

TECHNISCHE HOOGE SCHOOL
BIBLIOTHEEK
DELFT

DRUK N.V. LEITER-NYPELS - MINKELERSSTRAAT 3 - MAASTRICHT

DIT PROEFSCHRIFT IS GOEDGEKEURD DOOR DEN
PROMOTOR PROF. IR. C. L. VAN NES

Aan mijn Ouders

Aan mijn Vrouw

De proefnemingen in dit proefschrift beschreven, werden verricht op Staatsmijn Hendrik. De schrijver betuigt hierbij zijn dank aan de Directie der Staatmijnen in Limburg, voor het feit, dat hij van de resultaten van deze proefnemingen, bij de samenstelling van dit proefschrift, gebruik mocht maken.

INHOUD

Hoofdstuk	I:	Inleiding	1
Hoofdstuk	II:	Hardmetaal, zijn eigenschappen en toepassing bij het slaand boren	8
Hoofdstuk	III:	Het wezen van het slaand boren . . .	17
Hoofdstuk	IV:	Omstandigheden waaronder de proefnemingen plaats vonden en beschrijving der bij deze proeven gebezigde apparatuur .	37
Hoofdstuk	V:	Aard en orde van grootte der afwijkingen van gaten, die geboord zijn met boorkoppen voorzien van enkelvoudige beitelsneden van hardmetaal	39
Hoofdstuk	VI:	Bepaling van de meest gunstige diameter van hardmetalen sneden	54
Hoofdstuk	VII:	Vergelijking van de zuivere boorsnelheid, die verkregen wordt, indien in een bepaald gesteente wordt geboord met boorkoppen voorzien van hardmetalen enkelvoudige beitelsneden, met de zuivere boorsnelheid die in hetzelfde gesteente, met gebruik van overigens dezelfde boorapparatuur en onder dezelfde omstandigheden wordt verkregen bij toepassing van boorkoppen, voorzien van hardmetalen kruissneden .	59
Hoofdstuk	VIII:	De zuivere boorsnelheid welke bij het slaand boren met boorkoppen voorzien van hardmetalen sneden wordt verkregen, als functie van de drukvastheid van het gesteente, en als functie van de hardheid (uitgedrukt in shorehardheden) van het gesteente	65

Hoofdstuk IX: Defecten die in het hardmetaal ontstaan bij het boren in zeer harde gesteenten . 71

Hoofdstuk X: Het verband tussen de uitwendige kracht waarmede de boorhamer tijdens het boren wordt aangedrukt (= boordruk), en de boorsnelheid 90

Hoofdstuk XI: De invloed der waterspoeling op de zuivere boorsnelheid, bij het slaand boren met boorkoppen voorzien van hardmetalen sneden 115

Bijlage I 119

Bijlage II 130

Summary in English 131

Literatuur 133

HOOFDSTUK I.

Inleiding.

Om in een gesteente van een zekere hardheid langs kunstmatige weg holruimten te kunnen verkrijgen, zooals dit in de mijnbouw vaak noodig is ter ontsluiting van nuttige mineralen die men wil ontginnen, en vaak ook om nuttige mineralen of nuttige gesteenten direct te kunnen winnen, wordt in dat gesteente of in het te winnen mineraal een aantal gaten geboord, waarin springstoffen worden aangebracht, welke explosiva vervolgens tot ontploffing gebracht worden.

Het boren van deze gaten geschiedt in de moderne mijnbouw machinaal.

Dit kan in principe op 3 wijzen geschieden n.l.:

1) draaiend; de boorstang heeft dan een constante rotatie-snelheid om een as, die samenvalt met de lange as van de boorstang.

2) stootend; de boorstang wordt periodiek over een bepaalde afstand van de bodem van het boorgat verwijderd, om vervolgens met een bepaalde snelheid wederom tegen het gesteente te worden gestooten. Na iedere stoot wordt de boorstang over een kleine hoek gedraaid.

3) slaand; de boorstang blijft tegen het gesteente gedrukt terwijl met een slagvoorwerp periodiek een slag op het slageinde van de boorstang wordt gegeven.

De onder 1) genoemde methode geeft goede boorprestaties in gesteenten van geringe en van gemiddelde hardheid, in harde gesteenten blijven zijn prestaties echter bij de onder 2) en 3) genoemde methoden ten achter.

Machines die op het principe van stootend boren berusten, geven in zeer harde gesteenten betere resultaten, dan volgens een der beide andere principes geconstrueerde werktuigen; volgens Fritzsche[1]) is dit te meer het geval, indien het gesteente waarin geboord moet worden een hoog gehalte aan kwarts bevat en een sterk conglomeratisch karakter heeft. In zachte gesteenten en in gesteenten van gemiddelde hardheid worden echter met stootend boren bruto-prestaties verkregen, die bij de beide andere methoden ten achter staan.

---

[1]) De cijfers voor) verwijzen naar de overeenkomstige nummers der geraadpleegde literatuur. (Zie lit. lijst).

Indien nu in gesteenten van verschillende hardheden met eenzelfde machine geboord moet worden, van de meest harde tot zeer zachte gesteenten toe, worden, naar de ervaring geleerd heeft, met machines die op het principe van slaand boren berusten (zgn. „boorhamers") betere gemiddelde resultaten verkregen, dan met machines, waarvan de constructie berust op stootend of draaiend boren. Bovendien bieden boorhamers boven de beide andere typen van boormachines nog de volgende voordeelen:

a) een gering gewicht (in de regel van 10 - 20 kg.) en een geringe grootte, waardoor zij gemakkelijk te hanteeren en te transporteeren zijn. De boorhamers behoeven, om hun geringer gewicht, niet noodzakelijk op een zuil gemonteerd te worden, zooals bij de typen boormachines die op het principe van draaiend of stootend boren berusten. In vele gevallen is dit van groot voordeel,

b) bij het drijven van steengangen en steengalerijen kan men, indien men de explosiva met behulp van momentontstekers tot ontploffing brengt, weder beginnen met het boren van de gaten voor de volgende serie, nog voor dat de losgeschoten steenen zijn opgeruimd. De man die de boorhamer bedient kan dan op de steenhoop gaan staan terwijl één of meer arbeiders de losse steenen laden.

c) het persluchtverbruik per bedrijfsuur is betrekkelijk gering, en bedraagt volgens Fritzsche slechts ten naaste bij het derde deel van het persluchtverbruik per uur van een boormachine die volgens het principe van stootend boren geconstrueerd is.

Om al de genoemde redenen, worden in de steenkolenmijnbouw in het algemeen de boorgaten, die voor schietdoeleinden in het gesteente worden aangebracht, met boorhamers geboord.

De werkingswijze van de boorhamer is in principe deze, dat een zuiger welke zich in een cylinder bevindt, met behulp van perslucht (welke aan de boorhamer wordt toegevoerd met een druk van 3 à 5 ato), een snelle heen- en weergaande beweging verkrijgt. De zuiger heeft aan de onderzijde een verlenging, de zgn. zuigersteel, waarvan de diameter geringer is dan die der zuiger.

Bij iedere heengaande beweging geeft het benedeneinde der zuigersteel een slag op het insteekeinde van de boorstang. Het aantal slagen dat per tijdseenheid wordt gëgeven, varieert voor de diverse fabricaten en typen tusschen 1000 en 2400 slagen per minuut. Bij de teruggaande beweging brengt de zuigersteel een mechanisme in werking, waardoor de boorstang (en daarmede ook de snede aan het

ondereinde van de boorstang) over een bepaalde hoek wordt omgezet. Om de zuiger de heen- en weergaande beweging te geven, is het noodzakelijk, dat de perslucht beurtelings boven — resp. onder de zuiger wordt toegevoerd. Hiertoe is de cylindermantel ongeveer ter hoogte van het midden der slaglengte van een aantal doorboringen voorzien, waardoor de perslucht die zich boven — resp. onder de zuiger bevindt, kan ontwijken, indien de zuiger bij de heen- resp. teruggaande beweging deze openingen gepasseerd is. De lucht die zich nog onder- resp. boven de zuiger bevindt op het oogenblik dat deze tijdens de heengaande resp. teruggaande beweging de uitlaatopeningen juist gepasseerd is, heeft nagenoeg atmosferische druk, doch wordt tijdens de verdere duur der beweging weder gecomprimeerd, waardoor dit het zgn. „luchtkussen" vormt. De beide uiteinden der cylinder staan nu met behulp van een kanaal in verbinding met het „luchtregelmechanisme", dat wordt aangedreven door de overdrukken die beurtelings ontstaan bij de vorming van een der beide luchtkussens. Bij de verschillende fabricaten der boorhamers is de constructie von het „luchtregelmechanisme" sterk uiteenloopend. Bij de teruggaande beweging dient het dan optredende luchtkussen tevens om de beweging van de zuiger zoodanig te vertragen, dat deze niet tegen het achterdeksel van de cylinder slaat.

De boorstang bestaat uit: het insteekeinde met borst, de schacht van de boorstang en de snede.

De boorstangen zijn aan sterke en zeer verschillende belastingen onderworpen, nl. aan slag, stoot, torsie (tijdens het omzetten), trillingen en aan buiging bij deviatie van het boorgat, dit laatste vooral indien de bedienende man de boorhamer laat doorzakken. Hierover publiceerden Elster in 1928[2]) Grenon in 1933[3]) en Feustel in 1934[4]).

Met het oog op de sterke elastische trillingen waaraan de boorstangen zijn onderworpen, moeten deze van een staal vervaardigd worden, dat aan hooge eischen voldoet. Volgens Meebold (1932)[5] moet een staal dat geschikt is voor spiraalboren ongeveer de volgende samenstelling hebben:

C	0,7 %
Si	0,2 % — 0,25 %
Mn	0,2 % — 0,3 %
P	$<$ 0,04 %
S	$<$ 0,04 %
P + S	$<$ 0,07 %

Een dergelijk staal, heeft volgens Meebold na warmtebehandeling een trekvastheid van 70—90 kg/mm² bij een minimale rek van 12 %.

Het insteekeinde van de boorstang heeft, evenals de zuigersteel, een slagvlak dat speciaal gehard is. Om het omzetten mogelijk te maken heeft het insteekeinde een vierkante of zeshoekige doorsnede.

De schacht van de boorstang heeft een buitenwand, die ofwel glad ofwel spiraalvormig is. De spiraalvormige boorstang heeft tot doel droog boormeel, dat bij het boren op de bodem van het boorgat is gevormd, uit dit boorgat te verwijderen, en werkt volgens het principe van de schroef van Archimedes. De spiraalboorstang is niet te gebruiken in vochtig gesteente, daar het boormeel dan als een brei-achtige massa in de spiraal blijft vastkleven, en evenmin voor droog gesteente, indien de boorgaten in een neerwaartsche richting geboord worden onder een hoek met het verticale vlak die kleiner is dan ± 20°.

Gladde boorstangen kunnen hol of massief zijn. Bij het gebruik van massieve boorstangen moeten deze periodiek uit het boorgat worden getrokken, om het gevormde boormeel met behulp van een waterstraal of met behulp van perslucht uit het gat te verwijderen. Massieve gladde boorstangen worden in de mijnbouw voor het maken van ondiepe boorgaten (van 0—3 m) weinig meer toegepast.

Gladde holle boorstangen daarentegen worden in de mijnbouw zeer veel gebruikt. In het midden van de boorstang bevindt zich hierbij een kanaal waardoor de zgn. „spoeling" (water, perslucht, soms schuim) wordt geleid om hiermede het boormeel uit het boorgat te verwijderen.

De meest toegepaste wijzen om de spoeling in het spoelkanaal te voeren zijn de volgende:

1) de spoeling wordt door een spoelkanaal dat zich in de boorhamer bevindt naar het spoelkanaal van de boorstang geleid, welk laatste kanaal aan het slagvlak van het insteekeinde uitmondt. Deze methode is in de Vereenigde Staten van Amerika, in Engeland en de Britsche Dominions en Frankrijk gebruikelijk.
   Volgens Sanderson[6]) werd in Engeland in 1939 voornamelijk waterspoeling toegepast.
2) de spoeling wordt met behulp van een „spoelkop", die om de boorstang water- en luchtdicht afsluit, via een doorboring in de mantel der boorstang naar het spoelkanaal en zoo naar de snede geleid. Het spoelkanaal loopt dan in de boorstang niet verder

door dan tot de genoemde doorboring van de mantel. In Nederland, Polen, Oostenrijk en Duitschland worden voornamelijk spoelkoppen gebezigd.

De snede heeft in zijn eenvoudigste vorm de gedaante van een enkelvoudige bilateraal-symetrische beitel. Andere gebruikelijke sneden, van koolstofstaal vervaardigd, zijn: de dubbele beitelsnede, de Z-snede, de kruissnede en de zes- of achtvleugelige kroonsnede. De eigenschappen van deze verschillende sneden worden hier elders besproken.

Ook de snede is aan zware en zeer verschillende belastingen onderworpen, welke in hoofdstuk IX nader behandeld zullen worden; bovendien is hij sterk aan slijtage onderhevig. Met het oog hierop, ondergaan de sneden van koolstof-staal een aparte warmte-behandeling, waarbij veelal het uiteinde der boorstang, waaraan zich de snede bevindt tot ± 1100° C worden verhit, en vervolgens afgeschrikt in een oliebad, waarbij de snede een sorbitische structuur verkrijgt.

Indien de sneden van koolstof-staal stomp geboord zijn, worden deze van het ondergrondsche werkpunt naar de werkplaats vervoerd en daar wederom opgemaakt. Dit brengt hooge transportkosten en een grootere belasting van het vervoerswezen der mijn met zich mede, temeer daar de sneden van koolstof-staal in harde gesteenten snel afstompen. Bovendien is de kaliber-slijtage van sneden van koolstofstaal zeer groot in abrasieve gesteenten, zoodat het boorgat met een snede van groote lengte aangezet moet worden, opdat de uiteindelijke diameter in het diepste punt van het boorgat nog voldoende afmetingen heeft om de patronen met explosiva te kunnen aanbrengen. Deze groote begin-diameter van het boorgat beteekent echter een energie- en tijdverlies, dus ook een verhooging der boorkosten per meter boorgat. In harde gesteenten worden deze kosten nog verhoogd door het feit dat aan de snelle afstomping van de snede een snelle afname van de zuivere boorsnelheid inhaerent is, (zooals door tijdopnamen van Vial[7]) overtuigend is aangetoond), waardoor de kosten aan arbeidsloon per meter boorgat zeer sterk kunnen stijgen. Indien men een steengang met een doorsnede van ± 10m² in afslagen van ± 2 m. diepte drijft, moeten naar de ervaring leert, gemiddeld ± 40 gaten worden geboord. Is het gesteente zacht, dan kan hierin met behulp van waterspoeling en een boorknecht en bij toepassing van sneden van koolstofstaal een zuivere boorsnelheid bereikt worden van tenminste 50 cm/min., bij gebrnik van een boorhamer met een gewicht

van ± 18 kg. (In vele gevallen worden nog grootere boorsnelheden bereikt.) De totale boortijd, benoodigd voor de gaten van één afslag, bedraagt dan, (inclusief het voor het boren noodzakelijke nevenwerk) ± 7 à 8% van de totale nuttige werktijd, die voor het drijven van deze afslag noodig is. In zeer harde gesteenten worden onder overigens gelijke omstandigheden zuivere boorsnelheden verkregen van 1 cm/min. of minder. Rekenende met een zuivere boorsnelheid van 1 cm/min. bedraagt de totale boortijd (inclusief het voor het boren noodzakelijke nevenwerk) 72 à 73% van de totale nuttige werktijd die voor het drijven van de afslag noodig is. In het laatste geval bedraagt de totale prestatie per man/dienst slechts ± 27 à 28% van de totale prestatie per man/dienst die in het eerste geval bereikt wordt.

Hieruit moge blijken van hoe groote invloed de boorprestaties kunnen zijn op de totale prestaties.

Om aan de genoemde nadeelen die aan de toepassing van sneden van koolstof-staal zijn verbonden gedeeltelijk te kunnen ontkomen, werden in de Vereenige Staten van Amerika boorkoppen ontworpen, die met behulp van een schroefdraad aan het einde der boorstang bevestigd kunnen worden. Deze boorkoppen waren voorzien van sneden bestaande uit een zeer goed staal of van sneden van gegoten stellieten. Deze stellitische sneden werden op het koolstof-staal gelascht.

Naar uit het onderzoek van Mac. Henry Mosier [8]) bleek, hadden deze zgn. „detachable bits" in 1936 reeds in vele bedrijven toepassing gevonden. Op een der mijnen, de Geneva-mine, werden hiermede resultaten verkregen die t.o.v. de normale boorstangen zeer gunstig waren t.w.:

1) een groote besparing aan transport van boorstaal van de werkplaats naar het ondergrondsche werkpunt.
2) een grootere boorsnelheid per tijdseenheid.
3) minder staalverlies.
4) meer inches per snede geboord, voordat deze sneden wederom moesten worden opgemaakt.
5) minder kaliber-slijtage van de snede.
6) de benoodigde voorraad boorstaal kon geringer zijn.
7) geringer verbruik van perslucht per uur.
8) lagere kosten van het boorgat per lengte-eenheid (per voet).

Op het vasteland van West-Europa is deze fase der „detachable bits" overgeslagen door de uitvinding van het hardmetaal welke ook in de mijnbouw (eerst bij het draaiend — en vervolgens ook bij het slaand boren) spoedig toepassing vond. Onder „hardmetaal" wordt hier verstaan: de gesinterde carbiden van zware metalen, vooral wolframcarbide. De eigenschappen van het hardmetaal en de toepassing daarvan in de mijnbouw zullen in het volgende hoofdstuk worden besproken.

HOOFDSTUK II.

Hardmetaal, zijn eigenschappen en toepassing bij het slaand boren.

De ontwikkelingsgang van het materiaal waaruit de snede voor het slaand boren in de mijnbouw werd vervaardigd, dus van koolstofstaal tot hardmetaal, heeft in groote lijnen, zij het met eenige naijling, de evolutie gevolgd van de materialen, die achtereenvolgens werden ontwikkeld voor de beitelsneden die bij de draaiende bewerking van stalen werkstukken worden gebezigd.

Slechts het sneldraaistaal en de hoogsmeltende gegoten wolframcarbiden volgens het principe van Voigtländer en Lohmann, hebben in de mijnbouw voor het materiaal van de snede geen toepassing gevonden.

De ontwikkelingsgang van het materiaal bestemd voor de sneden der draaibeitels moge hier aan de hand van de publicatie van Amman[9]) in korte trekken worden geschetst.

De hardheid van de snede van zuiver koolstofstaal berust erop, dat deze ijzer-koolstoflegeering tijdens het hardingsproces in martensiet wordt omgezet, dat bij kamertemperatuur een instabiele toestand is. Bij verwarming tot slechts ± 200 graden treedt reeds, door aanmerkelijke vergrooting van de omzetsnelheid, weer de stabiele toestand in, en hiermede gaat een sterke afname van de hardheid gepaard.

Bij sneldraaistaal zijn, inplaats van de instabiele ijzercarbiden, de stabiele carbiden van zware metalen als wolfram, chroom, molybdeen en vanadium als verharders gebruikt. Hierdoor is het mogelijk bij de staalbewerking de snijsnelheden te vergrooten, daar niet alleen bij hoogere temperatuur de hardheid hooger blijft dan dit bij koolstofstaal het geval is, doch ook de weerstand tegen slijtage grooter is. De legeeringstoeslagen bedragen bij sneldraaistaal tot 30%. Men moet dus hier nog van een staal spreken waarin de carbiden van de zware metalen in een grondmassa zijn ingebed.

De Amerikaan Haynes liet vervolgens het ijzer als basis voor het materiaal van de snede geheel vervallen. Zoo werden de stellieten ontwikkeld, bestaande uit een legeering van chroom, cobalt, wolfram, en koolstof, welke voor 50% uit carbiden van de zware metalen (wolfram

en chroom) bestonden. Volgens Zeyen [10]) wordt aan stellieten eventueel ook vanadium en molybdeen toegevoegd. Ook bij de stellieten bestaat de structuur nog uit een grondmassa waarin de carbiden der zware metalen zijn ingebed. De stellieten zijn niet smeedbaar doch worden gegoten. Na stolling hebben de gegoten vormen onmiddellijk hun natuurlijke hardheid, welke hoog is. Deze hardheid is volgens Zeyen bestendig tot 700°, ook de weerstand tegen slijtage is groot.

In 1914 vervaardigden Voigtländer en Lohmann een materiaal voornamelijk bestaande uit gegoten hoogsmeltende wolframcarbiden, dat 100% carbiden van zware metalen bevatte. Het aldus verkregen materiaal was zeer hard, echter ook zeer bros, poreus en inhomogeen (het bevatte grove ongelijkmatige primaire kristallieten). Deze nadeelige eigenschappen van het hardmetaal, evenals de technische bezwaren aan het procedé verbonden, waren oorzaak dat de gegoten wolframcarbiden weinig toepassing vonden en weder snel van de markt verdwenen. In 1923 werd volgens Dawihl [11]) aan Schroeter een Duitsch patent verleend op zijn procedé waarbij poedervormig wolfram, met een bepaalde hoeveelheid koolstof gemengd, in vormen werden geperst, en vervolgens door sintering werden verhard, bij temperaturen die beneden de smelttemperatuur van wolfram lagen. Op deze wijze kon aan de zeer hooge smelttemperatuur van het wolfram, hetgeen bij het procedé volgens Voigtländer en Lohmann tot groote technische moeilijkheden aanleiding gaf, worden ontkomen. Het door Schroeter vervaardigde materiaal werd „hardmetaal" genoemd. Door het sinteren alleen werd nog geen hardmetaal van voldoende vastheid verkregen. Hier bleek toevoeging van kleine hoeveelheden (tot 10%) van metalen met een laag smeltpunt (ijzer, cobalt, nikkel) verbetering in te brengen: de drukvastheid en de taaiheid van het gesinterde materiaal werd sterk verhoogd en de sintering werd tevens vergemakkelijkt. De beste sintertemperatuur bleek volgens Dawihl 1500° C. te zijn.

Daar de wolframkorrels bij het sinteren niet tot volledige smelting komen, werd ook geen hinder meer ondervonden van een te groote koolstofopname door de smelt, zooals dit bij het smeltproces van Voigtländer en Lohmann optrad onder begeleidende sterke afname van de vastheid. De hoeveelheid koolstof die de legeering moest opnemen kon nu zeer nauwkeurig bepaald en geregeld worden. Het bleek n.l. dat de taaiheid en de vastheid van legeeringen, die een hoog

percentage wolfram bevatten, afhangt van een zeer speciaal gehalte van een hulpmetaal, maar vooral van het gehalte aan koolstof. Op iedere atoom wolfram moet één atoom koolstof aanwezig zijn opdat WC gevormd worde. Bij een te gering koolstofgehalte wordt de legeering volgens Dawihl bros, bij een te hoog gehalte aan koolstof poreus.

Het hardmetaal had een buitengewone hardheid, genoegzame taaiheid en een groote weerstand tegen slijtage. Het werd dan ook reeds in 1926 door Krupp A. G. te Essen op commercieele schaal, volgens de patenten van Schroeter, vervaardigd, en bleek geschikt voor de bewerking van zeer uiteenloopende materialen. Echter bleken voor de bewerking van staal samenlasschingsverschijnselen (door Dawihl [12]) „Verschweissvorgänge" genoemd, op te treden waarbij het materiaal van de spaan met dat van de snede een nieuwe legeering vormde, waardoor de snede nog te veel aan slijtage onderhevig was. Betere resultaten werden in 1930 in Engeland en de Vereenigde Staten van Amerika verkregen met een materiaal vervaardigd van tantaalcarbide als uitgangsstof. Het gelukte aan Schroeter door toevoeging van slechts 10% van het dure tantaalcarbide aan hardmetaal op basis wolframcarbide-cobalt, een hardmetaal samen te stellen, dat aan dezelfde eischen voldeed, als het hardmetaal dat overwegend uit tantaalcarbide bestond.

In 1931 bleek Schroeter en medewerkers, dat het tantaalcarbide ook vervangen kan worden door ± 15% van het veel goedkoopere titaancarbide, met behoud van de goede eigenschappen van het hardmetaal. Uit het onderzoek van Dawihl [12]) e.a. is gebleken dat de verbetering in de eigenschappen van het hardmetaal voor de bewerking van staal door toevoeging van titaancarbide, te wijten is aan een verhooging van de kleeftemperatuur waarbij de „Verschweissvorgänge" kunnen optreden, en aan een verhooging van de hardheid.

Bij de bewerking van kortspanige brosse materialen blijken echter de kleeftemperaturen niet bereikt te worden, zoodat toevoeging van titaancarbide hier geen zin heeft, temeer daar zooals Kalpers [13]) reeds publiceerde het warmte-geleidingsvermogen en de vastheid van hardmetaal dat titaancarbide bevat lager zijn, waardoor tijdens het soldeeren en slijpen de kans op vorming van scheurtjes grooter is. Ook het hardmetaal dat in de mijnbouw bij het slaand en draaiend boren wordt toegepast, bevat geen titaancarbide en is een gesinterde legeering op basis wolframcarbide-cobalt, terwijl het cobaltgehalte voor de diverse fabricaten varieert van 6% tot 12%

Volgens Kalpers[13]) neemt de hardheid van het hardmetaal in het algemeen af met zijn gehalte aan cobalt, de vastheid en de taaiheid nemen echter met stijgend Co-gehalte toe.

Wat de structuur van hat hardmetaal betreft, meenden S.L. Hoyt[14]) en G. J. Comstock[15]) dat de wolframcarbide-korrels elkaar niet zouden raken, maar in de grondmassa gebed zouden zijn en door deze rondom geheel omgeven, zooals dit ook bij sneldraaistaal het geval is. Langs chemische weg toonde Dawihl[16]) aan, dat de wolframcarbide-korrels echter een op zich zelf staand geraamte van buitengewone starheid vormt, terwijl het cobalt slechts de holruimten, gevormd door de brugvormig met elkaar in verbinding staande deelen van dit geraamte opvult, en tevens voor de samenhang van dit geraamte zorg draagt. Juist aan het feit, dat tusschen de wolframcarbide-korrels geen doorloopende lagen van geringe hardheid aanwezig zijn, moet dus het feit dat de hardheid van hardmetaal grooter is dan die van sneldraaistaal, worden toegeschreven.

De structuur van de verschillende hier besproken materialen is in afb. -1-, welke aan Amman is ontleend, schetsmatig weergegeven.

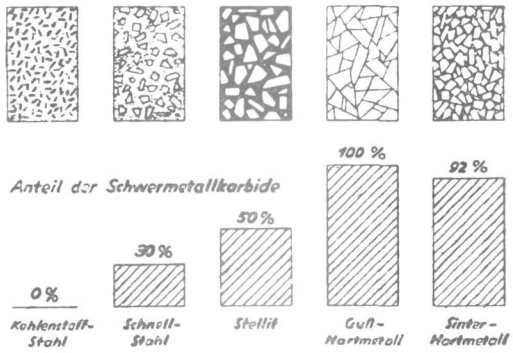


Fig 1. (Ontleend aan Amman)

Dawihl[11]) geeft voor de drukvastheid, de blijvende deformaties en de kegeldruk-hardheid voor gehard sneldraaistaal en voor hardmetaal de volgende cijfers:

Tabel 1.

	gehard sneldraaistaal	WC. + 6 % Co.	WC. + 15 % TiC + 6 % Co.
drukvastheid	300-400 kg/mm²	425 kg/mm²	425 kg/mm²
blijvende deforma- van 0,2% bij druk van	280 kg/mm²	geen blijvende deformatie aantoonbaar tot de breukgrens.	
kegeldrukhardheid[1]): bij kamertemp.	1220 kg/cm²	1830 kg/cm²	2050 kg/cm²
bij 700° C.	180 ,,	1060 ,,	1130 ,,

[1]) indruk van een diamanten kegel met een tophoek van 120°. Belasting evenredig met het oppervlak van de cirkelvormige doorsnede der indrukking.

Door de schrijver uitgevoerde metingen aan hardmetaal van de genormaliseerde soort G_2 gaven als gemiddelde een hardheid aan van 100 à 105 shore-hardheden. Volgens Müller [17]) bedraagt de buigvastheid der genormaliseerde soorten G_1 en G_2 welke in de mijnbouw het meeste worden gebruikt 160 à 200 kg/mm².

De weerstand tegen slijtage is voor de soorten G_1 en G_2 volgens dezelfde auteur 15 à 20 keer zoo groot als van sneldraaistaal, en 12 keer zoo groot als van gehard en aangelaten werktuigstaal.

De breuk van hardmetaal is fijn porceleinachtig. Hardmetaal heeft een zeer fijnkorrelige microstructuur, staal is in vergelijking hiermede grof kristallijn.

In de mijnbouw, vond het hardmetaal het eerst toepassing bij het draaiend boren in gesteenten van geringe en van gemiddelde hardheid. Sinds 1930 werd ook getracht het hardmetaal bij het slaand boren toepassing te doen vinden. De pogingen hadden aanvankelijk weinig succes, daar de brosse hardmetalen plaatjes die de snede vormden, aan zware belastingen van verschillende aard zijn blootgesteld bij het slaand boren. Bovendien bleek het zeer moeilijk, om de hardmetalen plaatjes aan de boorstang of aan de boorkop te bevestigen op een wijze, die een genoegzaam solide verbinding waarborgde, en waarbij tevens het optreden van materiaalscheuren ten gevolge van een verschillende thermische uitzettingscoëfficient van het materiaal van boor-

stang resp. boorkop en hardmetaal werd vermeden. Ook het soldeeren van het hardmetaal in staal, en indien een boorkop werd toegepast, de bevestiging hiervan op de boorstang, brachten aanvankelijk nog moeilijkheden met zich mede. Vaak ook werd niet oordeelkundig geboord met het hardmetaal.

Na ± 1938 is dit stadium der proefnemingen echter als beëindigd te beschouwen, en getuigen de vele publicaties die sindsdien over dit onderwerp in de literatuur verschenen, voor de verbreiding die het hardmetaal bij het slaand boren in de mijnbouw heeft gevonden.

Over de wijze van soldeeren der hardmetalen plaatjes in het moedermateriaal (in de regel het materiaal van de boorkop), zijn mededeelingen verschenen o.a. van de hand van Raedts, Dirkse, Knoups en Matla[18]) in Nederland, en van Kalpers[19]), en Herbst[20]), in Duitschland. In de regel wordt tusschen het moedermateriaal en de hardmetalen plaatjes een zeer dun plaatje van geperforeerde staal-folie aangebracht, om scheuren t.g.v. optredende spanningen te voorkomen.

Het soldeeren geschiedt in een electrische- of in een gasoven, hetgeen volgens Kalpers in een reduceerende oven-atmosfeer dient te geschieden. Het moedermateriaal evenals de hardmetalen plaatjes en de staalfolie moeten voor het soldeeren eerst goed met benzine gereinigd worden, vervolgens in elkaar gepast, en aldus in de oven voorverwarmd, na tevoren bestrooid te zijn met borax. Dit voorverwarmen geschiedt bij roodgloeihitte. Hierna wordt op de hardmetalen plaatjes een staafje van het soldeermateriaal gelegd, en de temperatuur zoodanig opgevoerd, dat het smeltpunt van het soldeer wordt overschreden, zoodat dit in alle voegen dringt. In de regel wordt electrolitisch koper als soldeer gebruikt. Herbst[20]) beveelt echter brons als soldeer aan, daar dit (met borax als vloeimiddel) reeds bij 800° C. vloeit, terwijl dit bij koper pas bij 1150° C. het geval is, bij welke laatste temperatuur het staal licht kan verbranden, Verder zou volgens Herbst het gebruik van koper eerder aanleiding geven tot breuk.

De vorm van de snede moet volgens Jeschke[21]) aangepast zijn aan de eigenschappen van het hardmetaal. Daarom moet:

1) het moedermateriaal, waarin de hardmetalen snede is gesoldeerd, sterk genoeg zijn om een volkomen starre verbinding tusschen het staal en het hardmetaal te verzekeren.
2) de breedte der hardmetalen plaatjes groot genoeg zijn, om genoegzame weerstand te kunnen bieden tegen breuk. Door de eischen

ad 1) en 2) maken de boorkoppen voorzien van hardmetalen sneden een plompe indruk.

3) het aantal snijkanten zooveel mogelijk worden beperkt, daar dan minder moedermateriaal noodig is om de sneden te omvatten, hetgeen aan de boormeel-afvoer ten goede komt, Om deze reden worden dan ook meestal enkelvoudige beitelsneden of kruis- of X-sneden toegepast in boorkoppen voorzien van hardmetalen plaatjes.

4) de diameter van het boorgat, dus ook de lengte der snede niet grooter zijn dan uit schiettechnisch oogpunt noodig is, om de grootst mogelijke boorsnelheid te verkrijgen

Aan deze eischen kan, naar de meening van de schrijver, nog worden toegevoegd de voorwaarde dat de hardmetalen sneden gemakkelijk opnieuw moeten kunnen worden opgemaakt (geslepen en gepolijst). Het feit, dat vele der meer gecompliceerde snede-typen aan deze eisch niet voldoen, verklaart het verschijnsel dat zij dan ook betrekkelijk weinig worden toegepast, zelfs bij het boren in die gesteenten, waar zij uit het oogpunt van boorsnelheid en weerstand tegen slijtage betere resultaten opleveren.

Aan de bovengenoemde eischen voldoet de enkelvoudige beitelsnede het best, en deze wordt dan ook het meest toegepast. O. Müller[17]) wijst er op, dat de zijvlakken der hardmetalen plaatjes goed gesteund dienen te worden, om ze niet te veel op buiging te belasten. Om deze reden is het nog niet mogelijk geweest, om de Z-sneden, die in de uitvoering in koolstofstaal zulke goede resultaten opleverden in gesteenten van geringe en van gemiddelde hardheid, van hardmetaal te vervaardigen.

Als meest gunstige snedehoek voor hardmetalen sneden waarmede in gesteenten van iedere hardheid geboord kan worden, wordt in de literatuur algemeen 100 à 110^0 aangegeven. Bij een kleinere snedehoek breken de sneden bij het boren in harde gesteenten te snel af; een grootere snedehoek geeft een overbodige vermindering der boorsnelheid per tijdseenheid,

De bevestiging der hardmetalen plaatjes kan op twee wijzen geschieden n.l.:

1) in de boorstang
2) in een afneembare boorkop, die op de boorstang bevestigd kan worden.

De onder 1) genoemde methode heeft het voordeel, dat het hierdoor mogelijk is boorgaten van geringer diameter te boren, met alle voordeelen van dien. Hiertegenover staat het feit, dat de geheele boorstang naar de reparatie-werkplaats vervoerd moet worden, om de sneden opnieuw te kunnen laten slijpen. Vooral bij het boren in harde gesteenten, waar het hardmetaal bij voorkeur wordt toegepast, zijn de transportkosten in dat geval nog vrij hoog, daar het aantal dagelijks te transporteeren boorstangen dan nog vrij groot is. Om deze reden worden in den regel boorkoppen toegepast.

Deze boorkoppen zijn in de regel uit sneldraaistaal vervaardigd, en van een of meer doorboringen voorzien, die de spoeling naar de bodem van het boorgat leiden. De boorkop kan op de boorstang worden bevestigd op twee wijzen nl.:

1) met behulp van een conus, hiervan zijn diverse uitvoeringen in toepassing.
2) met behulp van een schroefdraad, ook hierin bestaan meerdere uitvoeringen.

Met het oog op de betrekkelijke brosheid van het hardmetaal wordt in het algemeen het gebruik van lichte boorhamers, die een groot aantal slagen per minuut geven, de snede na elke slag slechts over een vrij geringe hoek omzetten, en met een niet te gering aantal omwentelingen, geprefereerd.

O. Müller[17]), Jeschke H.[21]), Hensoldt[22]), bepleiten een lichte boorhamer, die per slag niet meer dan ± 4 kg m. levert. Ook E. Müller[23]) deed met zwaardere boorhamers, met een gewicht van 18 kg, minder gunstige ervaringen op: versplinteren en breken van de hardmetalen plaatjes, veel voorkomende stangenbreuk. Met snelloopende lichtere boorhamers, met een gewicht van 15 kg, werden door hem betere boorprestaties en minder slijtage van het materiaal verkregen.

Toepassing van hardmetaal bij het slaand boren heeft alleen in gesteenten van gemiddelde hardheid en in harde gesteenten een vergrooting van de boorsnelheid ten gevolge, in zachte gesteenten echter geeft de Z-snede van koolstofstaal op dit punt betere resultaten, zooals in hoofdstuk III getracht is aan te toonen. Ook kunnen in gesteenten met een zeer sterke abrasiviteit, de materiaalkosten, tengevolge van het groot verbruik aan hardmetaal, dusdanig stijgen, dat de toepassing daarvan dan economisch niet meer verantwoord is.

In vele gevallen waar het gebruik van hardmetaal bij het slaand

boren wel gunstige resultaten oplevert, kunnen volgens O. Müller [24]) de volgende voordeelen verkregen worden:

1) door de geringe kaliberslijtage zal de diameter van het boorgat met de diepte niet merkbaar afnemen.
2) in harde gesteenten wordt een grootere boorsnelheid verkregen dan met sneden van koolstof-staal.
3) het gebruik van zware hamers, welker aanschaffingskosten hoog zijn en welke moeilijk in de bediening zijn, kan achterwege blijven.
4) een groote besparing aan transportkosten voor het vervoer van boorstangen.
5) een verkorting van de boortijd per boorgat, dus een vergrooting van de prestatie per man/dienst.
6) een besparing aan boorstaal.
7) daar de kaliberslijtage van hardmetaal veel geringer is dan van koolstof-staal, kan nu gemakkelijker waterspoeling gebruikt worden.

   Verder bevat het boormeel dat met een hardmetalen snede wordt losgestooten, een geringer percentage aan deeltjes met een diameter kleiner dan 10 μ, hetgeen verklaard kan worden door het feit, dat de hardmetalen snede langer scherp blijft dan een snede van koolstof-staal.

   Beide punten zijn uit het oogpunt van stofbestrijding van belang.
8) Het verbruik aan perslucht per meter boorgat daalt, daar de boorsnelheid grooter is. Dit is naar de meening van de schrijver te verklaren door het feit, dat de hardmetalen snede langer scherp blijft dan de snede van koolstof-staal. Hierdoor doet de hardmetalen snede een boormeel ontstaan, waarvan de gemiddelde diameter der deeltjes kleiner is, dan met een snede van koolstofstaal wordt verkregen. In Bijlage II zijn de zeefanalyses van boormeel, verkregen met een hardmetalen snede en met een snede van koolstofstaal, vermeld.

HOOFDSTUK III.

Het wezen van het slaand boren.

BESTEDING VAN DE SLAGENERGIE DER ZUIGER VAN DE BOORHAMER.

Door de steel van de zuiger der boorhamer wordt periodiek een slag op het insteekeinde van de boorstang gegeven. Het arbeidsvermogen van beweging, dat de zuiger der boorhamer bij de aanvang van de slag heeft verkregen, wordt nu besteed:

1) als energie benoodigd om het te doorboren gesteente los te stooten. Om een volume-eenheid van een bepaald gesteente te verbrijzelen, is een bepaald minimum aan slag-energie noodig. Hieruit volgt, dat geen indringing van de snede verkregen zal worden, indien de levende kracht van het samenstel van zuiger + boorstang (+ eventueele boorkop), op het oogenblik dat de snede de impuls op het gesteente gaat overbrengen, beneden dit minimum ligt. De grootte van de levende kracht van het genoemde samenstel op het oogenblik dat de snede de impuls gaat overbrengen wordt bepaald door:

a) de massa van de zuiger (de grootte der L.K. neemt hiermede toe).

b) de druk van de perslucht (de grootte der L.K. neemt hiermede toe).

c) de slaglengte van de boorhamer (de grootte der L.K. neemt hiermede toe).

d) het gewicht van de boorstang (+ ev. boorkop) (de grootte der L.K. neemt hiermede af.)

2) als trillingsenergie, daar in de boorstangen elastische trillingen optreden. Feustel[4]), Ölsner[25]) en Elster[2]) hebben hierover gepubliceerd.

3) als arbeid benoodigd voor de overwinning van de wrijving tusschen de boorstang het boormeel en de wand van het boorgat en van de wrijving tusschen de snede, het boormeel en het gesteente.

4) tot verdere onnuttige verbrijzeling van het boormeel dat reeds door de beitelsnede is losgestooten, doch niet tijdig van de bodem van het boorgat werd afgevoerd, zoodat dit boormeel

door hierop volgende slagen der snede andermaal wordt getroffen, waardoor de korrelafmetingen van het boormeel worden gereduceerd. Reeds Müller en Duch[26]) wezen erop, dat bij het boren het energieverlies geringer is, naarmate de korrelgrootte van het boormeel toeneemt, en naarmate de losgestooten deeltjes van het gesteente, tijdens de afvoer door het boorgat, minder aan verdere fijnmaling zijn blootgesteld.

5) tot dekking van het verlies t.g.v. het verschijnsel van hysteris, bij de onvolkomen elastische deformatie van het materiaal der zuiger en van de boorstang, tijdens de stoot. Het stootverlies kan berekend worden met behulp van de formule voor de onvolkomen elastische stoot, dus:

$$\frac{Lv}{Lo} = (1 - \varepsilon^2)\frac{G_2}{G_1 + G_2}$$ (Zie Maercks: Bergbaumechanik blz. 340)

Hierin is: Lv = het stootverlies.

Lo = het theoretisch arbeidsvermogen van de zuiger bij de aanvang van de slag.

G_2 = het gewicht van de boorstang.

G_1 = het gewicht van de zuiger.

ε = de coëff. van stoot-elasticiteit. Deze varieert volgens Hoffman. (Glückauf 1928 blz 213-223: Die Stoss-energie-übertragung bei Abbauhämmer) bij afbouwhamers van 0,79 tot 0,91. Deze coëfficient wordt bepaald door de aard van de slagvlakken van de steel van de zuiger en het insteekeinde van de boorstang.

Voor een lengte van de boorstang van 1.00 m., een gewicht $G_2 = 3{,}5$ kg, een gewicht van de zuiger $G_1 = 2{,}5$ kg. en voor een waarde van $\varepsilon = 0{,}90$, wordt de verhouding van het stootverlies tot het theoretische nuttige arbeidsvermogen:

$$\frac{Lv}{Lo} = (1 - 0{,}90^2)\frac{3{,}5}{2{,}5 + 3{,}5} = 0{,}111$$

Dit wil zeggen, dat in het bovenstaande geval 11,1% van het theoretisch nuttige arbeidsvermogen van de zuigerslag verloren gaat t.g.v. het stootverlies. Bij toenemende lengte van de boorstang stijgt het gewicht G_2 waardoor dit stootverlies nog grooter wordt. Indien men in het bovenstaande geval een boorstang ter lengte van 2.20 m. met een gewicht van ± 7.00 kg. aanneemt (ook

deze lengte der boorstang, wordt in de mijnbouw bij het drijven van steengangen in afslagen van ± 2 m. veelvuldig gebruikt) wordt de verhouding $\frac{Lo}{Lv}$:

$$\frac{Lv}{Lo} = (1 - 0{,}90^2)\ \frac{7.00}{2.5 + 7.00} = 0{,}14$$

In dit geval bedraagt dus het stootverlies 14% van het nuttig arbeidsvermogen van de zuigerslag.

6) ook t.g.v. de stoot der snede op de bodem van het boorgat ontstaat een stootverlies. Daar in dit geval echter tevens blijvende deformatie (breuk) van het gesteente optreedt, kan de formule voor de verhouding $\frac{Lv}{Lo}$ hier niet zonder meer worden toegepast. Indien men echter aanneemt, dat het aantal cm^3 van het gesteente, dat gemiddeld per slag door de snede op de bodem van een boorgat met ideale afvoer van het boormeel wordt losgestooten, gelijk zij aan Q, en dat de hoeveelheid energie die noodig is om 1 cm^3 van het gesteente los te stooten, gemiddeld U kgm. bedraagt, dan kan de volgende vergelijking worden opgesteld voor het verschil in kinetische energie van het samenstel van boorstang en boorkop direct bij de aanvang en aan het eind van de stoot van de snede:

$$dA = L_V + U.Q = \tfrac{1}{2}\, mv^2 - \tfrac{1}{2}\, mv_1{}^2 + U.Q \ldots\ldots (I).$$

hierin is: m = de massa van boorstang + boorkop.

v = de snelheid van het samenstel van boorstang + boorkop bij den aanvang van de slag in m/sec.

v_1 = de snelheid van het samenstel van boorstang + boorkop onmiddellijk na de slag (dus tijdens de terugstoot) in m/sec.

L_V = het stootverlies tijdens de stoot van de snede op het gesteente (exclusief de verbrijzelingsarbeid).

Men stelle nu $\frac{V_1}{V} = \psi$ waarin ψ dus een coëfficient van stootelasticiteit voorstelt, indien, tijdens de stoot het gesteente tevens deformeert.

ψ is dus >o en <1. In dat geval is $v_1 = v\,\psi$.

Deze waarde voor ψ in vgl. (I) gesubstitueerd geeft:

$$dA = \tfrac{1}{2}\, mv^2 - \tfrac{1}{2}\, mv^2\ \psi^2 + U.Q \qquad \text{of:}$$

$$dA = \tfrac{1}{2}\, mv^2\,(1 - \psi^2) + U.Q = L_V + U.Q$$

Naarmate de waarde van ψ kleiner wordt, zal de grootte van het stootverlies L_V toenemen. Bij een gegeven boorapparatuur en een bepaalde waarde voor U van het gesteente, gaat echter met de toename van het stootverlies, een afname gepaard van de nuttige energie die beschikbaar is om het gesteente los te stooten. Verder neemt met de waarde van ψ ook de waarde van v_1 af, waardoor het aantal slagen per min. van de boorhamer daalt t.g.w. het vermogen der boorhamer tevens afneemt. Hoewel van de grootte van ψ geen waarden bekend zijn, kan toch naar analogie van de stootcoëfficient bij onvolkomen elastische stoot ($= \varepsilon$) worden aangenomen dat de waarde van ψ toeneemt naarmate het gesteente harder is. Het stootverlies dat optreedt wanneer de snede tegen het gesteente stoot, zal dan dus afnemen, naarmate het gesteente grooter hardheid bezit. Het gevolg hiervan is dat bij het boren in harde gesteenten een grooter hoeveelheid van de kinetische energie der snede beschikbaar is voor de verrichting van verbrijzelingsarbeid.

Bij het doorboren van zachte gesteenten (bv. een zacht leigesteente) is de waarde ψ klein. Daar $v_1 = v.\psi$ moet de terugstoot-snelheid v_1 direct na de slag dan geringer zijn ($v =$ constant). Dit verklaart tevens, waarom in de boorpraktijk de zgn. „terugslag" van de boorhamer bij het boren in zachte gesteenten geringer is, dan dit bij harde gesteenten het geval is.

INVLOED VAN DE EIGENSCHAPPEN VAN HET GESTEENTE BIJ HET SLAAND BOREN.

In de gesteenten die in de steenkolen-mijnbouw bij het drijven van steengangen en steengalerijen doorboord moeten worden, hebben de kristallen van de verschillende samenstellende mineralen, een betrekkelijk regelmatige verdeeling en geringe afmetingen, waarom men die gesteenten bij eventueele berekeningen van de daarin t.g.v. slaand boren optredende spanningen bij benadering als homogeen materiaal kan beschouwen, zooals zandsteen, zandige leisteen en leisteen. Het percentage der conglomeraatbanken, waarbij dit niet zonder meer mag worden aangenomen, is in de steenkolenmijnbouw van ondergeschikt belang.

Ook vele nuttige gesteenten die in steengroeven worden gewonnen (trachiet, basalt, kwartsiet, grauwacke, kalksteen, dolomiet e.a.)

kunnen voor de genoemde berekeningen als homogeen worden beschouwd.

Indien de snede van de boorkop of boorstang tijdens de slag in het gesteente dringt, zal deze hierbij een weerstand ondervinden. Deze weerstand werd door Elster[27]) „Härte", en door Lares[28]) en Hensoldt[22]) „Bohrwiderstand" en „Bohrfestigkeit" genoemd.

In dit hoofdstuk zal onder „hardheid van een gesteente" per definitie worden verstaan: de weerstand, die een bepaalde beitelsnede, bij gebruik van een bepaalde boorapparatuur en bij een bepaalde druk van de perslucht, ondervindt bij indringing in- en losstooten van dat gesteente.

Deze hardheid wordt nu in een homogeen gesteente bepaald:

I. door de grenswaarden voor de schuif- druk- en trekspanning waarboven blijvende deformatie van het gesteente door breuk optreedt, (dus door de waarden van σ_B, σ_{-B} en τ van het gesteente) indien het gesteente door een stoot wordt belast.

Bij de bepaling van de trek- en drukvastheid van staalsoorten wordt de trekkracht met een genormaliseerde snelheid opgevoerd. Indien men de grootte der druk- of trekkracht sneller laat toenemen dan normaal, worden waarden voor σ_B en σ_{-B} gevonden, die grooter zijn dan de waarden, die gevonden worden met de genormaliseerde toename der druk- of trekkracht.

Naar analogie hiervan zullen de waarden voor σ_B, σ_{-B} en τ voor een stootbelasting ook hooger zijn dan bij een statische uitwendige belasting. Er is echter m.i. geen reden om aan te nemen dat de verhouding tussen de waarden σ_B, σ_{-B} en τ hierdoor zal veranderen.

Volgens Kegel[29]) is voor carboongesteenten in het algemeen de verhouding $\sigma_B : \sigma_{-B} : \tau = 1 : 26 : 2$ bij statische belasting.

II. door de coëfficient van stootelasticiteit van het gesteente. De invloed hiervan werd besproken. De waarde van deze coëff. ε bleek voor de meeste carboongesteenten onafhankelijk van de drukvastheid van het gesteente. Hierop wordt later nader ingegaan. (hoofdstuk X)

III. van de weerstand tegen slijtage van het gesteente. Zoals S. Stiny[30]) in 1929 heeft aangetoond, bestaat er een correlatief verband tusschen de drukvastheid en de slijtage van een gesteente. In het algemeen wordt de weerstand van het gesteente tegen slijtage grooter naarmate de drukvastheid van dat gesteente toeneemt.

Nu staan de drie bovengenoemde factoren die de hardheid van een gesteente bepalen, in functioneel en/of correlatief verband met de drukvastheid van het gesteente. Hieruit volgt dat ook de hardheid van het gesteente in functioneel en/of correlatief verband moet staan met de drukvastheid hiervan.

Inderdaad konden Lares [28]) en Remmer [31]) een functioneel verband tusschen hardheid (door hen „Bohrwiderstand" genoemd, en uitgedrukt in verhoudingsgetallen t.o.v. graniet, waarbij zij de hardheid van graniet gelijk stelden aan 1) en drukvastheid van het gesteente door boorproeven aantoonen voor gesteenten met een drukvastheid van 400-2000 kg/cm^2. Dit verband bleek lineair te zijn. Verder vond Lares, dat het product van hardheid en boorsnelheid voor dezelfde boorapparatuur en persluchtdruk steeds constant was, zoodat deze functie grafisch kon worden voorgesteld door een hyperbool. Lares deed deze proeven met boorsneden van koolstof-staal.

Volgens Hensoldt (Hartmetallbohrkunde des Steinbruchs blz. 80), zou dit verband tusschen boorsnelheid en hardheid van het gesteente bij boren met hardmetaal nog niet bewezen zijn, en zouden er eerder aanwijzingen (door hem niet nader genoemd) zijn, dat dit niet het geval is. Op de juistheid hiervan zal in hoofdstuk VIII nader worden ingegaan.

Thans zij nog erop gewezen dat het begrip „shore-hardheid" van gesteenten. en de door den schrijver gegeven definitie voor „hardheid", niet steeds met elkaar parallel-loopende begrippen zijn, al is dit in de onderzochte carboongesteenten practisch wel het geval, zooals in hoofdstuk VIII zal worden aangetoond.

In andere gesteenten dan carbonische lei-, zandige lei- en zandsteenen kan het nl. voorkomen dat een gesteente een groote shore-hardheid bezit, echter door bepaalde omstandigheden (bv. door de aanwezigheid van goed ontwikkelde splijtvlakken) minder weerstand tegen indringing van de snede biedt, dan men, op grond van de shore-hardheid, zou verwachten. Op deze wijze is het te verklaren, dat in sommige gesteenten van een groote shore-hardheid toch nog met succes geboord kan worden, met behulp van sneden waarvan het materiaal een geringere shore-hardheid heeft dan het te doorboren gesteente.

Een andere eigenschap van het gesteente, die een werkelijke invloed kan hebben op het boorrendement, is de abrasiviteit. Hieronder wordt verstaan, de mate van slijtage die aan het materiaal der

snede (eventueel ook van de boorkop of van de boorkroon) per tijdseenheid optreedt, wanneer in dat gesteente wordt geboord. De slijtage is voornamelijk het gevolg van de wrijving tusschen het materiaal van de snede (ev. ook van de boorkop of van de boorkroon) en de gesteente-wanden en de bodem van het boorgat eenerzijds, en van de wrijving tusschen het materiaal van de snede (ev. ook van de boorkop of van de boorkroon) en het losgestooten boormeel anderzijds. Daar de weg waarover de wrijvingskracht tijdens het omzetten werkt, aan de omtrek het grootst is, zal ook de slijtage dan aan de omtrek het grootst zijn. Hierdoor en door het feit, dat het materiaal van de snede aan de peripherie een grootere splijt-arbeid per lengte-eenheid van de snede heeft te verrichten dan in het centrum, wordt:

1) de snede aan de peripherie sneller stomp dan in het midden.

2) de diameter der snede gedurende het boren geringer, (ook „vermindering van kaliber" genoemd).

Het gevolg van kaliber-vermindering is het feit, dat bij sneden van koolstofstaal bij de opeenvolgende lengten der boorstangen, die voor het boren van een gat worden gebruikt, afnemende snede-diameters behooren. Deze diameter-vermindering der snede is grooter, naarmate de abrasiviteit van het gesteente toeneemt. Daar de uiteindelijke doorsnede van het boorgat bepaald wordt door de diameter van de springstofpatroon, zal de begindiameter van het boorgat grooter moeten zijn, naarmate de abrasiviteit van het gesteente grooter is. Dit beteekent, dat bij boorgaten van gelijke diepte en gelijke einddoorsnede, het totale volume van het boorgat grooter moet zijn naarmate de abrasiviteit van het gesteente toeneemt, hetgeen inhoudt, dat per meter boorgat de kosten aan perslucht, arbeidsloon en boormateriaal stijgen met de abrasiviteit van het gesteente.

In het algemeen neemt de abrasiviteit van het gesteente toe met de drukvastheid van het gesteente; er zijn echter vele uitzonderingen (Grenon[3]) bv., geeft een voorbeeld van een zandsteen van geringe hardheid, echter met groote abrasieve werking door het groot aantal vrije kwartskorrels. Verder noemt Grenon als voorbeelden van gesteenten met vaak sterke abrasieve werking en geringe hardheid*): sommige ijzerertsen, kalksteenen en beauxieten).

*) Grenon geeft geen definitie voor de hardheid van een gesteente. Vermoedelijk verstaat hij hieronder: de drukvastheid.

Daar de weerstand tegen mechanisch slijtage bij sneden van hardmetaal veel grooter is dan bij sneden van koolstof-staal, heeft de abrasiviteit van het gesteente voor de moderne boortechniek veel van zijn vroegere beteekenis verloren.

UITWERKING VAN DE SLAG DER SNEDE OP HET VASTE GESTEENTE DAT DE BODEM VAN HET BOORGAT VORMT.

Achtereenvolgens zullen hier over dit onderwerp de hypothesen van Müller, van Hatfield en van Grenon aan een kritische beschouwing worden onderworpen. Hierna zal de opvatting van de schrijver worden medegedeeld.

HYPOTHESE VAN MÜLLER.

Volgens Müller [32]) is het mechanisme van het slaand boren door kerfwerking te verklaren. Bij iedere slag maakt de snede een kerfscheur in het gesteente, waarom kerfspannningen optreden. Treft een volgende slag zoo een gebied, dan worden gesteentedeeltjes van de sector, die zich tusschen deze beide kerven bevinden, met groote kracht weggeslingerd.

KRITIEK OP DE HYPOTHESE VAN MÜLLER.

Bij de vorming van een slagkerf zullen in het gesteente om de kerf inderdaad kerfspanningen optreden, welke bij de punt der snede hun maximale waarde hebben. Voor die punten van het gesteente, waarvoor de breukspanningen worden overschreden, zal dan blijvende deformatie door breuk optreden, waarbij deze punten dan weder spanningsloos worden. Voor de punten van het gesteente, in de nabijheid van de kerf, waarvoor de breukspanningen tijdens de slag niet worden overschreden, zal elastische deformatie van het gesteente optreden; na afloop van de impuls der snede, zal deze elastische deformatie weer worden opgeheven, waardoor ook deze punten wederom in de oorspronkelijke spanningslooze toestand geraken. De mogelijkheid van plastische deformatie van het gesteente kan hierbij worden

uitgesloten, daar uit de proefnemingen van Adams [33]), van Kármán [34],) Böker [35]), Kienow [36]), e.a. is aangetoond, dat gesteenten met een hoogere drukvastheid (marmer, zandsteen), binnen tijden die in het bereik van waarneming in het laboratorium liggen, slechts dan vloeiïng vertoonen, indien zij onder hooge *alzijdige* druk staan.

Uit het voorgaande moge blijken, dat het gesteente in de punten in de nabijheid van de slagkerf, na beëindiging der slag, spanningsloos is, in tegenstelling met de aanname van Müller. Wel kunnen de kerfspanningen, die tijdens de slag in het gesteente rondom de kerf optreden, oorzaak zijn van de vorming van scheurtjes in dit gesteente. Dit kan een vergroote uitwerking ten gevolge hebben van een later volgende slag, waarbij de bodem van het boorgat in de nabijheid der eerste kerf wordt getroffen. Van een remanente spanningstoestand t.g.v. de eerste slag is dan echter geen sprake. De hypothese van Müller geeft dus geen bevredigende verklaring.

HYPOTHESE VAN HATFIELD. [37])

In schets 1 van fig. 2 is een snede (met snede-hoek van 90°) voorgesteld, die aan het einde der slag over de diepte c. d. in het gesteente is gedrongen. Op de snede werkt de kracht P. Beschouwt

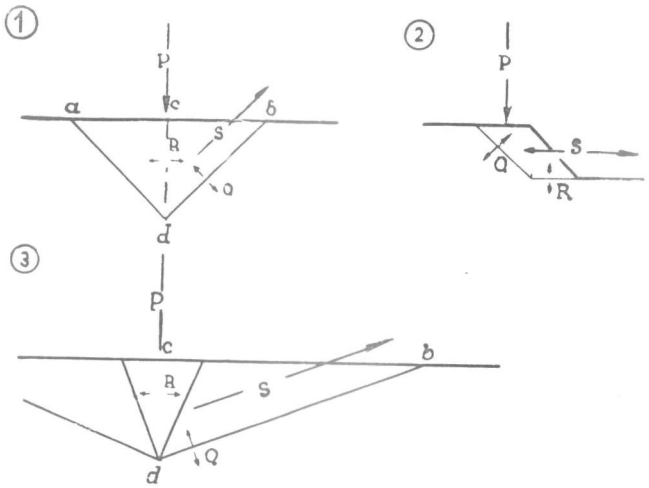


Fig. 2 (naar Hatfield)

men nu de gesteentewig b. c. d. direct bij den aanvang der slag, dan wordt op het vlak b. d. een kracht Q en op het vlak c. d. een kracht R uitgeoefend. Hatfield stelt deze twee krachten samen tot een schuifkracht S, welke kracht volgens hem met het vlak c. b. een hoek van 45^0 zou moeten maken, op grond van het feit dat de snede-hoek 90^0 is. De gesteentefragmenten zouden dan in deze richting moeten afschuiven. Indien er eenmaal een kerf gevormd is, zooals in schets 2 van fig. 2, kan volgens Hatfield afschuiving het gemakkelijkst plaats vinden in horizontale richting. Indien, in een gesteente van geringer hardheid, een snede wordt gebruikt, waarvan de snede-hoek geringer is, zal de snede dieper in het gesteente doordringen (zie schets 3 fig. 2). De resulteerende kracht werkt dan over een gebied b. d. van grooter uitgestrektheid. De hoek die het vlak waarlangs afschuiving plaats vindt met het horizontale vlak maakt, is dan kleiner.

KRITIEK OP DE HYPOTHESE VAN HATFIELD.

Wat de bepaling der breukhoek betreft, zooals Hatfield in zijn commentaar bij schets 1 en 3 van fig. 2 beredeneert, kan het volgende worden opgemerkt:

a) In de eerste plaats moet voor de bepaling van het vlak waarlangs eventueele breuk zal optreden, worden uitgegaan van de spanningstoestand, zooals die in het gesteente optreedt t.g.v. de uitwendige krachten die hierop werken. Hatfield laat deze spanningstoestand echter geheel buiten beschouwing.

b) v. Kármán[34]), Böker[35]), Kienow[36]), Ros en Eichinger[38]) hebben aangetoond dat de resultaten, die verkregen worden indien een poly-micro-kristallijn gesteente onder statische alzijdige hooge druk tot breuk wordt gedeformeerd, het meest in overeenstemming zijn met de breuktheorie van Mohr, meer dan met eenige andere breukhypothese. (Zie ook Ros en Eichinger).

De opgemeten hoek φ, tusschen de breukvlakken van het tot breuk gedrukte proeflichaam (prisma en cylinder bestaande uit marmer), bleken met de berekende breukhoek φ goed in overeenstemming te zijn, indien de drukproeven geschiedden onder alzijdige druk.

Bij de gebruikelijke drukproef echter, waarbij slechts van één drukrichting sprake is, vonden Ros en Eichinger, dat de breuk

bij het marmeren proeflichaam (prisma) plaats vond langs een vlak, dat met de drukrichting een hoek van 24^0 maakte. Het breukvlak lag dus tusschen het vlak van maximale schuifspanning (onder 45^0) en het vlak van de drukrichting in. Ros en Eichinger gaven voor dit verschijnsel de volgende verklaring:

Ieder kristal van een poly-micro-kristallijn gesteente, is anisotroop wat zijn elastische eigenschappen betreft, de elasticiteitsmoduli hebben in de verschillende kristallografische richtingen niet overal dezelfde waarde. De verschillende kristallen van een poly-kristallijn lichaam, zullen zich nu bij een-assige drukrichting in zeer verschillende drie-assige spanningstoestanden bevinden, al naargelang zij t.o.v. de richting der drukkracht georiënteerd zijn en al naargelang het gedrag van de kristallen in de omgeving. In het algemeen zal zelfs de spanningstoestand binnen de individueele kristallen niet homogeen zijn. Als gevolg hiervan, treedt het verschijnsel op, dat de vlakken in het gedrukte proeflichaam, die naar de gebruikelijke berekeningen spanningsvrij moesten zijn in feite hieraan niet voldoen. Deze spanningen wisselen tusschen ongeveer even groote druk- en trekspanningen; ook bij de een-assige drukproef kan hierdoor de „Reiszwiderstand" door dergelijke spanningen overschreden worden. Ros en Eichinger noemen deze spanningen „vagabundierende Spannungen". Deze „vagabundierende Spannungen" maken berekening van de breukhoek bij een-assige druk van het gesteente onmogelijk. Onder *hooge alzijdige* druk echter, krijgen de verschillende vlakken een zekere drukspanning (en wel om de tevoren beschreven redenen niet homogeen). Wordt nu op de alzijdige druk nog een een-assige druk gesuperponeerd, dan ontstaan t.g.v. de laatste weer „vagabundierende Spannungen". Zoolang echter de „vagabundierende" trekspannungen kleiner zijn dan de genoemde drukspanningen, zal geen overschrijding van de „Reiszwiderstand" plaats vinden.

De belasting, door de snede op het gesteente uitgeoefend, is eveneens als een-assige druk te beschouwen, waardoor de breukhoek niet bepaald kan worden.

c) De boven beschreven proefnemingen waren geschied met statische belastingen. Bij de stoot van de snede op het gesteente, heeft men echter te doen met een geval van dynamische belasting. Over het spanningsverloop in en het gedrag van de gesteenten die aan een impuls worden onderworpen, zijn echter geen ge-

gevens bekend. Het is echter wetenschappelijk niet geoorloofd, om zonder eenig voorbehoud aan te nemen, dat dit bij dynamische belasting geheel identiek zal zijn aan het spanningsverloop bij statische belasting.

d) Verder is de druk p_n die de snede op een gegeven tijdstip per oppervlakte-eenheid op een bepaald punt van het gesteente uit-

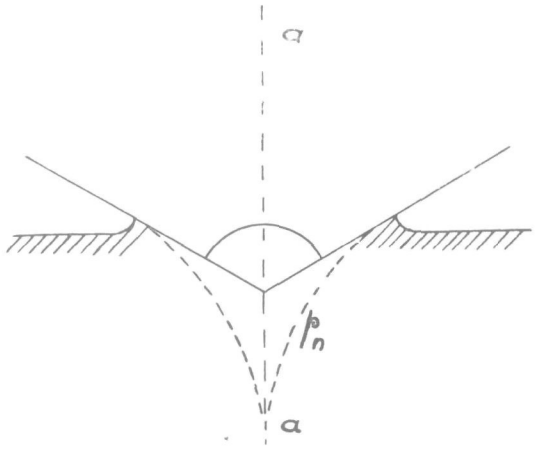


Fig. 3

oefent, een functie van de afstand van dit punt tot het symetrievlak a-a der snede (zie fig. 3). In het theoretische geval van een volkomen scherpe snede, zou de druk van de punt der snede oneindig groot zijn

In hoever Hatfields commentaar bij schets 2 van fig. 2 juist is, zal worden nagegaan bij de bespreking van de opvattingen die de schrijver te dezer zake heeft.

Resumeerende kan dus gezegd worden, dat de hypothese van Hatfield niet aanvaard kan worden. daar deze in strijd is met de elasticiteitsleer en met de resultaten van het experimenteele onderzoek van de elastische eigenschappen der gesteenten.

HYPOTHESE VAN GRENON.[3])

Indien een wigvormig lichaam in een plastisch gesteente dringt, zal de snede, volgens Grenon, een zeker volume V_1 verplaatsen (zie

fig. 4). Indien het gesteente een zekere hardheid heeft, zal dit gesteente bij de slag door de snede over een zeker naburig gebied worden gedesagregeerd, waarbij breuk optreedt (in fig. 4 bv. tot aan B_3). In het laatste geval blijft een gedeelte van het losgestooten materiaal ter plaatse liggen, terwijl de rest zich zal ophoopen tot het volume V_3 (zie fig. 4 rechts van de lijn A-A').

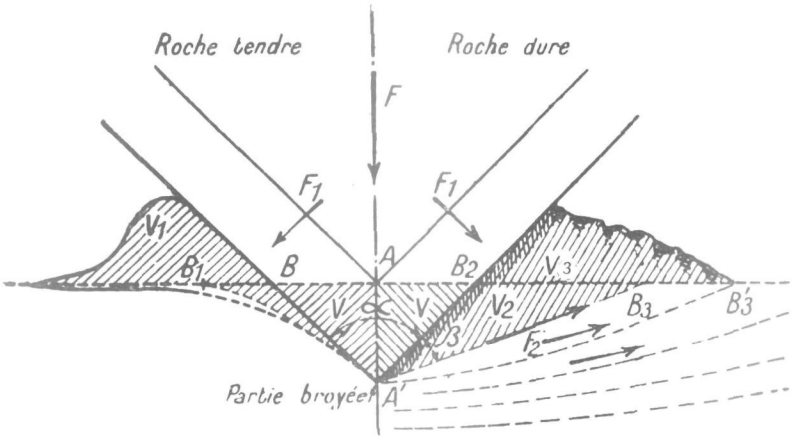


Fig. 4 (Ontleend aan Grenon)

In het eerste geval (van het plastische gesteente), zal de snede in het gesteente dringen, in het tweede geval (gesteente met een zekere brosheid), zal de snede terugstooten nadat hij een sector van de bodem van het boorgat (over een geringe diepte, maar over een groot oppervlak) heeft verbrijzeld. (zie fig. 4 en fig. 5).

Naarmate de hardheid van het gesteente grooter is, zal de diepte waarover de snede bij elke slag in het gesteente indringt (A-A' in fig. 4) geringer zijn.

In een homogeen gesteente en voor een bepaalde hoek van de snede, zal er een evenredigheid zijn tusschen de mate van vooruitgang A-A' en de afstand A-B_3. De bodem van het boorgat vertoont een serie slagkerven, waartegen de snede tijdens het omzetten stoot. Tot op zekere hoogte zal een snede met een stompe snede-hoek bij het omzetten gemakkelijker de kerven verlaten, en op de graten springen die tusschen de slagkerven zijn gelegen, dan een snede met een scherpe snede-hoek. Evenwel zal de mate van indringing van deze laatste het grootst zijn.

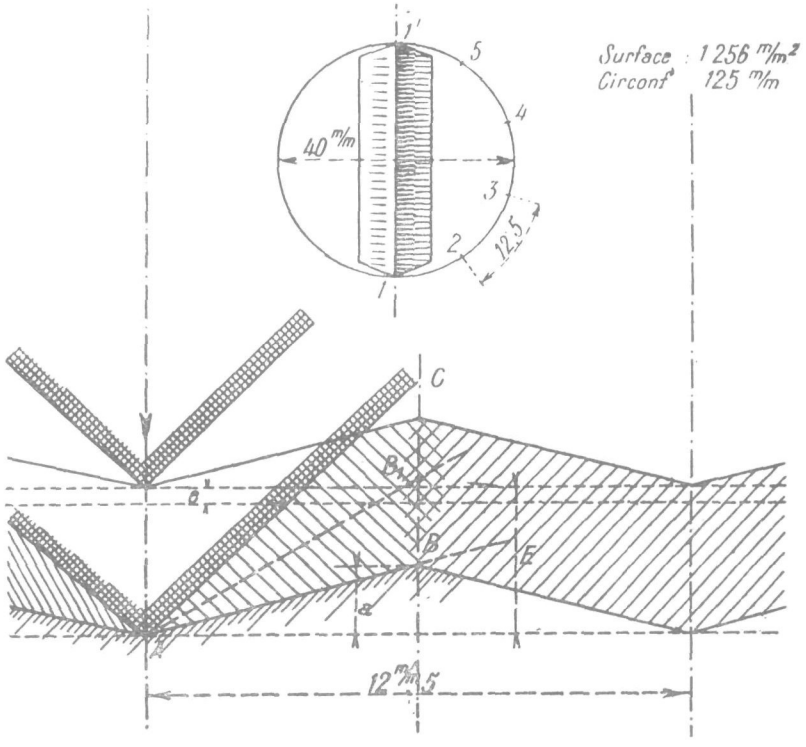


Fig. 5 (Ontleend aan Grenon)

Verder treedt het verschijnsel van desagregatie volgens Grenon tot op grooter afstand van de snijribbe der wig op, naarmate het gesteente een grootere hardheid heeft, m.a.w. de hoek β wordt in harde gesteenten grooter. Onder „hardheid" (Fr. dureté) verstaat Grenon hier: het complex van alle eigenschappen van het gesteente, die de boorweerstand beïnvloeden.

Verder zegt Grenon, dat in plastische of zeer zachte gesteenten de boorstang ter plaatse zal indringen en al roteerende niveleeren. In gesteenten van gemiddelde hardheid en in harde gesteenten echter, breekt de snede het gesteente, waarbij zijn actie bepaald wordt door de mate van weerstand van het gesteente.

In zeer harde gesteenten zal de snede fijn stampen (verbrijzelen) en terugspringen.

Indien de snede twee- of meerzijdig symetrisch was, zou de snede steeds weer in een oude kerf slaan, indien de boorhamer een

omzethoek had van 15°, 20°, 30°, 45°, 60°, 90°, enz. De boorhamers worden echter zoodanig geconstrueerd dat de omzethoek nimmer gelijk is aan een der genoemde waarden.

Het centrale gedeelte van het boorgat, heeft per oppervlakteeenheid ook het grootste aantal slagkerven. De bodem van het boorgat is hier dan ook steeds voor op de peripherie, en het gesteente wordt hier vooral verbrijzeld en verpoederd, terwijl de graten die tusschen de slagkerven in staan, aan de peripherie van het boorgat vooral worden aangetast, doordat stukjes van deze graten afspringen. (Zie fig. 6.)

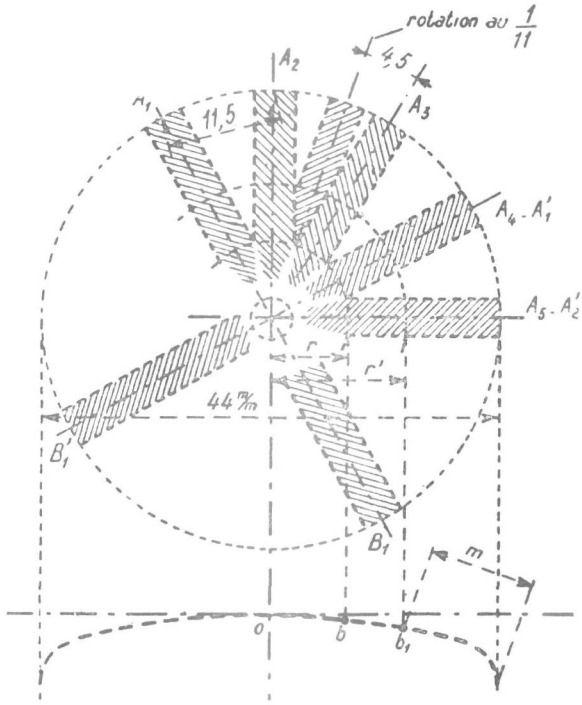


Fig. 6 (Ontleend aan Grenon)

KRITIEK OP DE HYPOTHESE VAN GRENON.

Indien men de bodem van een boorgat beschouwt, kan men inderdaad steeds een aantal slagkerven constateeren. Ook kan men steeds waarnemen, dat de hoek, gevormd door de elkaar snijdende

begrenzingsvlakken der kerven, in gesteenten van geringe hardheid nagenoeg gelijk is aan de snedehoek, terwijl in gesteenten van grootere hardheid, de snedehoek inderdaad kleiner blijkt te zijn dan de hoek die gevormd wordt door de vlakken die de kerven begrenzen.

In gesteenten van gemiddelde hardheid en in zachte gesteenten met een zekere brosheid, is de hoek β steeds klein. Het gesteentemateriaal van V_2 wordt door de slag losgestooten en daarna ten deele weggedrukt naar V_3, waardoor dit gedeelte van het losgestooten gesteente aan verdere verbrijzelende werking van de slag kan ontkomen.

In zeer hard gesteente is hoek β grooter, dan bij zachtere gesteenten het geval is. De hoeveelheid gesteente-materiaal die nu door de snede wordt losgestooten, kan tijdens de slag niet uitwijken en wordt sterk verbrijzeld, temeer daar door de hooge waarde van de coëfficient van stootelasticiteit (voor de stoot van de snede op het gesteente), de levende kracht van het samenstel van zuiger + boorstang + boorkop toeneemt.

Zoodoende is ook het feit te verklaren, dat de afmetingen van het boormeel geringer zijn, naarmate de hardheid van het gesteente grooter is.

Met de hypothese van Grenon kunnen de waarnemingen dus logisch verklaard worden.

OPVATTING VAN DE SCHRIJVER.

Op grond van eigen waarnemingen, kan de schrijver zich geheel met de theorie van Grenon vereenigen.

Indien men nl. in een gesteente een boorgat aanzet, wordt bij de eerste halve omwenteling een aantal slagkerven I (zie fig. 7) gevormd.

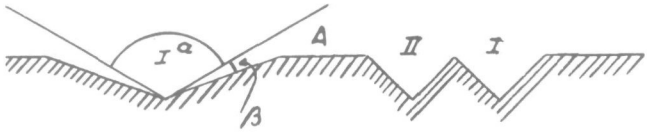


Fig. 7
Doorsnede langs de omtrek van de bodem van het boorgat (schetsmatig).

Dit aantal slagkerven is, bij een enkelv. beitelsnede gelijk aan het aantal slagen der zuiger per halve omwenteling. Nu blijkt bij nauw-

keurige waarneming, dat de wanden der slagkerf, in gesteenten die eenige brosheid bezitten, steeds een zekere hoek maken met het oppervlak der snede. Doet nu de snede, tijdens de tweede halve omwenteling, in fig. 7 de slagkerf II ontstaan dan zal het gesteente van de sector, begrensd door de kerven Ib en II losgestooten worden volgens de lijn die in de fig. is aangegeven, terwijl tusschen de kerven Ia en II nog een gesteente-sector is blijven staan. Alleen dus voor het geval dat de kerf II zeer dicht tot de kerf Ib nadert, wordt het resultaat benaderd, dat Hatfield in schets 2 van fig. 2 heeft voorgesteld, echter is de verklaring daarvan dus weer een andere dan door Hatfield hiervoor is gegeven. Bij de vorming van de slagkerven I kunnen in het gesteente tusschen die kerven, t.g.v. de groote kerfspanningen, reeds scheuren zijn ontstaan, waardoor de verbrijzelende werking van de slagen die de kerven II teweeg brengen, vergroot kan worden.

Over de spanningsverdeeling in het gesteente in de onmiddellijke nabijheid van de snede tijdens de stoot, is het zeer moeilijk een quantitatieve berekening op te stellen. Immers het betreft hier de blijvende deformatie van een bros materiaal, onder invloed van een impuls. Men heeft hier te maken met twee vaste lichamen, welke met elkaar in aanraking komen en waarbij het contactvlak zeer klein is t.o.v. de oppervlakte der beide lichamen. Voor de punten in of in de onmiddellijke nabijheid van dit contactvlak gelegen, wordt gevraagd de grootte der optredende normale drukkracht per oppervlakte-eenheid en de verschillende spanningen te berekenen.

Dit probleem werd het eerst langs mathematische weg voor twee vaste elastische lichamen opgelost door Hertz [52]), zoowel voor het geval dat het contact der beide lichamen tot stand komt t.g.v. een statische kracht, als voor het geval dat dit geschiedt t.g.v. stoot.

De begrenzing van het contactvlak kan voor het algemene geval, naar Hertz aantoonde, met genoegzame nauwkeurigheid worden voorgesteld door een ellips. Tevens toonde Hertz aan, dat bij een dergelijk contact, de verdeeling der normale druk per oppervlakte-eenheid, met genoegzame nauwkeurigheid kan worden voorgesteld door een halve ellipsoïde, welke op het contactvlak geconstrueerd wordt. De maximale normale druk per oppervlakte-eenheid op het contact-vlak, treedt op in het centrum van dit vlak. De maximale schuifspanning treedt op in een punt, liggend op de loodlijn door het centrum van het contactvlak, en op eenige afstand van dit centrum verwijderd. Dit punt van maximale schuifspanning moet voor taaie materialen (bijv. staal), als

het zwakste punt worden beschouwd (zie ook Timoshenko[53]) blz. 344).

Bij brooze materialen echter, waartoe de meeste gesteenten gerekend moeten worden, treedt blijvende deformatie op in de vorm van een sprong of scheur, dus onder de invloed van trekspanningen. Waar de door Hertz opgestelde berekening uitgaat van een alzijdig gecomprimeerd element, kan van dit laatste, naar Hertz zelf opmerkte, geen sprong of scheur uitgaan; het is dus m.b.v. deze theorie niet mogelijk precies dat element te bepalen, waar aan de vereischten voor het ontstaan van een scheur bij toenemende druk het eerst zal worden voldaan. Intusschen kan uit de beschouwingen van Hertz wel aangenomen worden, dat in lichamen die in hun eigenschappen glas of hard staal nabij komen, de grootste trekspanningen optreden aan de oppervlakte en wel aan de rand van de contact-ellips.

Volgens Hertz is het tevens waarschijnlijk, dat de eerste scheurvorming optreedt aan de einden van de kleine as der druk-ellips.

In het geval van een boorkop met enkelvoudige beitelsnede in contact met het gesteente, zal de druk-ellips naderen tot een rechte lijn ter lengte van de snede.

Wordt nu de snede voor de eerste keer tegen een deel van een gesteente-wand gestooten, waarin zich nog geen slagkerven bevinden, dan zou het dus volgens Hertz' theorie waarschijnlijk zijn, dat de eerste scheurvorming optreedt aan de einden van de kleine as der druk-ellips.

Waar de lengte van deze laatste in dit geval zeer gering is, zal dus de plaats, waar het gesteente bij de stoot van de snede waarschijnlijk het eerst zal scheuren, liggen onder het midden der snede.

INVLOED VAN DE VORM DER SNEDE.

Aan een snede worden, wat zijn vorm betreft, bepaalde eischen gesteld, die verdeeld kunnen worden in:

a) algemeene eischen,
b) bijzondere eischen.

Deze beide groepen zullen hier achtereenvolgens worden besproken.

ad a) De voornaamste algemeene eischen zijn de volgende:

1) het rendement van de slagenergie, die de snede op het vaste ge-

steente overbrengt, moet zoo groot mogelijk zijn, m.a.w. het aantal volume-eenheden dat per slag wordt losgestooten, moet maximaal zijn. Dit houdt in, dat het gesteente bij de slag niet tot een onnoodige graad van fijnheid verbrijzeld mag worden, maar gestreefd moet worden naar een boormeel, waarvan de korrelafmetingen zoo grof mogelijk zijn, in welk geval, naar Müller en Duch[26]) aantoonden, de boorsnelheden ook het grootst zijn. In hoofdstuk VII zal hierop nader worden teruggekomen.

2) Met de snede moeten boorgaten gemaakt kunnen worden, waarvan de dwarsdoorsneden zooveel mogelijk die van een cirkel benaderen. Briggs[39]), Müller en Wohlbier[40]), Grenon[3]) en Bammer[34]) hebben hierover reeds gepubliceerd. In hoofdstuk V wordt hierop nader teruggekomen.

3) De weerstand van de snede tegen de abrasieve werking van het gesteente moet zoo groot mogelijk zijn, om kalibervermindering tegen te gaan. Afgezien van de juiste keuze van het materiaal voor de snede, is ook hier de vorm der snede van groote beteekenis. Immers zal de kalibervermindering der snede per meter boorgat afnemen, naarmate een grootere hoeveelheid van het materiaal waaruit de snede is vervaardigd, aan de peripherie geconcentreerd is. Om deze reden voldoen, in sterk abrasieve gesteenten, kruissneden en zes- of achtvleugelige kroonsneden van koolstof-staal vaak beter dan enkelvoudige beitelsneden van dezelfde legeering. Bertl heeft dit principe ook toegepast, bij zijn constructies van boorkoppen met drie- en meer vleugelige sneden van hardmetaal, waarbij slechts één vleugel tot het centrum der boorkop doorloopt.

4) De snede (eventueel ook de boorkop) moet een zoodanige vorm hebben, dat het gevormde boormeel snel van de snede kan worden weggevoerd, opdat het rendement der slagenergie niet verminderd worde, door onnuttige verdere verbrijzeling van het gevormde boormeel, en opdat tijdens het omzetten van de snede een geringer weerstand ondervonden worde.

Hensoldt heeft deze eisch als „Bohrkleinflucht" gekarakteriseerd.

ad b) Behalve de algemeene, moeten, voor speciale omstandigheden, nog bijzondere eischen aan de snede, in verband met zijn vorm, worden gesteld. Zoo moet voor het boren in gesteenten die sterk gespleten zijn, van de snede worden geëischt dat hij niet gemak-

kelijk in een spleet beklemd raakt. Daarom zal een enkelvoudige beitelsnede in dergelijke gevallen minder goed voldoen, dan een snede die uit een grooter aantal vleugels bestaat.

Een andere eisch, tot deze categorie behoorend, is die der meest geschikte snede-hoek voor een bepaald gesteente. In het algemeen zal een snede dieper in het gesteente dringen, en dus een grootere boorsnelheid per tijdseenheid worden verkregen, naarmate met een kleinere snede-hoek geboord kan worden. Om echter de belastingen, waaraan de snede tijdens het boren wordt onderworpen, zonder blijvende deformatie te kunnen doorstaan, moet de snedehoek voor elk gesteente een bepaalde minimale waarde hebben, afhankelijk van de hardheid van dat gesteente. Naarmate de hardheid van het gesteente geringer is, kan een kleinere snedehoek worden toegepast De Z-snede van koolstofstaal, met zijn geringe snedehoek (van $60^0 - 80^0$), voldoet dan ook zeer goed in zachte gesteenten, waar met deze snedevorm hooge boorsnelheden worden verkregen; in gesteenten van grooter hardheid treedt echter te snel sterke afstomping en blijvende deformatie van het materiaal der snede op, zoodat daar een enkelvoudige beitelsnede, of een kruis-snede met grootere snedehoek, beter voldoet.

De invloed van de snedehoek op de boorsnelheid wordt duidelijk geïllustreerd door graf. 9. (Z.-snede van koolstof-staal met een snedehoek van $\pm 70^0$. Enkelvoudige beitelsnede met een snedehoek van 110^0).

HOOFDSTUK IV

Omstandigheden waaronder de proefnemingen plaats vonden en beschrijving der bij deze proeven gebezigde apparatuur.

De proefnemingen waarover in de volgende hoofdstukken wordt medegedeeld, hebben allen plaats gevonden in carbonische gesteenten, bestaande uit leisteen, zandige leisteen en zandsteen. De resultaten hebben allen betrekking op horizontaal of nagenoeg horizontaal geboorde gaten ter lengte van ± 2 m.

De gebezigde boorhamer had een gewicht van 18 kg. Een onderzoek van de boorhamer op de beproevingsinstallatie, gaf de volgende resultaten, bij een persluchtdruk van 5,75 ato.:

aantal slagen per min. 1700 à 1800
aantal omwentelingen per min. 30 tot 110 afhankelijk van de kracht waarmede de boorhamer werd aangedrukt.

De diameter van de zuiger der boorhamer bedroeg 62 mm., zijn gewicht 2 kg. De slaglengte bedroeg 55 mm. bij nullast.

Waar niet uitdrukkelijk anders wordt vermeld, is bij de proefnemingen gebruik gemaakt van een „boorknecht" en van waterspoeling. Het spoelwater werd met behulp van een spoelkop in het spoelkanaal der holle boorstangen geleid.

De boorstangen hadden uitwendig een ronde doorsnede, de buitendiameter bedroeg 22 mm., tenzij uitdrukkelijk anders is vermeld. De lengte der boorstangen bedroeg 2,20 m. (behalve bij de proefnemingen beschreven in hoofdstuk X). De boorstangen waren aan één uiteinde van een conus voorzien, waarover de boorkop werd geschoven. De boorkop was vervaardigd van sneldraaistaal en voorzien van een enkelvoudige beitelsnede, welke snede gevormd werd door 2 hardmetalen plaatjes, welke met koperfolie in de boorkop gesoldeerd waren. De beide hardmetalen plaatjes waren door een plaatje van vloeistaal ter dikte van ± 2 mm. van elkaar gescheiden. Als hardmetaal werd de soort G_2 gebezigd. De enkelvoudige beitelsnede had een lengte van 35 mm. à 38 mm. De snedehoek bedroeg 110^0.

Een afbeelding van deze boorkop is in fig. A weergegeven. Waar zulks uitdrukkelijk vermeld, werden ook kruissnedige boorkoppen gebezigd.

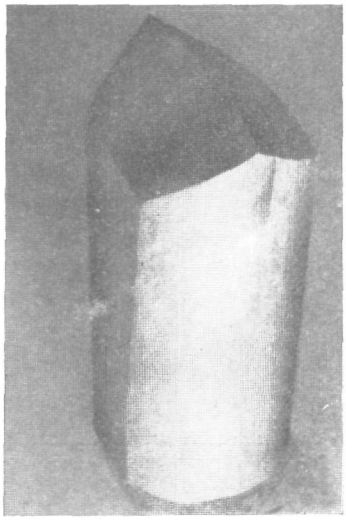


Fig. A

Het hoogte-verlies der sneden, werd bepaald door meting van de lengte van de boorkop, vóór en na iedere boorperiode. Deze meting geschiedde m.b.v. een schuifmaat, voorzien van een daartoe geëigende schaalindeeling en nonius.

De persluchtdruk varieerde voor de verschillende proefnemingen tusschen 5 ato. en 6 ato,, echter werden de proefnemingen, waarvan de resultaten direct met elkaar werden vergeleken, steeds met dezelfde persluchtdruk uitgevoerd.

De boorapparatuur werd steeds door één man bediend ; bij proefnemingen waarvan de resultaten direct met elkaar vergeleken werden, geschiedde de bediening steeds door dezelfde man.

De boorsneden werden nadat ze een bepaald bedrag, (nl. 0,25 mm.), aan hoogte hadden verloren, opnieuw geslepen.

HOOFDSTUK V.

Aard en orde van grootte der afwijkingen van gaten, die geboord zijn met boorkoppen, voorzien van enkelvoudige beitelsneden van hardmetaal.

Gedurende het boren verliest de snede in kaliber, tengevolge van de slijpende werking, door het gesteente der wanden, op het materiaal der snede uitgeoefend. De begindiameter van de snede zal nu zoodanig gekozen moeten zijn, dat de bodem van het laatste gat, hetwelk met een bepaalde boorkop nog geboord kan worden, alvorens het hardmetaal zoodanig is versleten, dat de boorkop voor verder gebruik niet meer geschikt is, nog een doorsnede heeft welke gelijk is aan die der laadstok.

Anderzijds mag de begindiameter der snede ook niet grooter zijn dan noodzakelijk is, met het oog op de vereischte eind-diameter van het laatste boorgat, omdat dit een vermindering van het boorrendement zou beteekenen, daar immers het aantal cm^3 van het gesteente dat per meter boorgat moet worden losgestooten zou toenemen, en daarmede ook het verbruik van perslucht per meter boorgat, terwijl de zuivere boorsnelheid zou dalen, hetgeen weer een verhooging van de tijdsduur en het arbeidsloon per meter boorgat met zich mede zou brengen.

Om de meest gunstige begin-diameter voor de nieuwe hardmetalen sneden te kunnen bepalen, zooals dit in het volgende hoofdstuk is gedaan, is het noodzakelijk tevoren te onderzoeken, of de boorgaten, die met deze sneden zijn geboord, eventueele onvermijdelijke afwijkingen vertoonen, en zoo dit het geval mocht zijn, dient te worden nagegaan van welke orde van grootte deze afwijkingen zijn.

Mogelijke tekortkomingen van boorgaten, welke op de vereischte grootte van het begin-kaliber der snede een ongunstige invloed uitoefenen, zijn de volgende:

a) afwijkingen in de *vorm* van de dwarssdoorsnede van boorgaten.

b) afwijkingen in de *grootte van de oppervlakte* van de dwarsdoorsnede der boorgaten, zoodat de grootte van dit oppervlak niet gelijk is aan dat van een cirkel met een diameter die gelijk is aan die van de snede.

c) afwijkingen van de lengte-as van het boorgat t,o.v. de rechte lijn.

Deze drie gevallen zullen hier achtereenvolgens nader worden beschouwd.

ad. a) Briggs[39]) had reeds in 1927 langs theoretische weg afgeleid, dat met een vlakke snede van koolstof-staal een boorgat wordt verkregen, waarvan de dwarsdoorsnede niet rond is, doch n + 1 hoeken vertoont, wanneer n het aantal vleugels der snede voorstelt. Een vlakke enkelvoudige beitelsnede geeft dus volgens Briggs een boorgat met driehoekige-, een kruissnede, een boorgat met vijfhoekige dwarsdoorsneden. Dit verschijnsel moet volgens Briggs aldus verklaard worden, dat de snede bij het omzetten niet zijn middelpunt tot draaipunt heeft, doch achtereenvolgens elk der opeenvolgende uiteinden.

Deze opvattingen werden in 1933 geheel bevestigd, door de onderzoekingen van Müller en Wohlbier[40]) die met diverse typen van koolstofstalen sneden gaten boorden, en van deze gaten met behulp van was afdrukken namen. Verder bleek hun ook, dat de oppervlakte der dwarsdoorsnede van het onronde boorgat, kleiner was dan overeenkomt met het oppervlak van een cirkel met een diameter die gelijk was aan die der snede. Met een enkelvoudige beitelsnede waarvan de snede een gebroken lijn vormde, werd echter wel een volkomen rond boorgat verkregen, hetgeen verklaard kan worden doordat deze snede spits toeloopt, waardoor een centreerende werking wordt verkregen. Bij sneden van koolstofstaal vervaardigd, stompt deze spits echter spoedig af, daar deze spits, bij het aanzetten van het boorgat, de volle stootbelasting heeft op te nemen. Bij hardmetaal kan een dergelijke scherpe spits, in verband met de brosheid van het materiaal, niet worden toegepast. Een tweede snede-type waarmede Müller en Wohlbier volkomen ronde boorgaten verkregen, was de dubbele beitelsnede. Ook deze snede wordt echter practisch niet in hardmetaal uitgevoerd, daar de bevestiging van het hardmetaal in dit geval moeilijkheden oplevert, en deze snede moeilijk geslepen kan worden.

Bammer[41]) wijst er op, dat bij het gebruik van hardmetalen sneden de excentrische beweging van de boorstang en de boorkop grooter is dan bij normaal boorstaal, daar de boorapparatuur sterker gaat „dansen". Inderdaad is dit, naar de meening van den schrijver, aanvaardbaar. Boorkoppen voorzien van hardmetalen sneden, worden immers voornamelijk toegepast in harde en zeer harde gesteenten. Door de grootere coëfficiënt van stoot-elasticiteit van het hardmetaal, zal dan de terugstoot van de snedè ook grooter zijn, hetgeen een sterker „dansen" der boorhamer tengevolge heeft.

Om de excentrische beweging van de boorstang en de boorkop bij toepassing van hardmetalen sneden tegen te gaan, beveelt Bammer aan:

1) sneden, waarvan een of meer vleugels excentrisch geplaatst zijn, bv. een kruissnede waarvan één balk excentrisch is aangebracht.
2) een cylindrische vorm aan de boorkop te geven.

Tegen deze meening van Bammer, meent de schrijver te moeten inbrengen dat de onder 1) genoemde methode niet bruikbaar is voor de enkelvoudige beitelsnede, doch wel voor meer gecompliceerde sneden-typen, welke laatsten echter betrekkelijk weinig worden toegepast, daar zij moeilijker te slijpen zijn, en omdat de boorsnelheden die met de meer ingewikkelde typen worden verkregen in de meeste gesteenten geringer zijn, (met uitzondering van zeer harde gesteenten waarin enkelvoudige beitelsneden spoedig defect raken, zooals in hoofdstuk IX nader beschouwd wordt.) De door Bammer onder 2) genoemde methode, vindt overigens vrij algemeen toepassing.

Nu ware er echter, behalve de cylindrische vorm der boorkop, mogelijk nog een omstandigheid die centreerend zou kunnen werken. De enkelvoudige beitelsneden hebben nl. steeds een zekere ronding, welke ronding in de regel een straal bezit, die voor de verschillende fabricaten varieert van ± 60 cm. tot ± 120 cm. Deze afronding heeft tot doel te voorkomen dat aan de uiteinden van de snede te scherpe hoeken zouden ontstaan, daar dergelijke scherpe hoeken, in verband met de betrekkelijke brosheid van het hardmetaal, te snel zouden kunnen afbrokkelen. Het ware zeer wel mogelijk, dat deze ronding der snede tevens een centreerende werking op die snede zou uitoefenen. Om de aard en de grootte der afwijkingen in de vorm van de dwarsdoorsnede van boorgaten, met de in hoofdstuk IV beschreven apparatuur geboord, te kunnen vaststellen, alsmede om een inzicht te verkrijgen op de factoren die daarbij een rol spelen, werden door de schrijver de onderstaande proefnemingen gedaan.

PROEFNEMINGEN.

In blokken van verschillende gesteenten (leisteen, zandige leisteen, zandsteen), werden met hardmetalen enkelvoudige beitelsneden gaten geboord ter diepte van ± 60 cm. Vervolgens werden deze blokken zoodanig geplaatst, dat de boorgaten verticaal stonden, en de monding der boorgaten zich aan de bovenzijde der gesteente-blokken bevonden. Met behulp van gesmolten witmetaal werden nu gietkernen van de boorgaten gemaakt. Na afkoeling van het witmetaal, werd het

gesteente om de aldus bereide gietkernen, met behulp van een afbouwhamer, voorzichtig verwijderd. De doorsneden van deze kernen waren allen nagenoeg rond; fig. 8 toont een dergelijke doorsnede op ware grootte: de gemiddelde diameter der kerndoorsnede bedraagt hier slechts 31.6 mm., terwijl de diameter der snede 33,5 mm. bedroeg; daar echter als resultaat van de opmetingen, aan het boorgat verricht, een gemiddelde diameter der doorsnede van 34 mm. werd verkregen, moet de witmetalen kern, na stollen en afkoelen, dus gemiddeld 2.4 mm. aan diameter hebben verloren t.g.v. krimp, dit is ± 7.06 %.

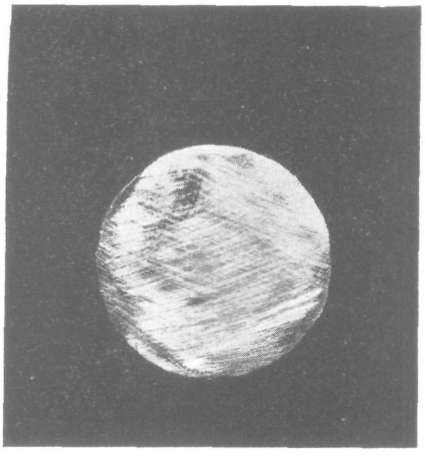


fig. 8.

Aannemende dat de radiale krimp van het witmetaal in alle richtingen van de dwarsdoorsnede der kern gelijk zij, geeft de vorm der dwarsdoorsnede van die kern wel een idee van de *vorm* van de dwarsdoorsnede van het boorgat, echter geen juiste weergave van de *diameter* en de oppervlakte daarvan.

Om nauwkeuriger gegevens omtrent de diameter en de oppervlakte der dwarsdoorsneden van boorgaten te verkrijgen, werden bij ieder van een aantal boorgaten, in drie onderling 120° van elkaar verschillende richtingen, de diameter van een dwarsdoorsnede opgemeten. Deze metingen werden uitgevoerd met behulp van een schuifmaat en een zgn. „voetjespasser". De boorgaten I t/m XII waren geplaatst in betrekkelijk homogene gesteenten, de boorgaten XIII en XIV in een sterk door splijtvlakken en storingen doorsneden gesteente.

Om te kunnen constateeren, of de straal der ronding van de snede (= R), eenige invloed op de vorm van de dwarsdoorsnede der boorgaten heeft, werden twee soorten sneden gebruikt, nl. sneden waarbij de straal van de ronding R = 60 cm. en sneden waarbij de straal van de ronding 120 cm. bedraagt. Door het gebruik van sneden met verschillende diameters bij dezelfde grootte van R, kon ook de invloed van het kaliber der snede, op de afwijkingen in de vorm van het oppervlak, worden nagegaan. De resultaten der metingen zijn in tabel 2 verzameld.

Nr. boorgat	Ø snede in mm.	d1 mm.	d2 mm.	d3 mm.	d gem. mm.	V=max. gemeten verschil in diameter der dwarsdoorsnede in mm.	V in % van d gem.	Gesteente	R in cm.	Opmerking
I	33,5	34,-	33,9	34,2	34,-	34,2 - 33,9 = 0,3	0,88	Zandsteen A	60	
II	„	33,9	34,1	34,-	34,-	34,1 - 33,9 = 0,2	0,59	„ B	„	
III	„	33,9	33,8	34,-	33,9	34,- - 33,8 = 0,2	0,59	leisteen C	„	
IV	„	34,1	34,1	33,8	34,-	34,1 - 33,8 = 0,3	0,88	„ D	„	
V	38,0	38,2	38,2	38,5	38,3	38,5 - 38,2 = 0,3	0,78	zandsteen A	„	
VI	„	38,2	38,2	38,3	38,2	38,3 - 38,2 = 0,1	0,26	„ B	„	in homogeen gesteenten
VII	37,8	38,2	38,2	38,2	38,2	38,2 - 38,2 = 0,0	0,00	leisteen C	„	
VIII	„	37,8	37,8	37,9	37,8	37,9 - 37,8 = 0,1	0,27	„ D	„	
IX	38,-	38,6	38,9	38,7	38,8	38,9 - 38,6 = 0,3	0,77	zandsteen A	120	
X	„	38,5	38,8	39,-	38,7	39,- - 38,5 = 0,5	1,29	„ B	„	
XI	„	39,-	38,5	38,2	38,6	39,- - 38,2 = 0,8	2,07	leisteen C	„	
XII	„	38,3	38,6	38,2	38,4	38,6 - 38,2 = 0,4	1,04	„ D	„	
										gesteente sterk door storings- en splijtvlakken doorsneden
XIII	38,-	41,4	38,9	38,5	39,6	41,4 - 38,5 = 2,9	7,32	leisteen	60	
XIV	„	39,3	41,2	37,2	39,2	41,2 - 37,2 = 4,-	10,21	„	„	

Tabel 2.

Uit bovenstaande tabel blijkt, dat het maximaal gemeten verschil der diametermetingen aan dezelfde dwarsdoorsneden (= V), voor de gaten I t/m VIII slechts 0,0 à 0,3 mm. bedraagt. De afwijkingen V bedragen bij deze boorgaten slechts van 0,00 % tot 0,88 % van de gemiddelde waarde (= d gem.) der diameter van de dwarsdoorsnede der betrokken gaten. De doorsneden van deze boorgaten, kunnen dus practisch als cirkelvormig worden beschouwd. Voor de boorgaten IX t/m XII is het verschil V grooter, en varieeren de waarden voor V tusschen 0,77 % tot 2,07 % van de waarden van d gem. De absolute waarden voor V varieeren bij deze boorgaten van 0,3 tot 0,8 mm. Toch zijn ook hier de afwijkingen nog van zoo geringe orde van grootte, dat de doorsneden van deze boorgaten voor verdere berekeningen eveneens als cirkelvormig beschouwd kunnen worden. Op grond van het feit, dat de in tabel 2 vermelde resultaten der opmetingen aan de boorgaten I t/m XII, een zoo geringe spreiding in de waarden van V vertoonden, werd met deze serie van 12 boorgaten in homogeen gesteente volstaan.

Werden dus in homogene gesteenten boorgaten verkregen, waarvan de dwarsdoorsneden nagenoeg cirkelvormig waren, in gesteenten welke sterk doorsneden waren door storings- en splijtvlakken was dit niet zonder meer het geval, waarvan de opmetingen aan de boorgaten XIII en XIV een voorbeeld geven. Het maximale verschil (= V) bedraagt hier resp. 2,9 mm. en 4,— mm., welke waarden voor V resp. 7.32% en 10,21% uitmaken van de waarden voor d gem.. Daar in dergelijke sterk gescheurde gesteenten echter een enkelvoudige beitelsnede snel vastklemt, wordt deze hier zeer zelden toegepast, en worden de gaten meestal met een boorkop voorzien van een kruissnede geboord. Het boren met enkelvoudige beitelsneden in gespleten gesteenten, wordt hier dan ook verder buiten beschouwing gelaten.

Uit tabel 2 kunnen de volgende conclusies worden getrokken voor boorgaten in homogene gesteenten:

1) Voor de boorgaten I t/m XII bedraagt de gemiddelde waarde voor V, uitgedrukt in % van de waarde van d gem. voor de boorgaten in zandsteen 0,76%, voor de boorgaten in leisteen 0,81%. Gezien dit geringe verschil, kan gezegd worden dat de grootte van V (en daarmede de vorm van de dwarsdoorsnede van het boorgat) practisch onafhankelijk is van de aard van het gesteente.
2) Voor de boorgaten I t/m VIII bedraagt de gemiddelde waarde voor V, uitgedrukt in % van de waarde van d gem. 0,51%, voor de

boorgaten IX t/m XII is deze gemiddelde waarde ongeveer $2^1/_2$ keer zoo groot en bedraagt 1,29 %. De grootte van V is dus wel afhankelijk van de ronding der snede, en wel zoodanig, dat de snede met de grootste rondings-straal R ook de grootste onregelmatigheid in de vorm der dwarsdoorsnede vertoont. Dit kon, naar aanleiding van de reeds genoemde publicatie van Müller en Wohlbier[40]) ook worden verwacht.

3) De gemiddelde diameter van het boorgat (= d gem.) is in het algemeen grooter dan de diameter der snede waarmede het gat werd geboord. In tabel 2 is slechts in één geval (bij boorgat VIII), de gemiddelde diameter van het boorgat gelijk aan het kaliber der snede, de mogelijkheid is echter aanwezig dat er inderdaad een verschil tusschen deze beide diameters bestond, doch dat deze buiten het meet-bereik lag. In geen enkel geval werd geconstateerd dat de gemiddelde diameter van het boorgat geringer was dan het kaliber van de snede.

4) Indien men met behulp van de tabel het verschil nagaat, tusschen de gemiddelde diameter van het boorgat en die van de snede (dus de zgn. „speling" tusschen de wand van het boorgat en de uiteinden der snede), dan verkrijgt men voor de boorgaten I t/m VIII, de gegevens als in tabel 3 vermeld. Met uitzondering van de gemiddelde waarde voor de speling der boorgaten VII en VIII, neemt met de waarde voor het kaliber der snede, de waarde der speling af. Gezien het feit, dat voor de gemiddelde diameter van boorgat VIII een sterk afwijkende waarde werd verkregen, is het mogelijk dat de gemiddelde speling voor de boorgaten VII + VIII van 0,2 mm. geen juist beeld geeft. Het is dan ook niet onmogelijk, dat de grootte der speling afhankelijk is van de diameter der snede, daar echter niet meer gegevens ter beschikking stonden, is dit hier niet zonder meer na te gaan.

Nr. boorgat	Ø snede mm.	gemidd. speling mm.
I t/m IV	33,5	0,5
VII + VIII	37,8	0,2
VII	37,8	0,4
V + VI	38,-	0,25

Tabel 3.

5) Voor de boorgaten I t/m VIII bedraagt de gemiddelde waarde van het verschil tusschen de diameter der snede en d. gem. 0.35 mm., voor de boorgaten IX t/m XII 0,63 mm. De grootte van het

verschil tusschen de diameter der snede en de gemiddelde waarde van de diameter van het boorgat (dus de grootte van de speling), is dus afhankelijk van de grootte van de waarde voor R, en wel zoodanig, dat de snede met de grootste straal R ook de grootste speling vertoont.

6) Uit de conclusie ad 2) en ad 5) volgt, dat aan de ronding der snede inderdaad een zekere centreerende werking moet worden toegekend.

ad b) Müller en Wohlbier [40]) vonden dat onronde boorgaten, verkregen met behulp van sneden, uit koolstof-staal vervaardigd, dwarsdoorsneden vertoonden, waarvan de oppervlakte steeds kleiner was, dan overeen kwam met het oppervlak van een cirkel met een diameter gelijk aan die van de snede. Uitgaande van verschillende typen sneden van gelijk kaliber, en borende onder dezelfde omstandigheden en met gelijke apparatuur, bedroeg het oppervlak van de dwarsdoorsnede van het boorgat:

bij de Z-snede: 76 %	van het oppervlak der dwarsdoorsnede van een boorgat, geboord met een dubbele beitelsnede,
bij de kruissnede: 82 %	
bij de zesd. kroonsnede: 88 %	

De schrijver heeft nu de gegevens van tabel 2 zoodanig verwerkt in tabel 4, dat uit deze laatste de afwijking van de oppervlakte der dwarsdoorsnede van het boorgat, t.o.v. het oppervlak van een cirkel met een diameter gelijk aan die der snede, duidelijk blijkt.

Blijkens tabel 4. kan het volgende worden opgemerkt:

1e. De gemiddelde waarde van 0_2, uitgedrukt in % van 0_1, bedraagt voor boorgaten in zandsteen 102,7%, voor de boorgaten in leisteen 102,1%. Indien echter boorgat VIII, waarbij voor de waarde van 0_2 een afwijkende waarde werd verkregen, buiten beschouwing wordt gelaten, is de gemiddelde waarde van 0_2 uitgedrukt in % van de waarde van 0_1 voor de boorgaten in leisteen 102,6%, dus nagenoeg gelijk aan het gevonden gemiddelde voor de boorgaten in zandsteen.
Hieruit mag geconcludeerd worden, dat de gesteentesoort practisch geen invloed heeft op de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van het boorgat.

Nr boorgat	d = diam. snede in mm.	$0_1 = \frac{\pi}{4} d^2$ in mm²	d. gem. in mm.	$0_2 = \frac{\pi}{4} d^2$ gem. in mm²	0_2 in % van 0_1	R in cm.	Soort gesteente
I	33,5	881	34,—	907	103,—	60	Zandsteen Bank A
II	„	881	34,—	907	103,—	„	Zandsteen Bank B
III	„	881	33,9	902	102,4	„	Leisteen Bank C
IV	„	881	34,—	907	103,—	„	Leisteen Bank D
V	38,—	1134	38,3	1152	101,6	„	Zandsteen Bank A
VI	„	1134	38,2	1146	101,1	„	Zandsteen Bank B
VII	37,8	1122	38,2	1146	102,1	„	Leisteen Bank C
VIII	„	1122	37,8	1122	100,0	„	Leisteen Bank D
IX	38,—	1134	38,8	1182	104,2	120	Zandsteen Bank A
X	„	1134	38,7	1176	103,7	„	Zandsteen Bank B
XI	„	1134	38,6	1170	103,2	„	Zandsteen Bank C
XII	„	1134	38,4	1158	102,1	„	Zandsteen Bank D

Tabel 4.

2e. De gemiddelde waarden voor 0_2, uitgedrukt in % van de waarde voor 0_1, voor de boorgaten V en VI blijkt geringer te zijn, dan voor de boorgaten I en II. Voor de boorgaten V en VI werden sneden gebruikt met een kaliber van 38.- mm., voor de boorgaten I en II sneden met een diameter van 33.5 mm. Overigens waren echter de omstandigheden, waaronder deze beide groepen van boorgaten werden geboord, geheel gelijk.

Hetzelfde verschijnsel kan worden opgemerkt, indien men de groep der boorgaten VII en VIII vergelijkt met de groep der boorgaten I en II, (ook indien men de waarde voor 0_2 van boorgat VIII, om zijn afwijkende grootte, buiten beschouwing laat).

In tabel 5 zijn gemiddelde waarden voor 0_2, uitgedrukt in % van de waarden voor 0_1, van de genoemde groepen samengevat:

Nr. boorgat	0_2 in % van 0_1	Ø snede mm.	gesteente	R in cm.
I + II	103.—	33.5	Zandsteen I in bank A II in bank B	60
V + VI	101.35	38.—	,, V ,, ,, A VI ,, ,, B	60
III + IV	102.70	33.5	Leisteen III ,, ,, C IV ,, ,, D	60
VII + VIII	101.05	37.8	,, VII ,, ,, C VIII ,, ,, D	60
VII	102,1	37.8	,, VII ,, ,, C	60

tabel 5

Uit bovenstaande tabel blijkt, dat de waarde van 0_2, uitgedrukt in % van 0_1, iets afneemt, naarmate de diameter der snede grooter is.

3e. de gemiddelde waarden van 0_2, uitgedrukt in % van de waarde voor 0_1, is voor de boorgaten V en VI iets geringer dan voor de boorgaten IX en X en bedraagt voor deze beide groepen resp. 101.35 % en 103.95 %. De boorgaten der eerstgenoemde groep waren geboord met sneden waarvan de straal der ronding 60 cM. bedroeg, terwijl de waarde van R, voor de sneden waarmede de gaten IX en X waren geboord, gelijk was aan 120 cm. Overigens waren alle omstandigheden voor beide groepen van boorgaten geheel gelijk. De gemiddelde waarde voor 0_2 is het grootst voor de boorgaten geboord met de sneden waarvan de rondingsstraal het grootst was. Hierdoor komt wederom tot uiting dat aan de rondingsstraal inderdaad een zekere centreerende werking moet worden toegeschreven.

4e. De gevonden waarden voor 0_2 in mm^2 zijn steeds grooter, in een enkel geval (boorgat VIII) gelijk aan die van 0_1.
De waarden van 0_2 uitgedrukt in % van 0_1 varieeren voor de boorgaten I t/m VIII van 100 % tot 103 %, voor de boorgaten IX t/m XII van 102.1 % tot 104.2 %. *De verschillen tusschen 0_2 en 0_1 zijn dus percentsgewijze toch nog gering te noemen.*

Om deze reden is bij de berekening van de minimale begindiameter der snede (in hoofdstuk V) aangenomen, dat de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van het boorgat gelijk is aan dat van een cirkel met een diameter ter grootte van het kaliber der snede. Op deze wijze ligt in de berekening tevens een zekere veiligheidsmarge besloten.

Ook in alle verdere berekeningen werd steeds aangenomen dat de waarde van 0_2 gelijk is aan die van 0_1.

ad c) Afwijkingen van de lengte-as van het boorgat t.o.v. de rechte lijn, zijn veelal te wijten aan een der volgende oorzaken:

I. het bedienend personeel draagt er niet voldoende zorg voor, dat de as van de boorhamer tijdens het boren in het verlengde van de as der boorstang ligt;

II. de snede treft, na een zachtere laag doorboord te hebben, het dak of de vloer van een harde gesteente-laag, van welke laatste laag de hellingslijn een geringe hoek maakt met de as van de boorstang.

Het eerste geval kwam vooral vroeger veel voor. Sinds de intrede van de zgn. ,,boorzuilen'' en ,,boorknechten'' in het mijnbedrijf bleek het echter mogelijk, met veel minder lichamelijke inspanning de boorhamer te hanteeren, waardoor het bedienend personeel beter in staat was te zorgen, dat met de boorhamer in de juiste stand werd geboord.

PROEFNEMINGEN.

I. Het doel van de hieronder beschreven proefnemingen was: gegevens te verkrijgen omtrent de maximale afwijking in de lengterichting van boorgaten, zooals deze normaal worden verkregen (met behulp van een boorknecht en van boorkoppen voorzien van hardmetalen sneden). Om eventueele afwijkingen te voorkomen, die aan de afwisseling van zachtere door hardere gesteente-lagen (onder een flauwe hellingshoek naar het werkfront toe- of van het werkfront afhellend) toegeschreven konden worden, werden de boorgaten in horizontaal verloopende gesteentelagen, ter dikte van 1 m. en meer geboord.

De grootte der afwijkingen werd gemeten, door rechte buizen van verschillende diameter met vermijding van eenige buiging in het boorgat te steken. Bedroeg nu de eind-diameter van de snede nadat het gat geboord was a mm. en de diameter van de wijdste buis die nog zonder eenige buiging tot de bodem van het boorgat gebracht kon worden b mm., dan was de totale afwijking van het boorgat in de lengterichting: a - b mm.

De gevonden afwijkingen zijn in tabel 6 vermeld, en hebben wederom betrekking op boorgaten van 2 m. diepte. Verder zij nog opgemerkt, dat de begindiameter der sneden waarmede de boorgaten werden geboord, varieerden van 37.6 mm. tot 37.8 mm. voor die sneden, waarvan de rondingsstraal gelijk was aan 60 cm., en van 37.6 mm. tot 38.- mm. voor de sneden waarvan de rondingsstraal 120 cm. bedroeg.

a = eind ø der snede in mm.	b = max. ø der buis in mm.	a — b = afwijking in mm.	R in cm.	Gesteente
37.8	34.—	3.8	60	leisteen bank A
37.7	36.—	1.7	,,	,, ,, ,,
37.6	34.—	3.6	,,	,, ,, ,,
37.6	34.—	3.6	,,	,, ,, ,,
37.7	36.—	1.7	,,	zandsteen ,, B
37.7	34.—	3.7	,,	,, ,, ,,
37.6	34.—	3.6	,,	,, ,, ,,
37.6	35.—	2.6	,,	,, ,, ,,
38.—	34.—	4.—	120	leisteen ,, A
38.—	35.—	3.—	,,	,, ,, ,,
37.8	35.—	2.8	,,	,, ,, ,,
37.8	35.—	2.8	,,	,, ,, ,,
37.7	34.—	3.7	,,	,, ,, ,,
37.7	36.—	1.7	,,	,, ,, ,,
37.9	34.—	3.9	,,	zandsteen ,, B
37.8	33.—	4.8	,,	,, ,, ,,
37.7	35.—	2.7	,,	,, ,, ,,
37.7	34.—	3.7	,,	,, ,, ,,
37.6	34.—	3.6	,,	,, ,, ,,
37.6	34.—	3.6	,,	,, ,, ,,

tabel 6

Uit tabel 6 kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

1) de afwijkingen van de lengte-as van het boorgat t.o.v. de rechte lijn varieeren van 1.7 mm. tot 4.8 mm. De gemiddelde afwijking bedraagt 3.2 mm. Reeds een vurenhouten laadstok met een lengte van 2.40 m. en een diameter van 27 mm., laat gemiddeld een maximale doorbuiging in het midden van die laadstok toe van 16.5 cm. alvorens breuk optreedt, hetgeen dus ± 34 keer zoo groot is als de grootste afwijking in de lengte-richting van het boorgat die werd opgemeten. Een laadstok van esschenhout echter, van welk materiaal de laadstokken in den regel zijn vervaardigd, laat nog grootere doorbuigingen toe alvorens breuk optreedt, dan een laadstok van vurenhout bij gelijke afmetingen.

De afwijking van het boorgat in de lengte-richting is dus gering te noemen, en kan dus geen invloed uitoefenen welke zoo groot zou zijn, dat de laadstok tot boven de breukgrens op buiging zou worden belast.

Bij de berekening van de minimale begin-diameter der snede, behoeft dus bij het boren in gesteenten welke voor het werkfront een horizontale of een sterk hellende ligging vertoonen, geen veiligheidsfactor voor een eventueele afwijking van de lengte-as van het boorgat t.o.v. de rechte lijn in rekening gebracht te worden.

2) De gemiddelde afwijking voor de boorgaten in zandsteen bedraagt 3.32 mm., voor de boorgaten in leisteen 3.04 mm., zoodat de afwijking van de lengte-as van het boorgat t.o.v. de rechte lijn practisch onafhankelijk blijkt te zijn van de gesteentesoort.

3) De afwijking voor de boorgaten in zandsteen bedraagt:
voor de 4 boorgaten geboord met een snede waarvan R = 60 cm.: gemiddeld 2.90 mm.
voor de 4 boorgaten geboord met een snede waarvan R = 120 cm.: gemiddeld 3.71 mm.
De afwijking voor de boorgaten in leisteen bedraagt:
voor de 4 boorgaten geboord met een snede waarvan R = 60 cm.: gemiddeld 3.17 mm.
voor de 4 boorgaten geboord met een snede waarvan R = 120 cm.: gemiddeld 3.00 mm.

Uit het bovenstaande volgt, dat de grootte der straal R practisch geen invloed heeft op de grootte der afwijkingen van de lengte-as van het boorgat.

II. Tenslotte werd nagegaan, hoe groot de afwijkingen van de lengte-as van het boorgat t.o.v. de rechte lijn kunnen zijn, indien met boorkoppen, voorzien van hardmetalen sneden, geboord wordt in lagen, welke met een flauwe helling naar het front toe- of van het front afhellen, en waarbij minder harde lagen worden afgewisseld door lagen van grooter hardheid.

Hiertoe werden gaten ter diepte van 2 m. geboord in een 1.05 m. dikke leisteenbank (met een hardheid van 70 shore) waarachter zich een zandsteenbank bevond, ter dikte van 2.48 m. met een hardheid van 92 shore. De lagen helden onder een hoek van 15° naar het front toe. Door het groote verschil in hardheid der beide gesteenten, kon het oogenblik, waarop de hardere zandsteen werd aangeboord, in centimeters nauwkeurig worden bepaald. De controle der genoemde afwijkingen geschiedde wederom met behulp van de buizen van verschillende diameter. De hierbij waargenomen afwijkingen zijn vermeld in tabel 7. welke cijfers allen betrekking hebben op boorgaten ter diepte van 2 m., welke geboord werden met hardmetalen sneden, waarvan de

a = eind Ø der snede in mm.	b = max. ø der buis in mm.	a-b = afwijking in mm.	doorboorde leisteen in cm.	doorboorde zandsteen in cm.
38.1	34.—	4.1	108	92
38,1	32.—	6.1	111	89
38.0	36.—	2.—	112	88
38.0	33.—	5.—	117	83
37.9	34.—	3.9	121	79
37.9	33.—	4.9	128	72
37.8	34.—	3.8	132	68
37,7	35.—	2.7	139	61
37.7	35.—	2.7	143	57
37.7	34.—	3.7	145	55

tabel 7

begindiameter varieerde van 37.7 mm. tot 38.1 mm. en waarvan de rondingsstraal R gelijk was aan 60 cm.

Uit tabel 7 blijkt, dat de waarden van de gevonden afwijkingen varieeren van 2 mm. tot 6.1 mm., de gemiddelde waarde bedraagt 3.89 mm. Ook deze waarde voor de afwijkingen van de lengte-as van het boorgat t.o.v. de rechte lijn zijn gering te noemen, zoodat hiervoor, bij een berekening van de (meest economische) minimale begindiameter der snede, geen veiligheidsfactor in rekening gebracht behoeft te worden.

Resumeerende kan dus gezegd worden, dat de boorgaten die met de toegepaste boorkoppen voorzien van hardmetalen enkelvoudige beitelsneden tot 2 m. diepte werden geboord, voor de verdere berekeningen (met slechts geringe verwaarloozing), beschouwd kunnen worden:

1) cirkelvormige dwarsdoorsneden te hebben,
2) dwarsdoorsneden te hebben, waarvan het oppervlak gelijk is aan dat van een cirkel met een diameter ter grootte van de diameter der snede,
3) de vorm te hebben van een rechte cylinder.

HOOFDSTUK VI

Bepaling van de meest gunstige diameter van hardmetalen sneden.

Op grond van omstandigheden, die de technische uitvoering van de vervaardiging van hardmetalen plaatjes betreffen en tevens op grond van ervaringen, bij het slaand boren met hardmetalen sneden opgedaan, worden deze plaatjes naar genormaliseerde maten gefabriceerd.

Door verandering van afstand tusschen de beide hardmetalen plaatjes, kan men echter in het kaliber van de snede binnen zekere grenzen nog een variatie tot stand brengen.

Tijdens het boren ondergaat het materiaal der snede een bepaalde vermindering aan hoogte en in kaliber, welke het gevolg is van de slijpende werking, door het gesteente en het boormeel op het hardmetaal uitgeoefend.

Is de snede na een boorperiode afgestompt, dan zal deze bij het slijpen eveneens nog een zeker bedrag in hoogte en in diameter afnemen, welke bedragen, bij tijdig herslijpen, nagenoeg gelijk zijn aan de hoogte en diametervermindering van de snede tijdens de boorperiode. Op deze wijze kunnen de hardmetalen sneden gemiddeld ± 12 keer worden geslepen, alvorens het hardmetaal zooveel aan hoogte heeft verloren, dat de boorkop voor verder gebruik ongeschikt geacht moet worden. De hoogte van het hardmetaal bedraagt naar de ervaringen van den schrijver dan nog slechts ± 3 mm.

Daar de kosten van boorkoppen voorzien van hardmetalen sneden vrij hoog zijn, dienen de sneden dus tot het oogenblik, dat het hardmetaal te veel aan hoogte heeft verloren, nog een zoodanige diameter te bezitten, dat het einde der laadstok nog tot op de bodem van het gat gebracht kan worden dat het laatst met de boorkop werd geboord.

Van de andere zijde dient de diameter op de bodem van het laatst geboorde gat ook niet grooter te zijn dan de diameter der laadstok, daar dit zou beteekenen dat de snede, in nieuwe staat, een diameter gehad zou hebben, die grooter was dan het noodzakelijk kaliber, hetgeen overbodige verliezen aan boorsnelheid, aan boorrendement (uitgedrukt in m^3. verbruikte perslucht per m. lengte van het boorgat) en aan arbeidsloon tot gevolg zou hebben.

Om deze redenen kan men, voor de bepaling van de meest gunstige diameter die aan de sneden van de nieuwe boorkoppen gegeven moet worden, de volgende vergelijking opstellen:

$$d = a + b + c + e + f \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

hierin is:

d = diameter die aan de sneden van de nieuwe boorkoppen gegeven moet worden, in mm.

a = diameter van de schietpatroon die in het bedrijf gebruikt wordt, in mm.

b = bedrag (veiligheidsmarge), waarmee de diameter van de in het bedrijf gebruikte laadstok de diameter der schietpatroon overtreft, in mm.

c = veiligheidsmarge, die genomen moet worden in verband met eventueele onregelmatigheden in de vorm en in de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van het boorgat, in mm.

e = veiligheidsmarge, die genomen moet worden met het oog op een eventueele afwijking in de lengte-richting van het boorgat, in mm.

f = de maximale afname der diameter in mm. van de snede (met begindiameter = d), indien de hardmetalen plaatjes zoodanige vermindering in hoogte hebben ondergaan, dat de boorkop voor verder gebruik moet worden afgekeurd. Indien met de boorkoppen steeds in hetzelfde gesteente wordt geboord, is deze maximale afname in diameter bepaald, door de abrasiviteit van dat gesteente. Dit is in steengroeven veelal het geval. In de mijnbouw wordt echter, om organisatorische redenen, bij voorkeur met hetzelfde type boorkop in alle in het bedrijf voorkomende gesteenten geboord. De afname in diameter van de snede wordt dan bepaald door het meest abrasieve gesteente, immers indien met een boorkop in dat gesteente wordt geboord tot deze, in verband met de groote vermindering in hoogte van het hardmetaal, moet worden afgekeurd, zal de afname in diameter maximaal zijn. In bepaalde gevallen echter, n.l. wanneer dit meest abrasieve gesteente in het bedrijf slechts sporadisch voorkomt, kan het toch economischer zijn, om voor dit gesteente een speciaal type boorkop te bezigen, dit geval echter zal hier verder buiten beschouwing blijven.

Uit het vorige hoofdstuk is gebleken, dat bij boorkoppen, waarvan de ronding der hardmetalen snede niet te groot en een gedeelte van het lichaam der boorkop cylindrisch is, zoowel de

afwijkingen van het boorgat in de dwarsdoorsnede, als de afwijkingen in de lengterichting gering zijn, zoodat in vgl. (1) de veiligheidsmarges c en e verwaarloosd kunnen worden, zoodat vergelijking (1) dan overgaat in de volgende:

$$d = a + b + f \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (2)$$

De vermindering in diameter f_1, welke de snede per omwenteling ondergaat, is afhankelijk van de arbeid, door de wrijvingskrachten, welke aan de omtrek der snede werken, per omwenteling verricht.

Nu is:

f_1 = vermindering in diameter t.g.v. het omzetten der snede
+ ,, ,, ,, ,, ,, ,,dansen'' ,, ,,

ofwel: $f_1 = C_1.W.\pi.d + C_1.W_2.S.$

waarin:

S = de totale weg, door de snede per omwenteling afgelegd, in een richting evenwijdig aan de lange as van de boorstang, tijdens het ,dansen''

C_1 = een constante, waarvan de grootte afhankelijk is van de abrasiviteit van het gesteente.

W = de wrijvingskracht, welke aan de omtrek der snede werkt t.g.v. het omzetten der boorkop.

W_2 = de wrijvingskracht, welke aan de omtrek der snede werkt t.g.v. het ,,dansen'' der boorkop.

Voor één enkele omwenteling, bedraagt de grootte van de weg door de snede tijdens het omzetten afgelegd, in een vlak loodrecht op de lange as der boorstang, bij een breedte van de snede van 38 mm.:

$$S_1 = \pi d = 3{,}14 \times 3{,}8 \text{ cm.} = 11{,}93 \text{ cm.}$$

Tijdens deze omwenteling, wordt t.g.v. het ,,dansen'' een weg afgelegd, welke voor een boorhamer van 1600 slagen per minuut, bij het boren in een zacht gesteente met een hardheid van 66 shore, bij een optimale boorsnelheid van 42 cm./min. en 95 omwentelingen per minuut (zie graf. 5), berekend kan worden op ten hoogste:

$$S = 2 \times \frac{1600}{95} \times \frac{42}{1600} = 0{,}88 \text{ cm.}$$

dus de weg S, waarover de wrijvingskracht W_2 bij één enkele omwenteling der snede werkt t.g v. het ,,dansen'' bedraagt in dit geval slechts ± 7,5 % van de weg waarover de wrijvingskracht W tijdens dezelfde omwenteling werkt t.g.v. het omzetten.

Voor hardere gesteenten wordt dit percentage zelfs nog lager. Voor een gesteente met een hardheid van 87 shore, wordt de waarde

van S, bij een optimale boorsnelheid van 24 cm./min., (zie graf. 6) en 95 omwentelingen per minuut, ten hoogste:

$$S = 2 \times \frac{1600}{95} \times \frac{24}{1600} = 0{,}505 \text{ cm.}$$

In dit geval bedraagt S slechts 4,2 % van de waarde van S_1. Bovendien is de waarde van W_2 afhankelijk van de normale druk, door de snede op de wand van het boorgat uitgeoefend. Deze zal echter niet zeer groot zijn, daar uit de proefnemingen, welke in hoofdstuk V zijn beschreven is gebleken, dat de afwijkingen van de boorgaten, in de richting van de lange as van die gaten, gering is.

Om deze redenen zal voor de berekeningen die kalibervermindering der snede, welke te wijten is aan het „dansen" van de snede, hier verder worden verwaarloosd.

In dat geval is dus de kalibervermindering der snede per omwenteling voor te stellen door de vergelijking:

$$f_1 = C_1.W.\pi.d$$

Hieruit blijkt, dat de kaliberslijtage per omwenteling van de snede over 360^0 evenredig is met de diameter der snede.

Indien men dus, in het meest abrasieve gesteente, met een boorkop met een snede van een willekeurige diameter d_q een maximale kalibervermindering q heeft verkregen, geldt de volgende evenredigheid, indien de verdere boorapparatuur en de overige omstandigheden in beide gevallen aan elkaar gelijk zijn:

$$d_q : q = d : f.$$

ofwel:

$$d_q : q = (a + b + f) : f.$$

dus:

$$d_q . f = aq + bq + fq.$$

of:

$$(d_q - q) f = (a + b) q$$

waaruit volgt:

$$f = \frac{q (a + b)}{d_q - q} \ldots\ldots\ldots (3)$$

Vergelijking (2) en (3) vormen nu 2 vergelijkingen van de eerste graad met 2 onbekenden, d en f, welke onbekenden dus kunnen worden opgelost.

Een voorbeeld moge hiervan de toepassing in het bedrijf aantoonen.

Bij het boren in een zeer harde zandsteen van kwartsitisch karakter, hetwelk van de voorkomende gesteenten waarin geboord moest worden door zijn groote abrasiviteit de grootste kaliberslijtages veroorzaakte, werden van een serie van 21 boorkoppen, nadat het hardmetaal in hoogte versleten was, diameter-verminderingen geconstateerd, welke varieerden van 5,6 mm. tot 9,95 mm.

De sneden dezer boorkoppen hadden, in nieuwe staat, allen een begindiameter van 38 mm.

De maximale kaliberslijtage die in het meest abrasieve gesteente van het bedrijf werd verkregen, bedroeg dus: 9,95 mm. (= q).

Verder was:

$d_q = 38$ mm.

a = 25 mm. (diameter van de schietpatroon zooals deze in het bedrijf gebruikelijk was)

b = 27 mm. — 25 mm. = 2 mm. (diameter van de gebruikelijke laadstok 27 mm).

Deze waarden gesubstitueerd in vgl. (3) geven:

$$f = \frac{9{,}95\,(25 + 2)}{38 - 9.95} = 9{,}58 \text{ mm.}$$

Deze waarde voor f gesubstitueerd in vgl. (2), geeft voor de meest gunstige diameter der hardmetalen snede voor het betrokken bedrijf:

d = 25 + 2 + 9,58 mm. = 36,58 mm. (practisch 37 mm.).

De snedediamater van 38 mm. welke door het bedrijf werd toegepast, voldeed dus ten naastebij aan de meest gunstige diameter, zooals deze werd berekend.

HOOFDSTUK VII.

Vergelijking van de zuivere boorsnelheid die verkregen wordt indien in een bepaald gesteente wordt geboord met boorkoppen, voorzien van hardmetalen enkelvoudige beitelsneden, met de zuivere boorsnelheid die in hetzelfde gesteente, met gebruik van overigens dezelfde boorapparatuur en onder dezelfde omstandigheden, wordt verkregen bij toepassing van boorkoppen, voorzien van hardmetalen kruissneden.

Voor de enkelvoudige beitelsnede geldt voor de arbeid verricht bij één slag van het samenstel van boorstang + boorkop op het gesteente de vgl.:

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 - \frac{1}{2} m_1 v_1^{1\,2} = A \frac{\pi r_1^2}{x} h_1 \ldots (1)$$

waarin: m_1 = massa van samenstel van boorstang + boorkop

v_1 = snelheid waarmede het samenstel van boorstang + boorkop de bodem van het gesteente treft.

v_1^1 = snelheid van het samenstel van boorstang + boorkop tijdens de terugslag, direct na de stoot.

A = benoodigde arbeid om 1 cm^3. van het gesteente te kunnen losstooten.

r_1 = straal van de doorsnede van het boorgat = de helft van de snede.

x = aantal slagen der zuiger per omwenteling van de snede.

h_1 = gemiddelde dikte van de gesteentelaag, die bij iedere volledige omwenteling van de snede op de bodem van het boorgat wordt verbrijzeld.

Daar $\frac{v_1^1}{v_1} = \varepsilon$ = coëff. van stootelasticiteit tusschen het hardmetaal en het gesteente, volgt uit vgl. (1):

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 (1 - \varepsilon^2) = \frac{A \pi r_1^2}{x} h_1$$

waaruit volgt:

$$h_1 = \frac{m_1 v_1^2 (1 - \varepsilon^2) x}{2 \pi r_1^2 A} \ldots\ldots\ldots (2)$$

Bij gebruik van analoge notaties, geldt voor een boorkop met kruissnede voor de arbeid, verricht bij één slag van het samenstel van boorstang + boorkop op het gesteente, de volgende vgl.:

$$\frac{1}{2} m_2 v_2^2 - \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 = A \frac{\pi r_2^2}{x} h_2$$

(waarbij voorloopig wordt aangenomen dat de fijnheid van het boormeel, dat met ieder der beide verschillende sneden wordt verkregen dezelfde is, zoodat de waarde van A dan ook dezelfde is.)

waaruit wederom volgt:

$$h_2 = \frac{m_2 v_2^2 (1-\varepsilon^2) x}{2 \pi r_2^2 A} \quad \ldots\ldots\ldots (3)$$

zij nu:

v_k = boorsnelheid van de boorkop met kruissnede in cm./min.

v_E = boorsnelheid van de boorkop met enkelvoudige beitelsnede in cm/min.

Nu geldt, daar de boorsnelheid recht evenredig is met de dikte h van het gesteentelaagje, op de bodem van het boorgat, dat bij iedere volledige omwenteling der boorhamer wordt verbrijzeld, de volgende vergelijking:

$$v_k : v_E = h_2 : h_1 = \frac{m_2 v_2^2 (1-\varepsilon^2) x}{2 \pi r_2^2 A} : \frac{m_1 v_1^2 (1-\varepsilon^2) x}{2 \pi r_1^2 A}$$

ofwel:

$$v_k : v_E = \frac{m_2 v_2^2}{r_2^2} : \frac{m_1 v_1^2}{r_1^2} \quad \ldots\ldots (4)$$

Nu is het verschil in gewicht tusschen het samenstel van boorstang + boorkop met kruissnede eenerzijds, en het samenstel van boorstang + boorkop met enkelvoudige beitelsnede anderzijds, gering t.o.v. het totale gewicht van het samenstel van boorstang + boorkop.

Om deze reden mag dan met eenige verwaarloozing de massa m_2 gelijk worden gesteld aan de massa m_1. In dat geval is ook $v_2 = v_1$.

Op deze wijze gaat vergelijking (4) over in:

$$v_k : v_E = \frac{m_1 v_1^2}{r_2^2} : \frac{m_1 v_1^2}{r_1^2} = \frac{1}{r_2^2} : \frac{1}{r_1^2}$$

dus $\boxed{\frac{v_k}{v_E} = \frac{r_1^2}{r_2^2}}$ ....(5) ofwel $\boxed{\frac{v_k}{v_E} = \frac{d_1^2}{d_2^2}}$ ..... (6)

Uit vgl. (5) volgt, dat bij gelijke lengte der snede, de boorsnelheid van een boorkop met kruissnede bij gelijke waarde van A, theoretisch gelijk moet zijn aan de boorsnelheid van een enkelvoudige beitelsnede, indien onder overigens gelijke omstandigheden wordt geboord.

Nu werden in diverse gesteenten proefnemingen gedaan, waarbij de boorsnelheid, verkregen met boorkoppen voorzien van hardmetalen enkelvoudige beitelsneden, werd vergeleken met de boorsnelheid, verkregen met boorkoppen voorzien van hardmetalen kruissneden, onder geheel gelijke omstandigheden van persluchtdruk, bediening en verdere boorapparatuur, in hetzelfde gesteente en met dezelfde diepte der boorgaten (2 m).

De resultaten hiervan zijn in tabel 8 vermeld.

soort gesteente	waargenomen boorsnelheid v_E in cm/min.	d_1 in mm.	waargenomen boorsnelheid v_k in cm/min.	d_2 in mm.	berekende waarde voor v_k	verschil tusschen de theoretisch berekende v_k en de waargenomen v_k in % van de theor. ber. v_k
zandsteen	15.1	38.2	10.6	40.6	13.4	20.9
zandsteen	17.5	38.2	12.7	40.6	15.5	18.1
zandige lei	27.–	38.2	18.–	40.6	23.9	22.5
zandige lei	25.5	38.2	17.4	40.6	22.6	23.–
leisteen	41.2	38.2	29.–	40.6	36.5	20.5
zandige leisteen	28.0	38.2	20.0	40.5	24.9	19.7
leisteen	31.4	38.0	21.2	40.6	27.5	22.9
leisteen	35.3	38.2	22.9	42.5	28.5	19.6
leisteen	40.9	37.7	33.3	37.6	41.1	19.–
leisteen	38.–	37.6	27.8	37.6	38.–	26.9

tabel 8

Uit bovenstaande tabel blijkt, dat met de kruissnedige boorkoppen boorsnelheden verkregen worden, welke van 18.1 % tot 26.9 % beneden de waarden liggen, die langs theoretische weg met behulp van formule (6) bepaald werden.

Het feit, dat met kruissnedige boorkoppen in de praktijk een ongunstiger boorsnelheid wordt verkregen, kan hier niet worden verklaard door aan te nemen, dat de afvoer van het boormeel bij de constructie der boorkop met enkelvoudige beitelsnede gemakkelijker zou kunnen plaats vinden dan bij de boorkop met kruissnede. Immers zou in dat geval het verschil tusschen de theoretisch berekende waarde voor v_k, en de waargenomen waarde voor v_k grooter zijn, naarmate het gesteente minder hard is en bijgevolg de hoeveelheid boormeel die per tijdseenheid moet worden afgevoerd, grooter is.

Uit tabel 8 blijkt echter dat dit niet het geval is: in een leisteen van geringe hardheid bedraagt het verschil 20.5 % terwijl in de zandsteen die blijkens zijn boorsnelheid van 15.1 cm/min. de grootste hardheid heeft van alle gesteenten die op de tabel zijn vermeld, dit verschil 20.9 % bedraagt. Verder is het verschil minimaal (n.l. 18.1 %) voor een harde zandsteen, en maximaal (nl. 26.9 %) voor een leisteen van geringer hardheid.

De gevonden spreiding van het verschil bedraagt 4,9 % en is dus niet groot te noemen.

Hiermede is dus m.i. bewezen, dat de boormeelafvoer, op de ongunstige boorsnelheden die bij deze waarnemingen met de boorkoppen voorzien van kruissneden zijn verkregen, geen invloed heeft gehad.

Voor de verklaring van deze ongunstige boorsnelheden blijft dan ook geen andere over dan die welke aanneemt, dat de nuttige besteding van de slagenergie bij kruissneden geringer is dan bij enkelvoudige beitelsneden. Dit impliceert dat de waarden van A voor verschillende soorten sneden ook varieert. Deze opvatting wordt gesteund door de resultaten van het onderzoek van Müller en Duch[26]) welke voor de boorsnelheden, verkregen met diverse sneden van hetzelfde boorstaal gemaakt, allen ter lengte van 40 mm., in een kristallijne kalksteen borend met overigens gelijke boorapparatuur en onder dezelfde omstandigheden, de volgende relatieve waarden vonden (indien men de boorsnelheid verkregen met de dubbele beitelsnede gelijk stelt aan 100 %):

dubbele beitelsnede	100%
enkelv. beitelsnede	71%
Z-snede	71%
kroonsnede	66%
X-snede	62%
kruissnede	45%

Nu vonden Müller en Duch tevens uit zeef-analyses, dat de gemiddelde afmetingen van de deeltjes van het boormeel steeg met de relatieve boorsnelheid van die snede-vorm. De dubbele beitelsnede had dus ook het meest grove, de kruissnede het meest fijne boormeel, zooals blijkt uit de tabel aan het eind van dit hoofdstuk.

Uit de proeven van Müller en Duch bleek echter niet op ondubbelzinnige wijze of de boormeelafvoer nog invloed had op de uiteindelijke resultaten, daar zij de boorsnelheden slechts in één bepaald gesteente hebben vergeleken.

Ook Weddige[42]) vond dat het boormeel van kruissneden fijnkorreliger was, dan dat van Z-sneden en dubbele beitelsneden. Hij vond echter, dat de prestaties van kruissneden in cm/min. in leisteen slechts de helft bedroeg van de boorsnelheid die met dubbele beitelsneden werd verkregen. In zandsteen bedroeg de boorsnelheid van de kruissnede nog 13% minder dan de prestaties der dubbele beitelsnede. Bij de proefnemingen van Weddige heeft dus de hardheid van het gesteente dus wel zijn invloed doen gelden op het verschil van de boorsnelheden. Hier moet m.i. aangenomen worden, dat de relatief groote hoeveelheid boormeel die bij het boren in de zachte leisteen werd gevormd, niet snel genoeg afgevoerd kon worden bij het boren met de kruissnede, hetgeen ofwel aan een te geringe spoeling, ofwel aan een te gesloten constructie van de kruissnede (waardoor het boormeel niet gemakkelijk van de snede kan worden weggevoerd), ofwel aan beide feiten samen, geweten moet worden.

De proefnemingen die in tabel 8 zijn vermeld, zijn allen genomen in gesteenten van geringe of gemiddelde hardheid, echter niet in zeer harde gesteenten (met een hardheid grooter dan 103 shore.) In zeer harde gesteenten komt het namelijk voor, dat de enkelvoudige beitelsneden zeer snel afstompen, of het hardmetaal der snede zelfs breekt,

waardoor de boorsnelheid snel afneemt, of zelfs gelijk wordt aan nul. In dergelijke zeer harde gesteenten, kunnen inderdaad met kruissneden grootere boorsnelheden worden bereikt, dan met enkelvoudige beitelsneden. In hoofdstuk IX zal dit nog nader worden behandeld.

KORRELANALYSE IN GEWICHTS $^0/_0$ VOLGENS MÜLLER & DUCH.

	Kruisbeitel	Enkelv. beitelsnede
> 1,5	10	13
1,0 —1,5	11	12
0,5 —1,0	19	20
0,2 —0,5	20	22
0,1 —0,2	14	11
0,05—0,1	9	12
< 0,05	17	10

HOOFDSTUK VIII

De zuivere boorsnelheid welke bij het slaand boren wordt verkregen, als functie van de drukvastheid van het gesteente en als functie van de hardheid van het gesteente.

Zij gegeven een bepaalde boorapparatuur, boordruk en druk van de perslucht. Om nu de grootte der zuivere boorsnelheid te kunnen uitdrukken als functie van den aard van het gesteente, is het noodzakelijk, de verschillende gesteenten te onderscheiden naar de mate waarin ieder van die gesteenten de eigenschap of het complex van eigenschappen bezit, welke voor de zuivere boorsnelheid bepalend is.

Volgens Lares[28]) zou de ervaring geleerd hebben, dat in gesteenten waarvan de drukvastheid grooter is dan 400 kg/cm.^{2} en kleiner dan 2000 kg/cm.^{2}, bij gelijkblijvende omstandigheden wat boorapparatuur, druk van de perslucht, richting van het boorgat en boordruk betreft, het product van boorweerstand en boorsnelheid nagenoeg constant blijft. Onder de „boorweerstand" van een gesteente verstaat Lares: de verhouding van de zuivere boorsnelheid welke in een bepaald gesteente onder bepaalde omstandigheden wordt verkregen, tot de boorsnelheid welke in een bepaald „ijkgesteente" onder overigens gelijke omstandigheden wordt verkregen. De boorweerstand van het ijkgesteente stelt Lares nu gelijk aan 1. Voor de curve, voorstellende de zuivere boorsnelheid als functie van de weerstand, geldt dan de formule:

$$r_w . b = \text{constant},$$

waarin r_w de boorweerstand van het te vergelijken gesteente voorstelt, en b de zuivere boorsnelheid welke in dat gesteente wordt bereikt.

Uit bovenstaande vergelijking voor de zuivere boorsnelheid als functie van de boorweerstand, volgt dan, dat deze functie grafisch zou kunnen worden voorgesteld door een gelijkzijdige hyperbool.

Verder zou de drukvastheid van gesteenten, volgens Lares, recht evenredig zijn met de boorweerstand van deze gesteenten (voor zoover het gesteenten betreft met een drukvastheid welke grooter is dan 400 kg/cm.^{2} en kleiner dan 2000 kg/cm.^{2}). Indien dit juist ware, zou ook het

functioneele verband tusschen de drukvastheid en de zuivere boorsnelheid, grafisch door een gelijkzijdige hyperbool kunnen worden voorgesteld.

PROEFNEMINGEN.

Door de schrijver werden nu in een aantal carboongesteenten de zuivere boorsnelheid als functie van de drukvastheid van het gesteente bepaald, die verkregen werd met boorkoppen voorzien van enkelvoudige hardmetalen beitelsneden, waarbij de afvoer van het boormeel geschiedde met behulp van waterspoeling. De diameter der sneden bedroeg 38 mm, de boordruk 35,5 kg. en de druk der perslucht 5,75 ato.

De bepaling van de max. drukvastheid der betrokken gesteenten geschiedde door de afd. Materiaalonderzoek der Staatsmijnen in Limburg, onder leiding van Ir. J. D. Fokkinga.

Ter bepaling van de max. drukvastheid werden uit de monsters, door middel van een diamantboor, proefcylinders geboord, met een diameter van 36 mm. en een hoogte van 36 mm. De omwentelingsas van deze proefcylinders, werd gekozen in een richting loodrecht op de laagvlakken van het gesteente. Na het losboren werden de kopvlakken der proefcylinders evenwijdig aan elkaar bijgewerkt, alvorens de maximale drukvastheid werd bepaald. De resultaten van deze proefnemingen zijn in onderstaande tabel opgenomen:

Drukvastheid v.h. gesteente in kg/cm².	Zuivere boorsnelheid in cm/min.	gesteentesoort
1166,—	5,—	kwartsitische zandsteen
936,—	15,1	zandsteen
735,3	19,5	zandsteen
500,—	30,6	zachte zandsteen
519,—	34,2	zandige leisteen
411,7	39,—	zandige leisteen
416,7	45,4	leisteen

Met behulp van de waarden uit bovenstaande tabel, is in grafiek 2 het gemiddelde verloop der curve aangegeven, welke de zuivere boorsnelheid als functie van de drukvastheid van het gesteente voorstelt.

Hieruit blijkt, dat de spreiding der punten, ten opzichte van het gemiddeld verloop der curve, gering is, zoodat inderdaad gesproken kan worden van een correlatief verband, tusschen de max. drukvastheid van de carboongesteenten uit het district waar deze proefnemingen zijn genomen, en de zuivere boorsnelheid die in die gesteenten werd bereikt.

Uit de curve van grafiek 2 kan nu worden afgeleid, dat in ieder geval voor de carboongesteenten uit het district waar deze proefnemingen zijn genomen, de drukvastheid niet recht evenredig is met de boorweerstand r_W van het gesteente, in tegenstelling met de opvattingen van Lares. Dit moge blijken uit onderstaande tabel, waarbij de boorweerstand van het gesteente met een max. drukvastheid van 1200 kg/cm.^{2} werd gelijkgesteld aan 1.

Drukvastheid v.h. gesteente in kg/cm^2.	Zuivere boorsnelh. in cm/min. volgens curve in graf. 2	Op grond der formule $r_W = \frac{b_{ijk}}{b} = \frac{5}{b}$ van Lares bedraagt r_W:	Op grond der drukvastheid moest r_W volgens Lares zijn.
1200	5,—	1,—	1,—
1000	10,4	0,48	0,83
800	18,—	0,28	0,67
600	27,4	0,18	0,50
400	42,—	0,12	0,33

Ook blijkt de curve van graf. 2 bij verdere berekening niet de gedaante van een gelijkzijdige hyperbool te bezitten, doch van een kromme van hoogere graad, in tegenstelling met de opvattingen van Lares.

Constructie van de curve, voorstellende de zuivere boorsnelheid als functie van de max. drukvastheid van het gesteente, door eerst de

zuivere boorsnelheid experimenteel te bepalen, welke in een bepaald ijkgesteente van bekende max. drukvastheid en boorweerstand wordt verkregen, en daarna de curve te construeeren met behulp van de formule $r_W \cdot b$ = constant, is dus niet geoorloofd.

Om dus het gemiddeld verloop te kunnen vaststellen van deze curve, zal dus langs experimenteele weg van een voldoend aantal gesteenten de max. drukvastheid en de daarbij behoorende zuivere boorsnelheid bepaald moeten worden, waarna het gemiddelde verloop dezer curve door interpolatie kan worden aangegeven, zooals dit ook in grafiek 2 is toegepast.

Een bezwaar van deze methode is het feit, dat zij zeer tijdroovend is, daar van monsters van die gesteenten proeflichamen van bepaalde afmetingen vervaardigd moeten worden om de max. drukvastheid van die gesteenten te kunnen bepalen.

HET VERBAND TUSSCHEN DE ZUIVERE BOORSNELHEID EENERZIJDS, EN DE HARDHEID VAN HET GESTEENTE (UITGEDRUKT IN SHORE-EENHEDEN) ANDERZIJDS.

De laatste jaren is een andere methode in gebruik gekomen, om de mate vast te stellen waarin een gesteente de eigenschappen bezit, die voor de zuivere boorsnelheid bepalend zijn. De methode berust op de bepaling van de hardheid van het gesteente zooals deze door Shore werd uitgewerkt voor metalen en alliages. De methode berust hierop, dat een vallichaam, dat van een bepaalde hoogte tegen of op een glad oppervlak stoot van het te onderzoeken materiaal, een zekere terugstoot ondervindt. De lengte van de weg, waarover het vallichaam wordt teruggestooten, is evenredig met de elasticiteit van het materiaal, en is per definitie een maat voor de hardheid van het te onderzoeken materiaal. De hardheid van het materiaal wordt uitgedrukt in shore-eenheden.

Grenon [3]) heeft er echter reeds op gewezen, dat ook andere eigenschappen dan de drukvastheid en de elasticiteit van het gesteente bepalend zijn voor de zuivere boorsnelheid, o.a. de mate van abrasiviteit van het gesteente. Verder heeft ook de weerstand van het gesteente tegen afslijting, het aantal splijtvlakken dat per ruimte-eenheid in het gesteente voorkomt, en de richting van deze splijtvlakken

invloed op de zuivere boorsnelheid, zooals reeds in hoofdstuk III werd vermeld.

Nu bestaat echter de mogelijkheid dat de hardheid (uitgedrukt in shore-eenheden) der gesteenten, welke tot een bepaalde groep behooren en in een bepaald district voorkomen, in een functioneel of in een correlatief verband staat met de zuivere boorsnelheid welke in die verschillende gesteenten wordt bereikt.

Leibold [43]) publiceerde in 1943 een grafiek, waarin hij de zuivere boorsnelheid, verkregen met boorkoppen voorzien van hardmetalen sneden, als functie van de shore-hardheid van het gesteente door een curve aangaf. De curve werd door hem geconstrueerd door verbinding van een aantal in deze grafiek aangegeven punten, welke naar de schrijver vermoedt, gemiddelden van experimenteel gevonden waarden voorstellen. Deze punten liggen nl. allen zeer precies in de vloeiende curve. Op deze wijze zou dus dan geen beeld gegeven worden van de *spreiding* der experimenteel gevonden punten t.o.v. het gemiddeld verloop der curve.

PROEFNEMINGEN.

Door de schrijver werd van een aantal der meest voorkomende carboongesteenten van een bepaalde mijn de hardheid in shore-eenheden bepaald, en tevens de zuivere boorsnelheid die in deze gesteenten werd verkregen. De resultaten van deze proefnemingen zijn in onderstaande tabel vermeld.

gesteentesoort	shore-hardheid	zuivere boorsnelheid in cm./min.
leisteen	58	44,—
,,	60	44,2
,,	61	50,—
,,	73	39,—
,,	76	34,3
zandsteen	79	27,4
,,	92	24,6
,,	97	15,1
kwartsitische zandsteen	104	9,2
,,	115	5,—

Met behulp van bovenstaande tabel werd het gemiddeld verloop der curve van graf. 3 aangegeven, welke het verband aangeeft tusschen de shore-hardheid van het gesteente en de boorsnelheid welke in dat gesteente wordt bereikt. Tevens zijn in grafiek 3 de nadere gegevens omtrent boorapparatuur, boordruk en druk van de perslucht vermeld.

Uit graf. 3 blijkt, dat de experimenteel gevonden punten t.o.v. het gemiddeld verloop der curve een spreiding vertoonen, welke betrekkelijk gering te noemen is, zoodat er sprake is van een *correlatief* verband tusschen de zuivere boorsnelheid welke in een gesteente wordt bereikt, en de hardheid van dat gesteente (uitgedrukt in shore-eenheden.)

Daar de bepaling der shore-hardheid van gesteenten aanmerkelijk sneller, en met veel minder kosten, kan geschiéden dan de bepaling van de max. drukvastheid van gesteenten, verdient deze methode ter bepaling van het verloop van de boorsnelheid als functie van de hardheid van het gesteente, de voorkeur.

Er zij hier echter op gewezen, dat de onderzochte gesteenten allen bestaan uit zandsteenen, zandige-leigesteenten en leigesteenten, welke allen uiteraard betrekkelijk homogeen zijn, terwijl het aantal splijtvlakken in deze gesteenten normaal te noemen was. Ook was de abrasiviteit van deze gesteenten betrekkelijk gering, met uitzondering van de kwartsitische zandsteen, met een hardheid van 115 shore. Ware dit niet het geval geweest, dan zou naar de meening van den schrijver de mogelijkheid bestaan, dat de resultaten hierdoor anders waren béïnvloed. Hieromtrent zijn echter geen verdere proefnemingen door de schrijver verricht.

HOOFDSTUK IX.

Defecten die in het hardmetaal ontstaan bij het boren in een zeer hard gesteente.

Bij proefnemingen in een zeer hard kwartsitisch gesteente (zeer fijnkorrelige zandsteen, hardheid ± 103 shore), waarbij geboord werd met boorkoppen voorzien van een enkelvoudige beitelsnede en met een snedehoek van 110°, kwam het veelvuldig voor dat van het hardmetaal der snede stukken afbraken, of dat het hardmetaal afsplinterde. Dit verschijnsel is reeds meermalen in de literatuur vermeld, en om deze defecten aan het hardmetaal bij het boren in zeer harde gesteenten te voorkomen, werden kruissnedige boorkoppen, of boorkoppen met sneden bestaande uit 3, 4 of nog meer vleugels, aanbevolen.

Het gebruik van boorkoppen met een grooter aantal sneden, brengt echter het bezwaar met zich mede, dat hiermede in de practijk lagere boorsnelheden worden verkregen.

Uit het oogpunt der boorsnelheid ware het dus gewenscht, indien men ook in de gesteenten van zeer groote hardheid nog met boorkoppen met enkelvoudige beitelsneden zou kunnen boren, echter met vermijding van de genoemde defecten. Hiertoe is het noodzakelijk, zich rekenschap te geven van de oorzaken, die tot deze defecten leiden.

Daar bij deze proefnemingen waterspoeling werd toegepast, en naar de waarnemingen leerden noch het materiaal der boorkop, noch het hardmetaal der snede eenige belangrijke temperatuursverhooging tijdens het boren ondergingen, kunnen deze defecten dus niet worden toegeschreven aan het optreden van inwendige thermische spanningen. Daar het gesteente geen scheuren vertoonde, bestond hier ook niet de mogelijkheid, dat de snede van de boorkop zou blijven haken in een spleet in het gesteente.

Omtrent de oorzaken van dergelijke defecten bestaan twee opvattingen:

1) Volgens de eerste opvatting, worden de defecten veroorzaakt, doordat in de snede schuifspanningen optreden tijdens het omzetten door de boorhamer. Deze schuifspanningen zouden zoo groot zijn, dat de toelaatbare schuifvastheid van het hardmetaal

hierdoor overschreden zou worden. Tot de aanhangers van deze opvatting behooren Bertl en Kirnbauer,[44]) welke van meening zijn, dat het verschijnsel van het afbreken van stukjes van het hardmetaal, moet worden toegeschreven aan foutief omzetten door de boorhamer, waardoor bij iedere slag van de zuiger niet die gesteentesector geheel verbrijzeld wordt, welke aan die slag werd toegedacht. Hierdoor blijven op de bodem van het boorgat stukjes van het gesteente staan. Bij het omzetten van de boorhamer stoot nu de snede tegen deze onverbrijzelde stukjes op de bodem van het boorgat. Hierdoor zouden dan dergelijke schuifspanningen in het hardmetaal optreden, dat de toelaatbare schuifspanning zou worden overschreden.

Is deze opvatting juist, dan kunnen deze defecten constructief-technisch worden voorkomen door:

a) vermindering van het omzet-moment der boorhamer.

b) vergrooting van de omzethoek, waardoor de snede een geringer aantal keeren per meter boorgat wordt omgezet, en bovendien de maximale schuifspanning in het hardmetaal geringer wordt, zooals uit de formules die op blz. 75 e.v. worden afgeleid zal blijken.

c) het gebruik van hardmetaal met een grootere schuifvastheid.

d) vergrooting van de lengte der snede, waardoor bij behoud van hetzelfde omzet-moment der boorhamer, de grootte der uitwendige belasting per oppervlakte-eenheid der snede geringer wordt, en daarmede ook de grootte der schuifspanningen die in de snede optreden.
Vergrooting der lengte van de snede brengt echter een vermindering der boorsnelheid met zich mede, en een overbodige vergrooting van de diameter van het boorgat, met de daaraan verbonden verspilling van energie en kapitaal, zoodat deze oplossing ongewenscht is.

e) vergrooting der snedehoek. Dit heeft echter het nadeel, dat dan met de boorkop, in gesteenten van geringer hardheid, een lagere boorsnelheid wordt verkregen, zoodat dan in deze laatste gesteenten weer met een boorkop met een kleinere snedehoek geboord moet worden. Dit brengt in het bedrijf weer een grootere complicatie met zich mede.

In hoeverre de opvatting van Bertl c.s. juist is, zal nader aan een kritische beschouwing onderworpen worden.

2) Volgens de tweede, ook door de schrijver gehuldigde opvatting, worden de defecten aan het hardmetaal veroorzaakt, doordat de drukvastheid van het hardmetaal der snede tijdens de slag van de zuiger wordt overschreden, bij het boren in zeer harde gesteenten. Is deze opvatting juist, dan kunnen de besproken defecten constructief-technisch voorkomen worden door toepassing van:

a) een lichter type boorhamer (met een geringer gewicht van de zuiger.)

b) een hardmetaal van grooter drukvastheid.

c) een grooter oppervlak der snede. Dit kan worden bereikt door:

I) een grooter aantal sneden per boorkop toe te passen. Dus door gebruik van kruissneden of boorkoppen met sneden voorzien van 3 of meer vleugels. Bij gebruik van deze boorkoppen wordt echter de boorsnelheid geringer.

II) vergrooting van de lengte der snede. Het bezwaar hiervan is reeds medegedeeld bij de bespreking der theorie van Bertl. c.s.

d) vergrooting van de hoek der snede. Ook het bezwaar hiervan is reeds bij de bespreking van de theorie van Bertl medegedeeld.

Ook deze opvatting over de oorzaak van het ontstaan der defecten van het hardmetaal, zal nader aan een kritische beschouwing worden onderworpen.

Dat de besproken defecten aan boorsneden van hardmetaal vóórkomen is reeds eerder door Hensoldt[45]) medegedeeld, die deze defecten weet aan een overbelasting der snede; over de aard van deze overbelasting, noch over de orde van grootte hiervan, wijdt hij hier verder eenige beschouwing.

Ook Jeschke[21]) heeft er op gewezen, dat bij het boren met boorkoppen, voorzien van hardmetalen sneden, het aantal defec-

ten, door breuk van de hardmetalen sneden, zeer groot kan zijn, indien het gesteente waarin geboord wordt zeer hard is. E. Müller[23]) en Herbst[20]) namen eveneens dit verschijnsel bij boorkoppen, voorzien van enkelvoudige beitelsneden waar, het bleek hun echter tevens, dat boorkoppen voorzien van kruissneden een aanzienlijk langere levensduur hadden in zeer harde gesteenten.

KRITISCHE BESCHOUWING VAN DE OPVATTING VAN BERTL C.S.

Daar bij de proefnemingen in het gesteente met een hardheid van ± 103 shore, met boorkoppen voorzien van hardmetalen enkelvoudige beitelsneden, een zuivere boorsnelheid van 10 cm/min. werd verkregen, bij een toerental van de boorstang van 90 omwentelingen per minuut, werd dus per volledige omwenteling van de snede, op de bodem van het boorgat, een laagje gesteente ter dikte van gemiddeld 0,11 cm. losgestooten.

Indien nu, door falen van de omzetinrichting, van het gesteentelaagje I een restje A onverbrijzeld bleef (zie fig. 9), dan zal de snede

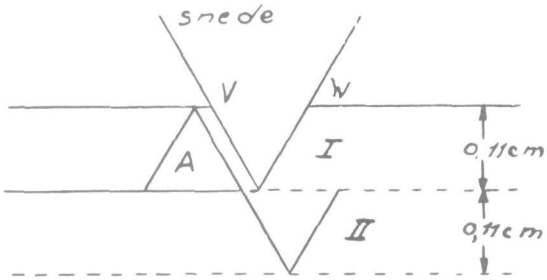


fig. 9

bij de verbrijzeling van het laagje II tegen de rand van de onverbrijzelde rest A kunnen stooten. Daar de snede, na de slag, normaal reeds minstens 0,11 cm. moet kunnen terugwijken om uit de slagkerf te kunnen geraken, volgt hieruit, dat slechts dit gedeelte van de snede tegen de rand van A kan stooten, dat zich bevindt van de rand der

snede tot een vlak VW, op een afstand van 0,11 cm. van de punt der snede verwijderd.

Indien de snede tijdens het omzetten tegen de rand A aanstoot, zullen in het vlak VW schuifspanningen optreden.

Op de snede werken in dat geval uitwendige krachten (zie fig. 10).

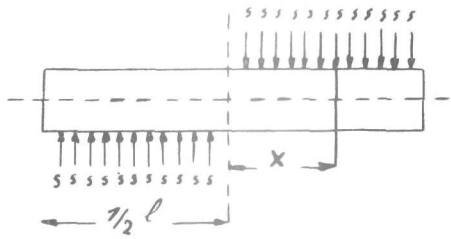


Fig. 10.

Zij nu:

s = uitwendige kracht op de snede, in kg. per cm. lengte van de snede. Dan is het moment van deze uitwendige krachten t. o. v. het middelpunt der snede:

$$M_1 = 2 \int_0^{\frac{1}{2}l} s\, dx.\ x = \tfrac{1}{4}\, s l^2$$

waarin l = lengte der snede in cm.

Thans dient de maximale grootte van het omzetmoment berekend te worden, welke een boorhamer, van het bij de proefnemingen gebruikte type, kan leveren, indien met deze boorhamer een horizontaal gat geboord wordt. Uit proefnemingen, welke in hoofdstuk X zullen worden beschreven, is den schrijver gebleken, dat de zuiger, na de stoot op het insteekeinde van de boorstang, geen terugstoot krijgt, doch met deze boorstang mede „doorschiet"; in de zuiger is dus bij het begin van de teruggaande slag geen energie opgehoopt. Verder verricht de perslucht bij den teruggaande slag een arbeid, welke gelijk is aan:

$$0 \int_{-h}^{o} p\, dh$$

waarin:

p = de overdruk van de perslucht in kg/cm² in het gedeelte van de

cylinder, dat zich t. o. v. de zuiger bevindt aan de zijde van het insteekeinde.

h = de slaglengte der zuiger uitgedrukt in meters.

0 = het oppervlak van de doorsnede der zuiger, verminderd met het oppervlak van de doorsnede der zuigersteel, uitgedrukt in cm^2.

Uit een druk-indicateur-diagram, kan de waarde van p voor iedere stand van de zuiger worden afgelezen. Tevens kan uit een dergelijk diagram de gemiddelde geïndiceerde druk voor een cyclus van een heen- en een teruggaande beweging der zuiger worden bepaald. Uit onderzoekingen van Perthen [46]), welke eveneens in hoofdstuk X nader worden besproken, blijkt dat voor een cyclus van een heen- en een teruggaande beweging der zuiger, de gemiddeld geïndiceerde druk van de perslucht in dat gedeelte van de cylinder, dat zich t.o.v. die zuiger aan de zijde van het bovendeksel bevindt, bij benadering gelijk is aan de gemiddeld geïndiceerde druk van de perslucht (tijdens een cyclus van een heen- en een teruggaande beweging van de zuiger) in dat gedeelte van de cylinder, dat zich t.o.v. de zuiger aan de zijde van het insteekeinde bevindt.

Deze gemiddeld geïndiceerde druk bedraagt, naar uit de metingen van Perthen kan worden afgeleid, ± 24% van de netdruk der perslucht ter plaatse. Zij deze gemiddeld geïndiceerde druk gelijk aan $p_{gem.}$ dan is:

$$0. \int_{-h}^{o} p \, dh = 0. \, p_{gem.} \, h.$$

Nu kan de besteding (tijdens een cyclus van een heen- en een teruggaande beweging van de zuiger), van de energie der perslucht, in dat gedeelte van de cylinder dat zich t.o.v. de zuiger aan de zijde van het insteekeinde bevindt, worden voorgesteld door de vergelijking:

$$0. \, p_{gem.} \, h = A_1 + A_2 + A_3 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Waarin: A_1 = de arbeid benoodigd om de snede bij de teruggaande slag om te zetten = $M\omega$ kgm., indien M = het omzetmoment en ω = de hoek waarover de snede per slag wordt omgezet in radialen.

A_2 = de arbeid verricht door de kracht, die noodig is om de zuiger tijdens de teruggaande slag te versnellen =

$m \int_{-h}^{o} a_2 \, dh$ kgm. als m de massa der zuiger voorstelt en a_2

de versnelling der zuiger tijdens de teruggaande slag in m/sec^2.

A_3 = de arbeid benoodigd om de wrijvingskrachten van het omzetmechanisme der boorhamer te overwinnen = f.N. ω.r. kgm. = f. 0.$p_{gem.}$ ω.r. kgm. waarin r = afstand van hart cylinder van de boorhamer, tot het midden van de groef van de leidnok der zuigersteel, in meters.

Indien men deze waarden voor A_1, A_2 en A_3 substitueert in vgl (1) krijgt men:

$$0.\,p_{gem.}\,h = M.\omega + m\int_{-h}^{o} a_2\,.\,dh + f.0.p_{gem.}\,\omega.r. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Zij nu de arbeid A_2, verricht door de kracht die noodig is om de zuiger tijdens de teruggaande beweging te versnellen, gelijk aan c keer de totale besteede energie 0. p. $_{gem.}$ h.

Dan is:

$$A_2 = c.\ 0.\ p_{gem.}\ h.$$

ofwel:

$$m\int_{-h}^{o} a_2\,dh = c.\ 0.\ p._{gem.}\ h.$$

Deze waarde voor $m\int_{-h}^{o} a_2\,dh$ gesubstitueerd in vgl. (2) geeft

$$0.\ p._{gem.}\ h = M.\ \omega + c.\ 0.\ p._{gem.}\ h. + f.\ 0.\ p_{gem.}\ \omega.\ r.$$

ofwel:

$$0.\ p._{gem.}\ h.\ (1 - c) - f.\ 0.\ p._{gem.}\ \omega.\ r. = M.\ \omega$$

Nu is:

$0 = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$ waarin: D = de diameter van de zuiger in cm.
d = de diameter van de zuigersteel in cm.

Deze waarde voor 0 in bovenstaande vergelijking gesubstitueerd:

$$\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)\,p_{gem.}\ h.\ (1 - c) - f.\ \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)\,p_{gem.}\ \omega.\ r. = M\,\omega \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

Nu is de (verticale) weg die de zuiger per minuut aflegt, evenredig met de weg langs de omtrek welke een punt, aan de omtrek van de boorbus gelegen, per minuut doorloopt, dus:

$$1800.\ h.\ b. = 2.\ \pi.\ r_1.\ n. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

waarin b een constante voorstelt en r_1 de straal der boorbus in cm. en waarbij aangenomen is dat het aantal slagen per min. bij de verschillende waarden voor n constant is, hetgeen naar de laboratoriumonderzoekingen van Hoffmann[47]) hebben aangetoond, wel niet geheel het geval is, echter bij benadering toch wel kan worden aangenomen. (Volgens Hoffmann bedraagt, voor een gelijksoortig type boorhamer als de hier berekende, het aantal slagen per minuut ± 1600 bij 210 omwentelingen per minuut. Naarmate het aantal omwentelingen per minuut nu verder daalt van 210 tot ± 75, stijgt het aantal slagen per minuut tot ± 1800. Bij een aantal omwentelingen geringer dan ± 75 per min. blijft het aantal slagen per min. verder ongeveer gelijk, dus ± 1800 slagen/minuut). Nu is de hoek waarover de snede na iedere slag wordt omgezet (= ω) gelijk aan:

$$\omega = \frac{2\,\pi n}{1800} = \frac{2\,\pi \frac{1800\ b.h.}{2\,\pi\, r_1}}{1800} = \frac{h.b.}{r_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

Nu is voor een boorhamer van het beschouwde type bekend, dat de slaglengte h = 55 mm. bij een aantal omwentelingen van ± 118 per minuut.
Deze waarden gesubstitueerd in vgl. (4) geeft voor b de waarde;

$$1800 \times 0{,}055\ b = 2\,\pi \times 118 \times r_1$$

$$\text{dus } b = \frac{2\,\pi \times 118 \times r_1}{1800 \times 0{,}055}$$

deze waarde voor b gesubstitueerd in vgl. (5) geeft:

$$\omega = h\ \frac{2\,\pi \times 118 \times r_1}{1800 \times 0{,}055 \times r_1} = 7{,}49\ h.$$

Deze waarde voor ω gesubstitueerd in vergelijking (3) geeft:

$$\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)\ p_{gem.}\ h.\ (1 - c) - f.r\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)\ p_{gem.}\ 7{,}49\ h =$$
$$= M.\ 7{,}49\ h \ldots\ldots\ldots$$

ofwel:

$$\frac{\pi}{4 \times 7{,}49}(D^2 - d^2)\ p_{gem.}\ (1 - c - 7{,}49\ f.r) = M.$$

Nu zou het omzetmoment maximaal zijn, indien alle lucht die tijdens

de teruggaande slag onder de zuiger wordt toegevoerd, geheel besteed werd tot levering van de energie benoodigd voor het omzetten en voor de overwinning der wrijvingsarbeid, en dus niet tot levering van arbeid tot versnelling van den zuiger. Dus M nadert zijn maximale waarde voor het geval dat c nadert tot o. Voor dat geval zou M dus worden:

$$M_{max.} = \frac{\pi p_{gem.}}{4 \times 7{,}49} (D^2 - d^2) (1 - 7{,}49\, f.r) \ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

In deze vgl. is:
D = 6,2 cm.
d = 3,7 cm.
f = 0,1 (wrijvingscoëfficient voor glad bewerkte stalen vlakken).
r = 0,017 m.

$$p_{gem.} = 1{,}37 \text{ ato.} = \pm 1{,}37 \text{ kg/cm}^2$$

(De netdruk van de perslucht bedroeg ter plaatse 5,7 ato. Indien men dan de gemiddeld geïndiceerde druk, op grond van de resultaten door Perthen bij zijn metingen verkregen, gelijk stelt aan 24% van de netdruk, krijgt men:

$$p_{gem.} = \frac{24}{100} \times 5{,}7 \text{ ato.} = 1{,}37 \text{ ato.})$$

Deze waarden gesubstitueerd in vgl. (6) geeft voor $M_{max.}$:

$$M_{max.} = \frac{3{,}14 \times 1{,}37}{4 \times 7{,}49} (38{,}44 - 13{,}69) (1 - 7{,}49 \times 0{,}1 \times 0{,}017) = 3{,}51 \text{ m kg.}$$

Op blz. 75 was reeds berekend dat het moment (M_l), door de door de uitwendige krachten op de snede uitgeoefend gelijk was aan $\frac{1}{4}\, sl^2$ waarin:

l = de lengte der snede in cm. = 3,8 cm.
s = de grootte der uitwendige krachten uitgedrukt in kg. per cm. lengte van de snede.

Nu is de maximale waarde van het omzetmoment dat de boorhamer kan leveren gelijk aan 3,51 m.kg. = 351 cm. kg. Deze waarde voor het omzetmoment gesubstitueerd in de vgl. voor M_l geeft:

$$351 = \tfrac{1}{4}\, s.\, 3{,}8^2.$$

$$\text{dus } s = \frac{4 \times 351}{3{,}8^2} = \frac{1404}{14{,}44} = \pm 97{,}23 \text{ kg. per cm. lengte der snede.}$$

De totale belasting P van één hardmetalen plaatje (ter lengte van $\frac{1}{2}$ l), t. g. v. de uitwendige krachten s is dan gelijk aan:

$$P = s. \tfrac{1}{2} l = 97{,}23 \times 1{,}9 \text{ kg} = 184{,}74 \text{ kg}.$$

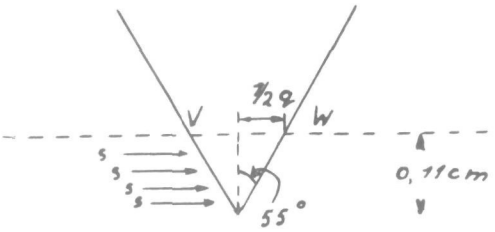


Fig. 11.

Nu geldt, voor de rechthoekige doorsnede van het hardmetaal in het vlak VW (zie fig. 11) voor de maximale schuifspanning (Zie: Hütte[48])

$$\tau_{max.} = \frac{3}{2} \frac{P}{F} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

Hierin is F = opp. der rechthoekige doorsnede van het hardmetalen plaatje met het vlak VW $= q \times \frac{1}{2} l = 2 \times 0{,}11$ tg. $55^0 \times \frac{1}{2} \times 3{,}8 = 2 \times 0{,}11 \times 1{,}428 \times \frac{1}{2} \times 3{,}8$ cm². dus: F = 0,5969 cm².

Voor P in vgl. (7) de waarde P = 184,74 kg. subsitituerend krijgt men:

$$\tau_{max.} = \frac{3}{2} \times \frac{184{,}74}{0{,}5969} = 464{,}25 \text{ kg/cm}^2.$$

Deze waarde voor de maximale schuifspanning, zooals deze zal optreden in de doorsnede van het vlak VW met het hardmetalen plaatje, ligt ver beneden de toelaatbare schuifspanning (± 20.000 kg/cm².) van het gebruikte hardmetaal.

Uit de uitgevoerde berekeningen kan, naar de schrijver meent, de conclusie worden getrokken: dat de grootte der schuifspanningen, zooals deze tijdens het omzetten in het hardmetaal der snede optreden, van een geringer orde van grootte is, dan de toelaatbare schuifspanningen van het hardmetaal, zoodat de defecten aan het hardmetaal niet geweten kunnen worden, aan overschrijding der toelaatbare schuifspanning van het hardmetaal (dus niet door „Abscherung" t.g.v. het omzetten der snede, zooals door Bertl en Kirnbauer wordt voorgesteld).

KRITISCHE BESCHOUWING VAN DE TWEEDE OPVATTING OMTRENT DE OORZAAK VAN HET ONTSTAAN DER DEFECTEN VAN HET HARDMETAAL.
BEREKENING VAN DE MAXIMALE REACTIEKRACHT, DIE TIJDENS DE SLAG OP EEN ENKELVOUDIGE BEITELSNEDE WERKT, EN VAN DE MAXIMALE BELASTING PER OPPERVLAKTE-EENHEID VAN HET HARDMETAAL DER SNEDE.

In hoofdstuk III werd reeds nagegaan, op welke wijze de kinetische energie van de zuiger bij de slag besteed wordt. Bij de beschreven proefnemingen kan hieromtrent echter nog het volgende worden opgemerkt: daar de boorgaten betrekkelijk ondiep, en de gebruikte boorstangen bijgevolg betrekkelijk kort zijn, zal de arbeid die onnuttig besteed wordt t.g.v. het optreden van transversale trillingen in de boorstang, betrekkelijk gering zijn.

De arbeid benoodigd voor de overwinning van de wrijving tusschen de boorstang en de wand van het boorgat, is voor ondiepe boorgaten zeer gering, indien men, zooals bij de proefnemingen het geval is geweest, boorstangen bezigt, waarvan de diameter aanmerkelijk minder is dan het kaliber der snede, en indien de gaten betrekkelijk ondiep zijn, waardoor de grootte van eventueele afwijkingen in de lengte-richting van het boorgat beperkt zijn.

Ook de energie, benoodigd tot overwinning van de wrijving tusschen de snede en de boorstang eenerzijds, en het boormeel anderzijds, is bij een goed geregelde afvoer van het boormeel (zooals dit bij de proefnemingen met behulp van waterspoeling werd bereikt) gering, hetgeen bij de proefnemingen in een gesteente met een hardheid van ± 90 shore kon worden aangetoond door het feit, dat een verhooging van het volume spoelwater, dat per minuut in het boorgat werd geleid van 3 l./min. tot 6 l./min., geen waarneembare invloed op de zuivere boorsnelheid bleek te hebben.

Tevens is bij een dergelijke goed geregelde afvoer van het boormeel de arbeid, die onnuttig besteed wordt door overbodige verdere verbrijzeling van het reeds losgestooten boormeel, gering, hetgeen eveneens bewezen werd door de reeds aangehaalde proefnemingen met verhoogde toevoer van het spoelwater.

Voor de twee laatstgenoemde wijzen waarop een gedeelte der kinetische energie van de zuiger wordt besteed, zal per slag minder

arbeid vereischt worden, naarmate het gesteente harder is, dus de hoeveelheid boormeel die per tijdseenheid wordt gevormd geringer is, zoodat in zeer harde gesteenten en bij een goede afvoer van het boormeel, zich weinig boormeel op de bodem van of elders in het boorgat zal bevinden, waardoor ook de demping van de slag der zuiger gering zal zijn.

De arbeid benoodigd tot dekking der hysteresis-verliezen, bij de onvolkomen elastische deformatie van het materiaal van de zuigersteel en de boorstang, bedraagt, zooals in hoofdstuk III reeds berekend, voor de omstandigheden, waaronder de proefnemingen plaats vonden, 14 % van de levende kracht van de zuiger, daar geboord wordt met een boorstang met een gewicht van 7.— Kg. (lengte 2,20 m.)

Hoewel dit percentage niet onbelangrijk geacht mag worden, zal dit toch thans niet in de berekening worden betrokken.

Al de genoemde wijzen, waarop een gedeelte van de levende kracht van de zuiger tijdens de slag wordt besteed bij het boren van een horizontaal gat, zullen dan ook voor de berekening der maximale reactie-kracht welke tijdens de slag op de snede wordt uitgeoefend, en voor de berekening der maximale belasting per cm^2. van het oppervlak der snede, verder buiten beschouwing blijven, temeer daar het in de eerste plaats slechts te doen is om de orde van grootte van de max. waarden, welke de te berekenen grootheden, bij het boren in diverse gesteenten, bereiken.

Voor de besteding van de kinetische energie (bij de slag) van een zuiger die zich in horizontale richting beweegt, kan men dan de volgende vergelijking opstellen voor de eerste slag:

$$\tfrac{1}{2}\, m v_1^2 = A_1 + A_2 - A_3 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Hierin is:

m = de massa van de zuiger.

v_1 = de snelheid waarmede de steel van de zuiger het slagvlak van het insteekeinde treft, in m/sec.

A_1 = de energie in kgm., benoodigd voor de verbrijzeling en/of het los stooten. Dit geschiedt onder invloed van een impuls, die door de snede op het gesteente wordt uitgeoefend. In fig. 12 is het verloop van deze impuls schetsmatig weergegeven. Indien nu de kracht p op de tijdstippen t_1 en t_2 juist de minimale waarde bereikt, benoodigd om de snede in het gesteente te doen drin-

gen, dan is de arbeid die in totaal voor deze indringing is benoodigd:

$$A_1 = \frac{s}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} P dt \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

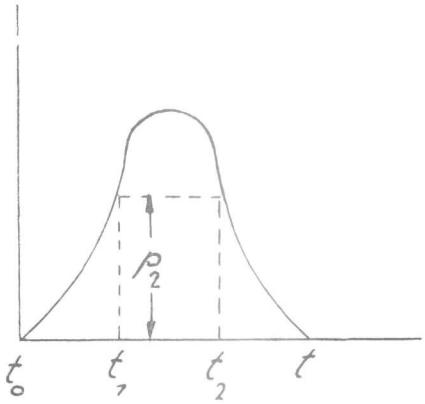


fig. 12

Waarin: s = de diepte waarover de snede na de slag in het gesteente drong, uitgedrukt in m. Indien men nu de gemiddelde waarde der krachten P tusschen t_2 en t_1 gelijk stelt aan P_2, dan is:

$$P_2 = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} P.dt.$$

Alhoewel de waarde voor P_2 kleiner is dan de waarde voor P max. zal hij wel van dezelfde orde van grootte zijn.
Vergelijking (2) gaat dan over in:

$$A_1 = P_2.s. \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

Dus het productieve gedeelte der impuls, wordt hier dus, ter benadering, vervangen door een constante kracht P_2, welke kracht echter geacht wordt periodiek bij iedere slag, gedurende een zeer korte tijdsduur, zijn invloed uit te oefenen. De reactie-kracht welke dan periodiek bij iedere slag, gedurende een zeer korte tijdsduur, door het gesteente op de snede wordt uitgeoefend, zal dan eveneens gelijk zijn aan P_2.

A_2 = de arbeid die besteed wordt tot elastische deformatie van de

boorstang en van het gesteente, uitgedrukt in kg. Deze arbeid is in het hier beschouwde geval gering, zooals de berekeningen, die in bijlage I zijn uitgevoerd, aantoonen.
De term A_2 wordt hier dan ook bij de verdere berekeningen verwaarloosd.

A_3 = de arbeid uitgedrukt in kgm, door de kracht waarmede de boorhamer wordt aangedrukt, verricht gedurende de weg, waarover de snede bij iedere slag in het gesteente dringt. Zij deze kracht (welke constant is) gelijk aan K kg. dan geldt:

$$A_3 = K \times s.$$

Bij gebruik van een boorknecht welke door een man bediend wordt, zooals bij de proefnemingen is geschied, is $K = \pm 35{,}5$ kg. In een zacht gesteente waar de boorsnelheid groot is, zal de waarde van s ook groot zijn, dus eveneens de waarde van A_3. Wordt bv. in een zacht gesteente een boorsnelheid van 60 cm/min. verkregen, dan bedraagt de grootte van s (bij 87 omwentelingen van de boorstang/min.):

$$s = \frac{0{,}60}{87} = 0{,}007 \text{ m.}$$

De grootte van A_3 bedraagt dan:

$$35{,}5 \times 0{,}007 = 0{,}2485 \text{ kgm.}$$

Daar de levende kracht van de zuiger bij de eerste slag gelijk is aan 3,326 kgm., bedraagt de grootte van A_3 dan slechts 7,47 % van de grootte van $\frac{1}{2}\, mv_1^2$.
In harde gesteenten is de boorsnelheid nog geringer en daarmede ook de waarde voor s en A_3.
In een gesteente, waarin slechts een boorsnelheid van 10 cm/min. wordt verkregen, bedraagt de waarde van s slechts 0,0012 m. en de waarde van A_3 bedraagt dan nog maar 1,20 % van de levende kracht van de zuiger bij de eerste slag.
Om deze reden zal de invloed van de arbeid, verricht door de aandrukkracht K, bij de verdere berekeningen buiten beschouwing worden gelaten.

Indien men nu in vgl. (1) voor A_1 de waarde gevonden uit vgl. (3) substitueert, dan is:

$$\frac{1}{2}\, m.\, v_1^2 = P_2 s \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

Voor de heengaande slag kunnen de volgende bewegingsvergelijkingen worden opgesteld:

$$v_1 = a\,t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

$$s = \tfrac{1}{2}\,a\,t^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

Voor het oogenblik dat de steel der zuiger het insteekeinde treft, geldt: $s = h$.

Deze waarde gesubstitueerd in vgl. (6) geeft:

$$h = \tfrac{1}{2}\,a\,t^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

Nu is: $O.p_{gem.} = m\,a.$, ofwel, daar $O = \frac{\pi}{4} D^2$, is:

$$\frac{\pi}{4} D^2 . \; p_{gem.} = m\,a.$$

$$a = \frac{\pi\,D^2 .\; p_{gem.}}{4\,m}$$

Deze waarde voor a gesubstitueerd in vgl. (7) geeft:

$$h = \frac{\pi\,D^2 .\; p_{gem.}\; t^2}{8\,m}$$

$$\text{Ofwel:} \quad t = \sqrt{\frac{8\,m\,h}{\pi\,D^2 .\; p_{gem.}}}$$

Deze waarden voor a en t gesubstitueerd in vgl. (5) geeft:

$$v_1 = \sqrt{\frac{\pi\,D^2 .\; p_{gem.}\; h}{2\,m}}$$

Deze waarde gesubstitueerd in vgl. (4) voor v_1 geeft:

$$\tfrac{1}{2}\,m\,.\,\frac{\pi\;D^2 .\; p_{gem.}\; h}{2\,m} = P_2\,.s.$$

$$\text{Ofwel:} \quad \frac{\pi}{4}\,.\,D^2 .\; p_{gem.}\,.\,h = P_2\,.\,s \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

Waarin: $D = 6{,}2$ cm.

$p_{gem.} = 1{,}37$ kg/cm². (=24 % van $p_{net} = \frac{24}{100} \times 5{,}7 = 1{,}37$ kg/cm².)

$h = 0{,}055$ m.

Deze waarden gesubstitueerd in vgl. (8) geeft:

$$P_2 \cdot s = 2{,}271 \text{ kgm.} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

Wordt nu in een bepaald gesteente een boorsnelheid verkregen van 6 cm/min. met een enkelvoudige beitelsnede, en bedraagt het aantal omwentelingen der boorstang 87 per minuut, dan zal de snede met zijn snijribbe gemiddeld bij iedere slag tot 0,69 mm. diepte in het gesteente dringen, dus de waarde van s is dan:

$$s = 0{,}00069 \text{ m.}$$

Deze waarde gesubstitueerd in vgl. (9) geeft:

$$P_2 \times 0{,}00069 = 2{,}271$$

of:

$$P_2 = 3291{,}3 \text{ kg.}$$

Daar omtrent de juiste wijze, waarop hardmetaal bij overbelasting blijvend deformeert, nog geen gegevens bekend zijn, zal hier van toepassing van een der speciale breukhypothesen worden afgezien, en daarom ter benadering worden aangenomen, dat pas in een willekeurig punt, blijvende deformatie van het hardmetaal optreedt, indien de grootte van de normaalspanning ($=\sigma_n$) op het vlak VW (welk vlak door het beschouwde punt loopt en loodrecht staat op de richting van de kracht P_2), die van de toelaatbare drukvastheid per cm^2. van het hardmetaal overtreft (zie fig. 13).

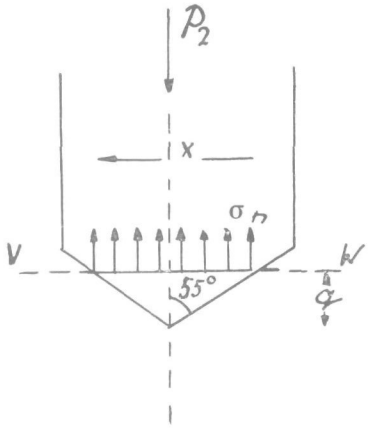


Fig. 13.

Het is nu eenerzijds zeer waarschijnlijk, dat op deze wijze waarden worden verkregen, welke de weerstand van het hardmetaal tegen blijvende deformatie in een te gunstig licht stellen, daar geen rekening is gehouden met het optreden van de schuifspanningen in het hardmetaal; anderzijds is het echter waarschijnlijk, dat de waarden voor de stootvastheid van het hardmetaal de waarden van de drukvastheid overtreffen (naar analogie van de afnemende waarden, die bij de bepaling van de drukvastheid van staalsoorten en vele andere materialen worden verkregen bij afnemende tijdsduur van de statische belasting). Daar het bij deze berekeningen echter in de eerste plaats om de orde van grootte der uitkomsten te doen is, moge dit verder buiten beschouwing blijven.

Zij nu de grootte van het oppervlak der doorsnede van het vlak VW met de hardmetalen snede gelijk aan O, dan is:

$$O = l.x = 1.2\ q\ \text{tg}\ 55^0.$$

Voor een snede-diameter $l = 38$ mm. geldt:

$$O = 38 \times 2\ \text{tg}\ 55^0 \times q = 38 \times 2 \times 1{,}42815\ q = 108{,}5.q\ \text{mm}^2.$$

De minimale waarde voor σ_n waarbij nog blijvende deformatie van het hardmetaal, op de doorsnede van het vlak VW met de hardmetalen snede gelegen, optreedt, bedraagt: 425 kg/mm² (zijnde de drukvastheid van het hardmetaal).

In dat geval is:

$$425 \times 108,\ 5\ q = P_2.$$

Ofwel, daar $P_2 = 3291{,}3$ kg:

$$425 \times 108{,}5\ q = 3291{,}3$$

$$\text{Dus: } q = \frac{3291{,}3}{425 \times 108{,}5} = 0{,}0714 \text{ mm.}$$

Hetgeen wil zeggen dat in een gesteente met een hardheid van ± 108 shore, waarin volgens grafiek 3 een boorsnelheid wordt verkregen van 6 cm/min, reeds na een gering aantal slagen de snede, door breuk van het hardmetaal, 0.0714 mm. aan hoogte zou hebben verloren.

Hierdoor zou de snijribbe der snede afgestompt zijn en een breedte hebben gekregen van:

$$2\ q\ \text{tg}\ 55^0 = 2 \times 0{,}0714 \times 1{,}42815 \text{ mm.} = 0{,}20 \text{ mm.}$$

In tabel 12 zijn de berekende waarden van P_2 en q voor verschillende gesteenten vermeld. Verder zijn in grafiek 3 de waarden van P_2 en q, als functie van de shore-hardheid (dus ook van de boorsnelheid),

Hardheid in shore	Boorsnelheid in cm/min.	P_2 in kg.	q in mm.
	0	∞	∞
	1	19748	0,4283
	2	9874	0,2141
	3	6583	0,1428
111	4	4937	0,1071
108	6	3291	0,0714
107	7	2821	0,0612
103	10	1975	0,0428
90	20	987	0,0214
78	30	658	0,0143
69	40	494	0,0107
61	50	395	0,0086
	60	329	0,0071

Tabel 12.

uitgezet. Uit de curve, voorstellende de grootte van q als functie van de boorsnelheid (en dus ook als functie van de shore-hardheid), blijkt dat voor gesteenten waarvan de hardheid 103 shore of meer bedraagt (overeenkomende met een boorsnelheid van 10 cm/min of minder), de waarde van q sterk toeneemt naarmate de hardheid grooter wordt, m.a.w. dat de hoeveelheid van het hardmetaal, dat van het materiaal der snede zal afbreken in deze harde gesteenten sterk stijgt. Hierdoor is het te verklaren, dat de hardmetalen snede bij het boren in dergelijke harde gesteenten reeds na korte tijd zoodanig is afgestompt, dat de boorsnelheid zeer snel daalt, of zelfs nadert tot 0 cm/min. Dit heeft een groote slijtage van het hardmetaal tengevolge, waardoor, gezien de relatief hooge aanschaffingskosten van boorkoppen voorzien van hardmetalen sneden, de kosten per meter boorgat sterk stijgen.

Daar het hardmetaal der snede bij de vervaardiging der boorkop reeds aan sterke thermische spanningen onderworpen was, waardoor in het hardmetaal vaak kleine haarscheurtjes kunnen ontstaan, is het te verklaren dat, mede tengevolge van de sterk oploopende belastingen waaraan de snede bij het boren in dergelijke harde gesteenten

onderworpen is, vaak stukken uit het hardmetaal breken, die grooter zijn, dan met de berekende waarde voor q overeenkomt.

Bij proefnemingen met boorkoppen voorzien van kruissneden van hardmetaal, werden slijtages in hoogte van de hardmetalen plaatjes opgemeten, die gemiddeld ± 50 % beneden die van boorkoppen voorzien van uit hardmetaal vervaardigde enkelvoudige beitelsneden lagen, bij het boren in een gesteente van ± 103 shore. Van de 38 boorkoppen voorzien van kruissneden, vertoonde, tot afkeuring van de boorkop wegens volledige slijtage van het hardmetaal, geen enkele boorkop eenig defect aan dit snedemateriaal. Van de 40 boorkoppen met enkelvoudige beitelsneden bedroeg het aantal defecten van het hardmetaal 26. Dit kan verklaard worden door het feit, dat de belastingen waaraan het hardmetaal der boorkoppen voorzien van kruissneden was onderworpen, geringer waren t.g.v. het grooter oppervlak van de kruissneden.

Ook E. Müller[23]) heeft reeds in de literatuur een overeenkomstige ervaring beschreven met enkelvoudige beitelsneden en kruissneden (beiden van hardmetaal vervaardigd), bij het boren in een zeer hard conglomeratisch gesteente. Ook Herbst[20]) geeft voor het boren in zeer harde gesteenten de voorkeur aan kruissneden, omdat de ervaring hem leerde dat deze een langere levensduur hadden.

Uit de uitgevoerde berekeningen kan, naar de meening van de schrijver, de conclusie worden getrokken dat de belastingen waaraan het materiaal van de snede t.g.v. de stoot van de zuiger onderworpen is, een zoodanige orde van grootte hebben, bij het boren in gesteenten met een hardheid welke grooter is dan ± 100 shore, dat hiermede de veelvuldig optredende gevallen van breuk van het hardmetaal, welke bij het boren in deze gesteenten optreedt, kan worden verklaard. Voor gesteenten met een hardheid van 100 shore of meer, zou het dus gewenscht zijn, om bij het slaand boren een type hardmetaal te gebruiken dat een hoogere drukvastheid heeft, dan het thans veelal gebruikelijke type.

HOOFDSTUK X.

Het verband tusschen de uitwendige kracht waarmede de boorhamer tijdens het boren tegen de borst van de boorstang wordt gedrukt, (= boordruk), en de boorsnelheid.

Indien een boorhamer zonder boordruk werkt, zal op deze boorhamer, tijdens de heengaande slag, door de perslucht een zekere kracht worden uitgeoefend, welke kracht de boorhamer een versnelling geeft in een richting, welke samenvalt met omwentelingsas van de boorhamer, en in een zin welke van het werkfront is afgekeerd (zie fig. 14). Indien de gemiddelde grootte van deze kracht gelijk zij

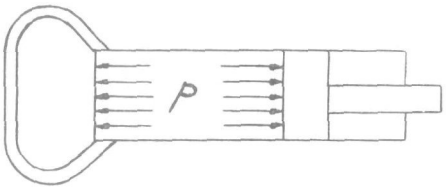


Fig. 14

aan Q_1 kg. dan is:

$$Q_1 = \frac{\pi}{4} D^2 p._{gem.}$$

Waarin:

D = de inwendige diameter van de cylinder van de boorhamer = de diameter van de zuiger der boorhamer, uitgedrukt in cm.

$p._{gem}$ = de gemiddeld geïndiceerde druk van de perslucht in de cylinder, tijdens een cyclus van een heengaande en een teruggaande slag, uitgedrukt in kg/cm². Uit de onderzoekingen van Perthen[46]), welke elders in dit hoofdstuk zullen worden besproken, is gebleken dat de gemiddeld geïndiceerde druk, gedurende een bewegingscyclus van een heen- en een teruggaande slag, voor de perslucht, welke zich in de cylinder bevindt in het compartiment dat door het bovendeksel en de zuiger wordt begrensd, slechts weinig verschilt van de gemiddeld geïndiceerde druk voor eenzelfde bewegingscyclus van de zuiger, van de perslucht welke zich bevindt in het compartiment van de cylinder, dat door de zuiger en het insteekeinde wordt begrensd. Bij de verdere

berekeningen wordt ter benadering aangenomen, dat de gemiddeld geïndiceerde druk der perslucht voor beide gevallen dezelfde is, en gelijk zij aan p_{gem} kg/cm².

De versnelling welke aan de boorhamer door de kracht Q_1 wordt medegedeeld bedraagt:

$$a_1 = \frac{Q_1}{m_1} = \frac{\frac{\pi}{4} D^2 p_{gem.}}{m_1}$$

waarin:

m_1 = de massa van de boorhamer.

Indien nu de zuiger van de boorhamer de heengaande beweging verricht in t_1 seconden, bedraagt de weg s_1 welke de boorhamer in deze tijd heeft afgelegd:

$$s_1 = \tfrac{1}{2} a_1 t_1^2 = \frac{\pi D^2 p_{gem.} t_1^2}{8 m_1}$$

Op het oogenblik t_1 heeft de boorhamer een van het front af gerichte snelheid:

$$v_1 = a_1 t_1 = \frac{\pi D^2 p_{gem.}}{4 m_1} t_1$$

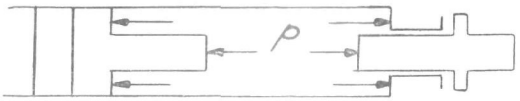


Fig. 15.

Vanaf het oogenblik t_1 vangt de zuiger zijn teruggaande beweging aan. Op de boorhamer werkt nu t.g.v. de druk der perslucht een kracht, welke aan die boorhamer een versnelling mededeelt, waarvan de richting samenvalt met de omwentelingsas, en in een naar het werkfront toegekeerde zin (Zie fig. 15). Indien de gemiddelde grootte van deze kracht gelijk zij aan Q_2 kg. dan is:

$$Q_2 = \left(\frac{\pi}{4} D^2 - b^2\right) p_{gem.}$$

Waarin: b = de lengte der zijde van de vierkante doorsnede van het insteekeinde van de boorstang in cm.

Nu is de grootte der versnelling a_2:

$$a_2 = \frac{Q_2}{m_1} = \frac{\left(\frac{\pi}{4} D^2 - b^2\right) p._{gem.}}{m_1}$$

Vanaf het oogenblik t_1 is de beweging van de boorhamer verder te beschouwen als eenparig vertraagd (met vertraging = a_2) en met een beginsnelheid = v_1.

De bewegingsvergelijking is hiervoor:

$$v = v_1 - a_2 t.$$

Aan het einde van deze beweging, dus op het moment der grootste uitwijking, geldt: v = o. Deze waarde voor v in bovenstaande vgl. gesubstitueerd geeft:

$$o = v_1 - a_2 t.$$

d. w. z. de terugwijkende beweging van de boorhamer, in de van het werkfront afgekeerde zin, duurt na het tijdstip t_1 nog:

$$t_x = \frac{v_1}{a_2} = \frac{\pi D^2 p._{gem.} t_1}{4 m_1} \cdot \frac{m_1}{\left(\frac{\pi}{4} D^2 - b^2\right) p._{gem.}} =$$

$$= \frac{\pi D^2 t_1}{(\pi D^2 - 4 b^2)} \text{ seconden.}$$

De totale duur van de terugwijkende beweging der boorhamer bedraagt dan:

$$T_1 = t_1 + t_x = t_1 + \frac{\pi D^2 t_1}{\pi D^2 - 4 b^2} \text{ seconden.}$$

De totale duur van een heen- en weergaande beweging van de zuiger, (dus van een complete bewegingscyclus van de zuiger) bedraagt:

$$T_2 = t_1 + t_2 \text{ seconden.}$$

In hoofdstuk IX werd berekend voor de duur van de heengaande beweging van de zuiger:

$$t_1 = \sqrt{\frac{8 mh}{\pi D^2 p._{gem.}}}$$

De tijdsduur = t_2 van de teruggaande beweging van de zuiger kan berekend worden met behulp van de vergelijking:

$$h = v_1^1 t_2 + \tfrac{1}{2} a_2 t_2^2$$

waarbij is aangenomen, dat de zuiger onmiddelijk na de slag op het insteekeinde met een snelheid v_1^1 wordt teruggestooten

ofwel:

$$t_2^2 + \frac{2v_1^1}{a_2} t_2 - \frac{2h}{a_2} = o$$

dus:

$$t_2 = -\frac{v^1{}_1}{a_2} + \sqrt{\frac{v^1{}_1{}^2}{a_2{}^2} + \frac{2h}{a_2}} = -\frac{v_1{}^1}{a_2} + \frac{1}{a_2}\sqrt{v^1{}_1{}^2 + 2\,a_2 h} \ldots \text{(vgl. A.)}$$

(Daar t_2 positief moet zijn, kan dus de tweede oplossing van deze vierkantsvergelijking niet voldoen). Nu is indien de zuigersteel bij de heengaande slag het insteekeinde treft met een snelheid van $v^1{}_1$ m./sec.:

$$v_1 = \varepsilon\, v = \varepsilon \sqrt{\frac{\pi\, D^2\, p._{gem.}\, h}{2\, m}},$$

waarin ε = de coëfficient voor de onvolkomen elastische stoot der zuigersteel op het insteekeinde. Daar:

$$a_2 = \frac{Q_2}{m} = \frac{\frac{\pi}{4}(D^2 - b^2)\, p._{gem.}}{m}$$

gaat vergelijking (A) dus over in:

$$t_2 = -\frac{\varepsilon\sqrt{\frac{\pi D^2 p._{gem.} h}{2\,m}}}{\frac{\frac{\pi}{4}(D^2 - b^2)\, p._{gem.}}{m}} + \frac{1}{\frac{\frac{\pi}{4}(D^2 - b^2)\, p._{gem.}}{m}} \times$$

$$\times \sqrt{\frac{\varepsilon^2 \pi D^2\, p._{gem.}\, h}{2\,m} - \frac{\frac{\pi}{2}(D^2 - b^2)\, p._{gem.}\, h}{m}}$$

ofwel:

$$t_2 = -\frac{\varepsilon\sqrt{8\,\pi D^2\, p._{gem.}\, mh}}{\pi(D^2 - b^2)\, p._{gem.}} + \frac{4\,m}{\pi\,(D^2 - b^2)\, p._{gem.}} \times$$

$$\times \sqrt{\frac{\varepsilon^2 \pi D^2 p._{gem.} h}{2 m} - \frac{\pi (D^2 - b^2) p._{gem.} h}{2 m}}$$

ofwel:

$$t_2 = - \frac{\varepsilon \sqrt{8 \pi D^2 p._{gem.} mh}}{\pi (D^2 - b^2) p._{gem.}} + \frac{1}{\pi (D^2 - b^2) p._{gem.}} \times$$

$$\sqrt{8 \varepsilon^2 \pi D^2 p._{gem.} mh + 8 \pi (D^2 - b^2) p._{gem.} mh.}$$

dus:

$$t_2 = - \varepsilon \frac{\sqrt{\frac{8 mh}{\pi D^2 p._{gem.}}} \times \sqrt{D^4}}{(D^2 - b^2)} + \frac{1}{D^2 - b^2} \times$$

$$\times \sqrt{\frac{8 mh}{\pi D^2 p._{gem.}} \left\{ \varepsilon^2 D^4 + (D^2 - b^2) D^2 \right\}}$$

ofwel:

$$t_2 = - \varepsilon \frac{D^2}{D^2 - b^2} t_1 + \frac{D}{D^2 - b^2} t_1 \sqrt{D^2 (\varepsilon^2 + 1) - b^2}.$$

Indien nu ter vereenvoudiging der berekening de notatie z wordt ingevoerd, zoodanig dat:

$$\frac{1}{z} = - \varepsilon \frac{D^2}{D^2 - b^2} + \frac{D}{D^2 - b^2} \sqrt{D^2 (\varepsilon^2 + 1) - b^2}$$

dan is dus:

$$t_2 = \frac{1}{z} t_1$$

dus

$$T_2 = t_1 + t_2 = t_1 + \frac{1}{z} t_1 = (1 + \frac{1}{z}) t_1$$

Nu bedroeg voor de boorhamer welke bij de beschreven proefnemingen werd gebezigd:

$$D = 6{,}2 \text{ cm.}$$
$$b = 1{,}8 \text{ cm.}$$

Deze waarden gesubstitueerd in de vergelijking voor T_1 geeft:

$$T_1 = t_1 + \frac{\pi . 38{,}44}{\pi . 38{,}44 - 4 \times 3{,}24} = 2{,}12 \, t_1$$

Bij het boren in een leisteen met een hardheid van 66 shore, evenals bij boorproeven in een zandsteen met een hardheid van 84 shore werd, naar elders in dit hoofdstuk nog nader wordt beschreven, in beide gevallen voor de waarde van z gevonden: $z = 0{,}50$. Deze waarde gesubstitueerd in de vergelijking voor T_2 geeft:

$$T_2 = t_1 \left(1 + \frac{1}{0{,}50}\right) = 3{,}00\ t_1 .$$

Het blijkt dus, dat $T_2 > T_1$ m.a.w. de boorhamer is nog in terugwijkende beweging (dus in een van het werkfront afgekeerde zin), indien de zuiger reeds een complete heen- en weergaande bewegingscyclus heeft gemaakt, en wederom op het punt is om opnieuw een heengaande beweging te maken. De boorhamer raakt dus in dit geval steeds verder van het werkfront verwijderd, waardoor de zuiger niet meer op het insteekeinde van de boorstang, doch op de onderdeksel van de cylinder der boorhamer zal slaan. Van indringing van de snede in het gesteente kan dus geen sprake meer zijn.

Om dit te voorkomen, moet tijdens het boren op de boorhamer een zekere uitwendige kracht K worden uitgeoefend, waarvan de richting evenwijdig is aan de omwentelingsas van de cylinder der boorhamer en de zin naar het werkfront toegekeerd is. Op deze wijze kan de lengte der weg, welke de boorhamer tijdens de terugstoot aflegt, beperkt worden, en tevens de tijd $T_{tot.}$ welke verloopt vanaf het moment dat de boorhamer zijn terugstoot aanvangt, tot het oogenblik waarop deze weer in zijn oorspronkelijke stand is teruggekeerd.

De grootste boorprestatie zal nu, vanuit dit oogpunt bezien, worden bereikt, indien de boorhamer na de terugstoot wederom in zijn oorspronkelijke stand is teruggekeerd nog vóór de zuigersteel opnieuw op het insteekeinde van de boorstang slaat, of uiterlijk op het oogenblik dat deze volgende slag plaats vindt. In dit geval is er een synchronisatie tusschen de beweging van de boorhamer en die van de zuiger. Voor deze synchronisatie geldt dus de voorwaarde:

$$T_{tot.} \leqq t_1 + t_2$$

ofwel:

$$T_{tot.} \leqq t_1 + \frac{1}{z}\, t_1 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Indien de boorhamer nu met een kracht groot K kg. tegen het gesteente wordt gedrukt, en indien de richting van deze kracht samenvalt met de omwentelingsas van de cylinder der boorhamer,

werkt op deze boorhamer tijdens de heengaande beweging van de zuiger een resulteerende kracht Q_1. Nu geldt voor de gemiddelde grootte van deze resultante:

$$Q_1 = \frac{\pi}{4} D^2 p._{gem} - K$$

Deze kracht Q_1 deelt aan de boorhamer tijdens de heengaande beweging een versnelling mede groot:

$$a_1 = \frac{Q_1}{m_1} = \frac{\frac{\pi}{4} D^2 p._{gem} - K}{m_1}$$

De weg door de boorhamer afgelegd in de tijd t_1, in welke de zuiger de heengaande beweging verricht bedraagt:

$$s_1 = \tfrac{1}{2} a_1 t_1^2 = \frac{\frac{\pi}{4} D^2 p._{gem} - K}{2m_1} t_1^2$$

Op het oogenblik t_1 heeft de boorhamer een van het front af gerichte snelheid, groot:

$$v_1 = a_1 t_1 = \frac{\frac{\pi}{4} D^2 p._{gem} - K}{m_1} t_1$$

Vanaf het oogenblik t_1 begint de zuiger zijn teruggaande beweging. Op de boorhamer werkt tijdens deze beweging een resulteerende kracht Q_2, welke kracht naar het front toe gericht is, en aan de boorhamer in deze zin een versnelling a_2 mededeelt.

Voor de gemiddelde grootte van de resultante Q_2 geldt:

$$Q_2 = \left(\frac{\pi}{4} D^2 - b^2\right) p._{gem.} + K$$

Voor de waarde van a_2 geldt de vergelijking:

$$a_2 = \frac{Q_2}{m_1} = \frac{\left(\frac{\pi}{4} D^2 - b^2\right) p._{gem.} + K}{m_1}$$

Vanaf het oogenblik t_1 is de beweging van de boorhamer te beschouwen als eenparig vertraagd, met een vertraging $= a_2$ en met een beginsnelheid $= v_1$.

Hiervoor geldt de bewegingsvergelijking:

$$v = v_1 - a_2\, t.$$

Op bet moment der grootste uitwijking van de boorhamer is $v=o$. Deze waarde gesubstitueerd in de bovenstaande bewegingsvergelijking geeft voor de tijdsduur t_x van deze eenparig vertraagde beweging:

$$o = v_1 - a_2\, t_x.$$

d.w.z. de uitwijkende beweging van de boorhamer duurt na het tijdstip t_1 nog:

$$t_x = \frac{v_1}{a_2} = \frac{\frac{\pi}{4} D^2\, p._{gem.} - K}{m_1}\, t_1 \cdot \frac{m_1}{(\frac{\pi}{4} D^2 - b^2)\, p._{gem.} + K} \text{ seconden.}$$

ofwel:

$$t_x = \frac{\frac{\pi}{4} D^2\, p._{gem.} - K}{(\frac{\pi}{4} D^2 - b^2)\, p._{gem.} + K}\, t_1$$

De totale duur van de terugwijkende beweging der boorhamer duurt:

$$t_1 + t_x \text{ seconden.}$$

In de tijd t_x heeft de boorhamer een weg afgelegd groot:

$$s_x = v_1\, t_x - \tfrac{1}{2}\, a_2\, t_x^2 = \frac{\frac{\pi}{4} D^2\, p._{gem.} - K}{m_1}\, t_1 \times$$

$$\times \frac{\frac{\pi}{4} D^2\, p._{gem.} - K}{(\frac{\pi}{4} D^2 - b^2)\, p._{gem.} + K}\, t_1 - \frac{1}{2} \frac{(\frac{\pi}{4} D^2 - b^2)\, p._{gem.} + K}{m_1} \times$$

$$\times \frac{(\frac{\pi}{4} D^2\, p._{gem.} - K)^2}{\left\{ (\frac{\pi}{4} D^2 - b^2)\, p._{gem.} + K \right\}^2}\, t_1^{\,2}$$

ofwel:

$$s_x = \frac{(\frac{\pi}{4} D^2\, p._{gem.} - K)^2}{\left\{ (\frac{\pi}{4} D^2 - b^2)\, p._{gem.} + K \right\} m_1}\, t_1^{\,2} -$$

$$\frac{\left(\frac{\pi}{4} D^2 \text{ p.}_{\text{gem.}} - K\right)^2}{2\left\{\left(\frac{\pi}{4} D^2 - b^2\right) \text{p.}_{\text{gem.}} + K\right\} m_1} t_1^{\,2}$$

of:

$$s_x = \frac{\left(\frac{\pi}{4} D^2 \text{ p.}_{\text{gem.}} - K\right)^2}{2\, m_1 \left\{\left(\frac{\pi}{4} D^2 - b^2\right) \text{p.}_{\text{gem.}} + K\right\}} t_1^{\,2}$$

De totale weg waarover de boorhamer achteruit geweken is bedraagt:

$$s = s_1 + s_x.$$

De heengaande beweging, dus naar het werkfront toe, van de boorhamer is nu eenparig vertraagd, met een vertraging $= a_2$ en zonder beginsnelheid. De weg s_2 welke tijdens deze beweging wordt afgelegd, is gelijk aan de totale weg s, welke tijdens de uitwijkende beweging is afgelegd, dus $s_2 = s$.

Voor de tijdsduur t_y van de heengaande beweging geldt:

$$s_2 = s = \tfrac{1}{2}\, a_2\, t_y^2$$

ofwel, daar $s = s_1 + s_x$ is ook:

$$s_1 + s_x = \tfrac{1}{2}\, a_2\, t_y^2$$

ofwel:

$$\frac{\frac{\pi}{4} D^2 \text{ p.}_{\text{gem.}} - K}{2m_1} t_1^2 + \frac{\left(\frac{\pi}{4} D^2 \text{ p.}_{\text{gem.}} - K\right)^2}{2m_1 \left\{\left(\frac{\pi}{4} D^2 - b^2\right) \text{p.}_{\text{gem.}} + K\right\}} t_1^2 =$$

$$\frac{\left(\frac{\pi}{4} D^2 - b^2\right) \text{p.}_{\text{gem.}} + K}{2m_1} t_y^2$$

of:

$$t_y^2 = \left[\frac{\frac{\pi}{4} D^2 \text{ p.}_{\text{gem.}} - K}{\left(\frac{\pi}{4} D^2 - b^2\right) \text{p.}_{\text{gem.}} + K} + \frac{\left(\frac{\pi}{4} D^2 \text{ p.}_{\text{gem.}} - K\right)^2}{\left\{\left(\frac{\pi}{4} D^2 - b^2\right) \text{p.}_{\text{gem.}} + K\right\}^2}\right] t_1^2 = R\, t_1^2$$

De notatie R werd ingevoerd, om de berekening te vergemakkelijken. Voor de tijd t_y waarin de boorhamer de teruggaande beweging heeft volbracht, volgt dan:

$$t_y = t_1 \sqrt{R}.$$

De totale tijd benoodigd voor een heen- en een weergaande beweging van de boorhamer bedraagt dus:

$$T_{tot.} = t_1 + t_x + t_y \text{ seconden.}$$

Dit gesubstitueerd in de voorwaarde (1) voor de synchronisatie van de beweging van de zuiger met de bewegingen van de boorhamer geeft:

$$t_1 + t_x + t_y \leqq t_1 + \frac{1}{z} t_1.$$

ofwel voor t_x en t_y de berekende waarden substitueerend:

$$t_1 + \frac{\frac{\pi}{4} D^2 p._{gem.} - K}{(\frac{\pi}{4} D^2 - b^2) p._{gem.} + K} t_1 + t_1 \sqrt{R} \leqq t_1 + \frac{1}{z} t_1$$

ofwel:

$$\frac{\frac{\pi}{4} D^2 p._{gem.} - K}{(\frac{\pi}{4} D^2 - b^2) p._{gem.} + K} + \sqrt{R} \leqq \frac{1}{z}$$

of:

$$\sqrt{R} \leqq \frac{1}{z} - \frac{\frac{\pi}{4} D^2 p._{gem.} - K}{(\frac{\pi}{4} D^2 - b^2) p._{gem.} + K}$$

dus:

$$R \leqq \left\{ \frac{1}{z} - \frac{\frac{\pi}{4} D^2 p._{gem.} - K}{(\frac{\pi}{4} D^2 - b^2) p._{gem.} + K} \right\}^2$$

of:

$$\frac{\frac{\pi}{4} D^2 p._{gem.} - K}{(\frac{\pi}{4} D^2 - b^2) p._{gem.} + K} + \frac{(\frac{\pi}{4} D^2 p._{gem.} - K)^2}{\left\{ (\frac{\pi}{4} D^2 - b^2) p._{gem.} + K \right\}^2} \leqq$$

$$\leqq \frac{1}{z^2} - \frac{2\left(\frac{\pi}{4} D^2 p._{gem.} - K\right)}{z\left\{\left(\frac{\pi}{4} D^2 - b^2\right) p._{gem.} + K\right\}} + \frac{\left(\frac{\pi}{4} D^2 p._{gem.} - K\right)^2}{\left\{\left(\frac{\pi}{4} D^2 - b^2\right) p._{gem.} + K\right\}^2}$$

ofwel:

$$\frac{\frac{\pi}{4} D^2 p._{gem.} - K}{\left(\frac{\pi}{4} D^2 - b^2\right) p._{gem.} + K} \left(1 + \frac{2}{z}\right) \leqq \frac{1}{z^2}$$

dus:

$$\frac{\pi}{4} D^2 p._{gem.} - K \leqq \frac{1}{z(z+2)} \left\{\left(\frac{\pi}{4} D^2 - b^2\right) p._{gem.} + K\right\}$$

of:

$$\frac{\pi}{4} D^2 p._{gem.} - \frac{1}{z(z+2)} \left(\frac{\pi}{4} D^2 - b^2\right) p._{gem.} \leqq K + \frac{1}{z(z+2)} K.$$

Waaruit volgt:

$$z(z+2) \frac{\pi}{4} D^2 p._{gem.} - \frac{\pi}{4} D^2 p._{gem.} + b^2 p._{gem.} \leqq \left\{z(z+2)+1\right\} K.$$

ofwel:

$$\left\{(z^2 + 2z - 1) \frac{\pi}{4} D^2 + b^2\right\} p._{gem.} \leqq (z+1)^2 K.$$

waaruit volgt voor de vereischte boordruk K, opdat synchronisatie van de bewegingen van de zuiger met die van de boorhamer optreedt:

$$K \geqq \frac{p._{gem.} \left\{(z^2 + 2z - 1) \frac{\pi}{4} D^2 + b^2\right\}}{(z+1)^2}$$

waarin:

$$\frac{1}{z} = -\varepsilon \frac{D^2}{D^2 - b^2} + \frac{D}{D^2 - b^2} \sqrt{D^2(\varepsilon^2 + 1) - b^2}$$

Om dus te bereiken, dat de bewegingen van de zuiger en de de boorhamer gesynchroniseerd zijn, moet K dus een bepaalde minimale waarde hebben, welke waarde gelijk is aan:

$$K_{min.} = \frac{p._{gem.}}{(z+1)^2} \left\{(z^2 + 2z - 1) \frac{\pi}{4} D^2 + b^2\right\} \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

Indien de waarde van K beneden die van $K_{min.}$ ligt, zijn de bewegingen van de zuiger en van de boorhamer niet gesynchroniseerd, en daar zich de boorhamer dan tevens steeds verder van het werkfront verwijdert, zal de zuivere boorsnelheid die dan bereikt wordt gelijk zijn aan o.

Door de waarde van $K_{min.}$ voor het boren in een bepaald gesteente experimenteel te bepalen, kan met behulp van vgl. (1) de waarde van ε voor het boren in dat bepaalde gesteente, en met de gegeven boorapparatuur, worden berekend.

PROEFNEMINGEN.

Door den schrijver werden proefnemingen gedaan welke ten doel hadden:

1) de invloed van de boordruk K op de zuivere boorsnelheid experimenteel te bepalen voor het boren in diverse gesteenten.
2) uit de gevonden waarden voor $K_{min.}$ de bijbehoorende waarden voor z, en dus ook voor ε, voor het boren in elk van die gesteenten te kunnen berekenen.
3) Voor elk van de gesteenten waarin deze proefnemingen werden gedaan, de meest gunstige boordruk (d. i. die boordruk waarbij in dat gesteente de grootste zuivere boorsnelheid wordt verkregen) te kunnen bepalen, om op deze wijze eenig inzicht te verkrijgen over de orde van grootte der meest gunstige boordruk, onder de omstandigheden zooals deze zich in het bedrijf voordoen.

Hiertoe werd in een steengang op een vlakke horizontaal opgestelde plaat Pl (zie fig. 16) een schuitje s op 2 rollen geplaatst. In dit schuitje werd de boorhamer gelegd. Aan deze boorhamer was het einde van een dunne stalen kabel bevestigd, welke door 3 leidrollen werd geleid. Aan het andere einde van deze dunne stalen kabel (Φ 3 mm.) werd bij iedere meting een bepaald gewicht G bevestigd. De boorhamer werd dus door de invloed van het gewicht G tegen het gesteente gedrukt.

Bij de aanvang der proefnemingen werd het gewicht G_1 bepaald, dat noodig was, om de wrijving te overwinnen, welke optrad tusschen de as en de bus der 3 leidrollen van de kabel, en tusschen de rollen R, de plaat Pl en het schuitje s (bij de normale belasting van het schuitje, zooals deze ook bij de overige metingen plaats vond).

Voor iedere meting werd de zuivere boordruk K gevonden, door de waarde van G te verminderen met de waarde voor G_1.

Vervolgens werd, voor ieder van een aantal waarden van G, de zuivere boorsnelheid gemeten, welke bij die bepaalde waarde van G werd verkregen.

Bij deze proeven werden hardmetalen enkelvoudige beitelsneden toegepast, met een diameter der snede van 38 mm., de afvoer van het

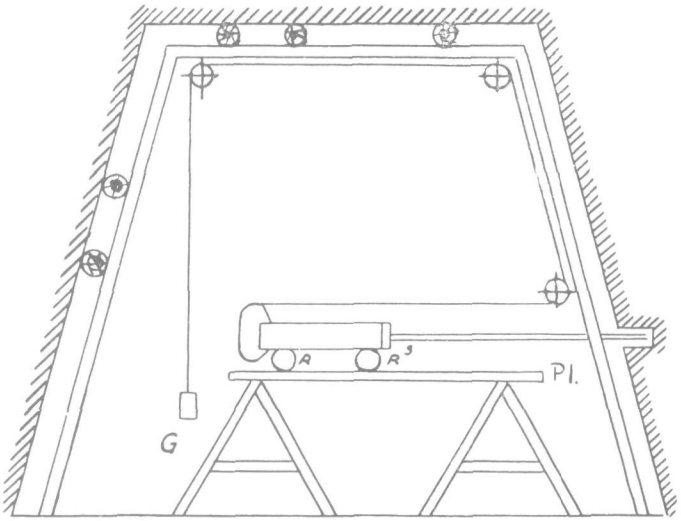


Fig. 16.

boormeel geschiedde met behulp van waterspoeling. De druk van de perslucht in het persluchtnet werd ter plaatse met een geijkte manometer bepaald. De lengte van de boorstang bedroeg 1.60 m. in verband met het beschikbare vrije profiel der steengang. Voor elke meting werd een boorgat ter diepte van 1,50 m. geboord. In tabel 13 zijn de opgemeten waarden der zuivere boorsnelheid bij diverse waarden voor de zuivere boordruk vermeld, welke metingen werden uitgevoerd in een leisteen met een hardheid van 66 shore. De druk van de perslucht in het net bedroeg ter plaatse 5,75 ato. Bij de proefnemingen in dit gesteente werd tevens het aantal omwentelingen per minuut van de boorstang bepaald, bij diverse waarden voor de boordruk; de resultaten hiervan zijn eveneens in de tabel opgenomen.

G_1 in kg	G in kg	Zuivere boordruk = $G - G_1 = K$ in kg.	Zuivere boorsnelheid in cm/min.	Aantal omw/min.
1,5	5,—	3,5	0	113
1,5	6,—	4,5	2,8	113
1,5	7,—	5,5	6,6	112
1,5	8,—	6,5	9,—	112
1,5	9,—	7,5	12,—	111
1,5	10,—	8,5	15,—	111
1,5	15,—	13,5	23,8	110
1,5	20,—	18,5	30,3	109
1,5	25,—	23,5	35,—	108
1.5	30,—	28,5	39,—	106
1,5	35,—	33,5	41,7	102
1,5	37,—	35,5	42.3	99
1,5	40,—	38,5	41,7	96
1,5	50,—	48,5	38,3	82
1,5	60,—	58,5	24,8	44
1.5	63,—	61,5	14,—	24
1,5	65,—	63,5	0	0

Tabel 13.

Met behulp van de gegevens van tabel 13 is grafiek 5 samengesteld, waarin is aangegeven:

a) de curve, voorstellende de zuivere boorsnelheid (in cm/min.) als functie van de zuivere boordruk (in kg.)

b) het aantal omwentelingen welke de boorstang per minuut maakt, als functie van de zuivere boordruk (in kg.)

In tabel 14 zijn de opgemeten waarden der zuivere boorsnelheid bij diverse waarden voor de zuivere boordruk vermeld, welke metingen werden uitgevoerd in een zandsteen met een hardheid van 87 shore. De druk van de perslucht in het net ter plaatse bedroeg 5,45 ato.

G_1 in kg.	G in kg.	zuivere boordruk = $G - G_1$ in kg.	zuivere boorsnelheid in cm/min.
1,5	5	3,5	1,-
1,5	20	18,5	15,2
1,5	25	23,5	18,4
1,5	30	28,5	21,1
1,5	33	31,5	22,3
1,5	35	33,5	23,1
1,5	37	35,5	24,-
1,5	38	36,5	23,2
1,5	40	38,5	21,7
1,5	50	48,5	16,7
1,5	65	63,5	9,8
1,5	66,5	65,-	0

Tabel 14.

In grafiek 6, is met behulp van de gegevens van tabel 14 de zuivere boorsnelheid, als functie van de zuivere boordruk, wederom in een curve voorgesteld.

Tenslotte zijn in tabel 15 de gemeten waarden der zuivere boorsnelheid bij diverse waarden voor de zuivere boordruk vermeld, welke metingen werden uitgevoerd in een zandsteen met een hardheid van 84 shore. De druk van de perslucht in het net ter plaatse bedroeg 5,70 ato. Met behulp van de gegevens van tabel 15, is ook hier weer de zuivere boorsnelheid, als functie van de zuivere boordruk, in een curve voorgesteld (graf. 7).

G_1 in kg.	G in kg.	$G - G_1$ in kg.	Zuivere boorsnelheid in cm/min.
1,5	5,-	3,5	0
1,5	7,5	6,-	2,1
1,5	25,-	23,5	13,8
1,5	30,-	28,5	17,7
1,5	35,-	33,5	21,8
1,5	37,-	35,5	22,9
1,5	40,-	38,5	24,6
1,5	43,-	41,5	22,4
1,5	45,-	43,5	21,9
1,5	65,-	63,5	8,-
1,5	66,5	65,-	0

Tabel 15.

RESULTATEN DER PROEFNEMINGEN.

1) Uit de tabellen 13 t/m 15, en uit de curven voorstellende de boorsnelheid als functie van de boordruk in de grafieken 5, 6 en 7, blijkt, dat er een bepaalde minimale boordruk noodzakelijk is om eenige boorsnelheid te kunnen verkrijgen. Bij vergrooting

van de boordruk, stijgt de bij die boordruk verkregen zuivere boorsnelheid aanvankelijk, tot tenslotte bij een bepaalde boordruk een maximale zuivere boorsnelheid wordt verkregen; wordt de boordruk nadat dit laatste punt bereikt is nog meer vergroot, dan daalt de zuivere boorsnelheid die daarbij wordt verkregen weer geleidelijk, tot uiteindelijk de boordruk zoo groot wordt, dat de boorhamer de boorstang (en daarmede de boorkop) niet meer kan omzetten, zoodat de boorsnelheid weder tot 0 is gedaald.

Het feit dat de zuivere boorsnelheid aanvankelijk met de boordruk toeneemt tot een zekere maximale waarde voor de boorsnelheid is bereikt, kan verklaard worden aan de hand van de door Perthen[46]) verrichte onderzoekingen van de indicateurdiagrammen van boorhamers. Door (electrisch)-capacitieve meting van de zuigerweg en met piëzo-electrische druk-indicatoren, slaagde Perthen erin, met behulp van een kathodestraal-oscillograaf het druk-weg-diagram van persluchthamers te bepalen. In het artikel in het „Zeitschrift des V.D.I.", dat Perthen hieromtrent publiceerde, zijn ook de indicateurdiagrammen (voor het gedeelte van de cylinder aan de zijde van de bovendeksel zoowel als voor dat aan de zijde van het insteekeinde gelegen) opgenomen, zoowel voor het geval dat de boorhamer krachtig werd aangedrukt, als voor het geval dat dit slechts met een geringe kracht geschiedde. Perthen gebruikte voor zijn onderzoekingen overeenkomstige boorhamers als door den schrijver werden gebezigd. Met behulp van een planimeter werd door den schrijver bepaald, dat de gemiddelde geïndiceerde druk, in het door Perthen gepubliceerde indicateur-diagram voor het aan de zijde van het insteekeinde gelegen gedeelte der cylinder 1,58 ato bedroeg, indien de boorhamer krachtig werd aangedrukt. („Bild 7" in het genoemde artikel van Perthen). Daar de druk in het persluchtnet ter plaatse 6 ato. bedroeg, was dus de gemiddelde geïndiceerde druk 26,3% van de initiale druk van 6 ato. Uit het indicateurdiagram dat Perthen vond voor het gedeelte der cylinder, aan de zijde van het bovendeksel gelegen, bij krachtig aandrukken van de boorhamer („Bild 8" in het artikel van Perthen), werd voor de gemiddelde geïndiceerde druk door den schrijver langs planimetrische weg een waarde van 1,30 ato, gevonden, of 21,7% van den initiale druk van 6 ato. Het gemiddelde van beide gevallen voor de gemiddelde

geïndiceerde druk bedraagt dus 24% van de initiale druk van 6 ato.

Nu bleek Perthen, dat de oppervlakten der beide indicateur-diagrammen geringer waren, indien de boorhamer slechts met een geringe kracht werd aangedrukt. Door den schrijver werd uit de door Perthen voor deze gevallen gevonden indicateur-diagrammen, met behulp van een planimeter voor de gemiddelde geïndiceerde druk gevonden:

a) 0,81 ato. of 14% van de initiale druk van 6 ato. voor het indicateur-diagram van het gedeelte der cylinder, aan de zijde van het insteekeinde gelegen. („Bild 11" in het artikel van Perthen).

b) 0,67 ato. of 11,2% van de initiale druk van 6 ato. voor het indicateur-diagram van het gedeelte der cylinder, aan de zijde van het bovendeksel gelegen. (Bild 12" in het artikel van Perthen).

Het gemiddelde van beide laatste gevallen voor de gemiddelde geïndiceerde druk, bedraagt dan 12,6% van de initiale druk van 6 ato. Voor het geval dat de boorhamer krachtig werd aangedrukt, bedroeg dus de gemiddelde geïndiceerde druk bijna het dubbele van de waarde die hiervoor werd verkregen, indien de boorhamer slechts met een geringe kracht werd aangedrukt. (Het is te betreuren dat Perthen geen nadere exacte gegevens over de grootte van de boordruk geeft). De verklaring voor dit verschijnsel is te vinden in het optreden van secundaire variaties van de luchtdruk in beide gedeelten van de cylinder, indien de boorhamer niet krachtig wordt aangedrukt, welke variaties ook in het indicateur-diagram in „Bild 11" en „Bild 12" in de genoemde publicatie tot uiting komen. Deze variaties van de druk zijn volgens Perthen te wijten aan:

a) trillingen van de luchtzuilen;

b) het feit dat de cylinder zich van de boorhamer, na de slag van de zuigersteel op het insteekeinde, te ver van de borst van de boorstang kan verwijderen, t. g. v. de geringe boordruk. Hierdoor worden de uitlaat-openingen tijdens dezelfde bewegingsperiode van de zuiger ten tweede male geopend.

Het verschijnsel, dat in de grafieken 5 t/m 7 de zuivere boorsnelheid aanvankelijk toeneemt met de boordruk, kan dus verklaard worden door het feit, dat de gemiddelde geïndiceerde druk aanvankelijk toeneemt met de boordruk. Weliswaar neemt de arbeid benoodigd voor het omzetten toe, naarmate de wrijving, en dus ook de boordruk, toeneemt, wel heeft een vergrooting van de arbeid benoodigd voor het omzetten een nadeelige invloed op de zuivere boorsnelheid (door een vermindering van de slaglengte van de zuiger en van het aantal omwentelingen per minuut van de boorstang), doch deze invloed is aanvankelijk gering. Dit laatste blijkt uit het feit, dat in grafiek 5 de curve voorstellende het aantal toeren per minuut der boorstang als functie van de boordruk aanvankelijk slechts een geringe daling toont.

Naarmate de boordruk grooter wordt, bereikt de gemiddelde geïndiceerde druk tenslotte echter zijn limietwaarde en blijft verder nagenoeg constant, terwijl de nadeelige invloed van de vergrooting van de boordruk op het aantal omwentelingen en dus ook het aantal slagen per minuut en dus ook op de boorsnelheid, thans de hoofdrol speelt. Dit laatste komt in grafiek 5 duidelijk tot uiting, door de sterke daling der curve welke het verloop van het toerental der boorstang, als functie van de boordruk, weergeeft. Bij een boordruk van 63,5 kg, is de arbeid, welke vereischt wordt om de snede om te zetten, grooter dan met het vermogen der gebezigde boorhamer overeenkomt, bij de ter plaatse optredende druk van de perslucht in de leiding van 5,75 ato.; de boorstang zet niet meer om, waardoor de boorsnelheid tot 0 cm/min. daalt.

Uit de curven, voorstellende de boorsnelheid als functie van de boordruk in de grafieken 5 t/m 7, blijkt tevens dat, voor het boren in een gegeven gesteente, bij gebruik van een gegeven boorapparatuur,en bij een gegeven druk van de perslucht, er slechts één bepaalde boordruk is waarvoor een maximale zuivere boorsnelheid wordt verkregen.

2) Uit grafiek 5 volgt, dat voor het boren in leisteen met een hardheid van 66 shore, de minimale boordruk $K_{min.}$ gelijk is aan 3,5 kg. Aannemende dat de gemiddelde geïndiceerde druk gelijk is aan 12,6 % van de initiale druk, zooals door Perthen bij zijn

onderzoekingen werd gevonden, bedraagt de gemiddeld geïndiceerde druk, bij een druk van 5,75 ato. van de perslucht in het net ter plaatse:

$$p_{gem.} = \frac{12,6}{100} \times 5,75 = 0,72 \text{ ato.}$$

Verder bedraagt de doorsnede van de zuiger der boorhamer 6,2 cm (= D) en de zijde van de vierkante doorsnede van het insteekeinde b = 1,8 cm. Deze waarden gesubstitueerd in vgl. (1) geeft:

$$3,5 = \frac{0,72}{(z+1)^2} \left\{ (z^2 + 2z - 1) \frac{\pi}{4} . 38,44 + 3,24 \right\}$$

of:

$$3,5z^2 + 7z + 3,5 = 21,74z^2 + 43,48z - 21,74 + 2,33$$

dus:

$$-18,24\, z^2 - 36,48\, z + 22,91 = 0$$

ofwel:

$$z^2 + 2z - 1,26 = 0$$

waaruit volgt: $z = -1 + \sqrt{2,26} = -1 + 1,50 = 0,50.$

(De oplossing: $z = -1 - \sqrt{2,26} = -2,50$ voldoet niet daar bij verdere berekening dan voor ε een waarde $\varepsilon = -1,12$ wordt verkregen).

Nu is per definitie:

$$\frac{1}{z} = -\frac{D^2}{D^2 - b^2}\, \varepsilon + \frac{D}{D^2 - b^2} \sqrt{D^2 (\varepsilon^2 + 1) - b^2}$$

ofwel:

$$\frac{D^2 - b^2}{z} + D^2 \varepsilon = D \sqrt{D^2 (\varepsilon^2 + 1) - b^2}$$

Kwadrateeren geeft:

$$\frac{(D^2 - b^2)^2}{z^2\, D^2} + 2\, \frac{(D^2 - b^2)\, D}{z\, D}\, \varepsilon + D^2 \varepsilon^2 = D^2 \varepsilon^2 + D^2 - b^2$$

ofwel:

$$\frac{D^2 - b^2}{z^2\, D^2} + \frac{2\varepsilon}{z} = 1.$$

dus:

$$\varepsilon = \frac{z}{2} - \frac{D^2 - b^2}{2\, z\, D^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Indien nu in deze vergelijking voor z de waarde $z = 0{,}50$ wordt gesubstitueerd, krijgt men voor ε de waarde:

$$\varepsilon = \frac{0{,}50}{2} - \frac{38{,}44 - 3{,}24}{2 \times 0{,}50 \times 38{,}44} = -\ 0{,}67.$$

Uit grafiek 6 blijkt, dat voor het boren in zandsteen met een hardheid van 87 shore, de minimale boordruk gelijk is aan 3 kg.

Bij een gemiddeld geïndiceerde druk van 12.6% van de druk van de perslucht in het net ter plaatse, bedraagt deze gemiddeld geïndiceerde druk:

$$p_{gem.} = \frac{12{,}6}{100} \times 5{,}45 \text{ ato.} = 0{,}69 \text{ ato.}$$

Deze waarden voor $p_{gem.}$ en $K_{min.}$ gesubstitueerd in vgl. (1) geeft:

$$3 = \frac{0{,}69}{(z+1)^2} \left\{ (z^2 + 2z - 1)\ \frac{\pi}{4} \cdot\ 38{,}44 + 3{,}24. \right\}$$

Waaauit volgt na oplossing van deze vergelijking:

$$z = -1 + \sqrt{2{,}21} = 0{,}49$$

(De oplossing $z = -1 - \sqrt{2{,}21} = -2{,}49$ voldoet niet, daar dan bij verdere berekening voor ε de waarde $\varepsilon = -1{,}12$ wordt gevonden.)

De waarde $z = 0{,}49$ substitueerend in vgl. (2) geeft voor ε de waarde:

$$\varepsilon = +\ \frac{0{,}49}{2} - \frac{38{,}44 - 3{,}24}{0{,}49 \times 2 \times 38{,}44} = -\ 0{,}67.$$

Uit grafiek 7 blijkt, dat voor het boren in zandsteen met een hardheid van 84 shore, de minimale boordruk gelijk is aan 3,5 kg. Bij een gemiddeld geïndiceerde druk van 12,6 % van de druk van de perslucht in het net ter plaatse, bedraagt deze gemiddeld geïndiceerde druk:

$$p_{gem.} = \frac{12{,}6}{100} \times 5{,}70 \text{ ato.} = 0{,}72 \text{ ato.}$$

Deze waarden wederom gesubstitueerd in vgl. (1) geeft:

$$3{,}5 = \frac{0.72}{(z+1)^2} \left\{ (z^2 + 2z - 1)\frac{\pi}{4} \cdot\ 38{,}44 + 3{,}24. \right\}$$

waaruit volgt na oplossing:

$$z = -1 + \sqrt{2,26} = -1 + 1,50 = 0.50$$

(De oplossing $z = -1 - \sqrt{2,26}$ voldoet niet, daar dan bij verdere berekening voor ε de waarde $\varepsilon = -1,12$ wordt verkregen).

Deze waarde voor z gesubstitueerd in vgl. (2) geeft voor ε de waarde:

$$\varepsilon = \frac{0,50}{2} - \frac{38,44 - 3,24}{2 \times 0,50 \times 38,44} = -0,67$$

Uit de hierboven uitgevoerde berekeningen blijkt, dat in drie verschillende gesteenten van uiteenloopende hardheid dezelfde waarde voor ε wordt verkregen, nl. $-0,67$. De waarde van ε voor het systeem: boorstang-boorkop-gesteente, blijkt dus practisch niet beïnvloed te worden door de hardheid van het gesteente, (tenminste indien een zekere hoeveelheid van het gesteente verbrijzeld wordt.) Verder blijkt, dat in de drie beschouwde gevallen steeds een negatieve waarde voor ε wordt verkregen.

De bewegingsvergelijking voor de teruggaande beweging van de zuiger, over de totale zuigerweg (= h) luidt, zooals reeds is vermeld:

$$h = v_1 t_2 + \tfrac{1}{2} a_2 t_2^2 = \varepsilon v t_2 + \tfrac{1}{2} a_2 t_2^2$$

Indien in deze vergelijking voor ε de waarde $\varepsilon = -0,67$ wordt gesubstitueerd, krijgt men:

$$h = -0,67 \; v \; t_2 + \tfrac{1}{2} a_2 \; t_2^2.$$

waarin dus v de snelheid is, waarmede de zuigersteel tijdens de heengaande slag het insteekeinde treft. Hieruit volgt dat de zuiger dus bij het begin der teruggaande beweging een beginsnelheid heeft in een zin, welke tegengesteld is aan die, welke de zuiger tijdens de teruggaande beweging krijgt t.g.v. de druk der perslucht. Dit zou, volgens de meening van de schrijver, hierdoor verklaard kunnen worden, dat de zuiger door de slag van de steel op het insteekeinde niet wordt teruggestooten, doch nog over een zekere afstand met de boorstang „doorschiet" wanneer de snede in het gesteente dringt.

3) Uit grafiek 5 blijkt dat bij het boren in leisteen met een hardheid van 66 shore de optimale boorsnelheid werd verkregen bij een boordruk van 35,5 kg ($= K_{opt}$.) In fig. 17 is nu een boorhamer met een pneumatische boorstut (zgn. „boorknecht") schematisch voorgesteld. Om te bereiken dat de boorstut op de boorhamer een kracht uitoefent, zoodanig, dat de horizontale component van deze kracht gelijk zij aan 35,5 kg. (dus aan K_{opt}), moet de boorstut zoodanig geplaatst worden,

dat zijn lengte-as met de richting van het boorgat een bepaalde hoek $= \alpha$ maakt.

Nu is de voorwaarde om een maximale boorsnelheid te verkrijgen:

$$P \cos \alpha = K_{opt.}$$

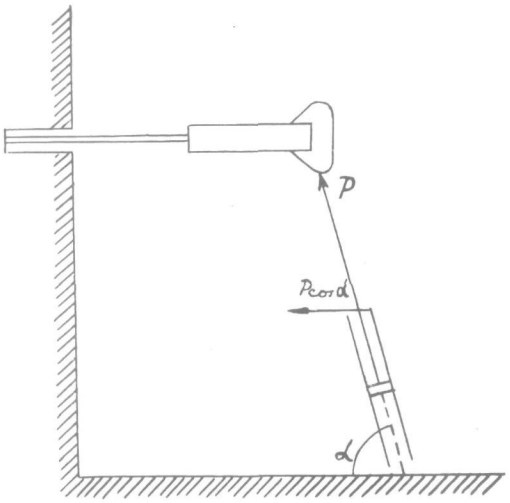


Fig. 17.

ofwel, daar $P = \frac{\pi}{4} D_1^2 . p_{net}$ (waarin: D_1 = diameter van de zuiger der boorstut in cm) wordt dus de maximale boorsnelheid verkregen voor:

$$\frac{\pi}{4} D_1^2 p_{net} \cos \alpha = K_{opt.}$$

dus:

$$\cos \alpha = \frac{4 K_{opt.}}{\pi p_{net} D_1^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

indien in deze formule wordt gesubstitueerd de waarden:

$$K_{opt.} = 35{,}5 \text{ kg.}$$

$$p_{net.} = 5{,}75 \text{ ato.}$$

$$D_1 = 6 \text{ cm.}$$

krijgt men voor cos α de waarde:

$$\cos \alpha = \frac{4 \times 35{,}5}{3{,}14 \times 5{,}75 \times 36} = 0{,}2185$$

dus: $\alpha = 77^{\circ}\ 35'$.

Uit de curve in grafiek 6 blijkt, dat in de zandsteen met een hardheid van 87 shore, een optimale boorsnelheid wordt verkregen bij een boordruk $K_{opt.} = 35{,}5$ kg. terwijl $p_{net} = 5{,}45$ ato.

Deze waarden gesubstitueerd in vgl. (3) geeft voor cos α de waarde:

$$\cos \alpha = \frac{4 \times 35{,}5}{3{,}14 \times 5{,}45 \times 36} = 0{,}2305$$

dus: $\alpha = 76^{\circ}\ 40'$.

Uit de curve in grafiek 7 blijkt, dat in de zandsteen met een hardheid van 84 shore een optimale boorsnelheid wordt verkregen, bij een boordruk $K_{opt.} = 38{,}5$ kg. terwijl $p_{net} = 5{,}70$ ato.

Deze waarden gesubstitueerd in vgl. (3) geeft voor cos α de waarde:

$$\cos \alpha = \frac{4 \times 38{,}5}{3{,}14 \times 5{,}70 \times 36} = 0{,}2391$$

dus: $\alpha = 76^{\circ}\ 10'$.

Het blijkt dus, dat in de drie gevallen de boorstut vrij steil geplaatst moet worden, om een maximale boorsnelheid te verkrijgen. Een bezwaar hiervan is echter, dat de boorhamer in dat geval door de groote verticale component (= P sin α) naar boven wordt gedrukt, waardoor de boorstang op buiging wordt belast en iets doorbuigt (zie fig. 17). De deviatie van het boorgat welke hierdoor ontstaat, is echter vrij gering, zooals in hoofdstuk V is gebleken.

In de drie beschouwde gevallen, werden maximale boorsnelheden bereikt, bij boordrukken van resp. 35,5 kg., 35,5 kg. en 38,5 kg. Indien nu een serie boorgaten met de beschreven gebruikelijke boorapparatuur, echter zonder mechanische middelen om de boorhamer aan te drukken, dus „uit de vrije hand" geboord moet worden, is het niet mogelijk de maximale zuivere boorsnelheid te bereiken, daar de arbeider physiek niet in staat is, om gedurende langere tijd een dergelijke horizontale kracht uit te oefenen.

De mechanische hulpmiddelen om de boordruk uit te oefenen (pneumatische boorstut, boorzuil, enz.), bieden, mits de constructie aan de practische eischen voldoet, de volgende voordeelen:

1) zij maken het mogelijk om een serie boorgaten met maximale zuivere boorsnelheid te boren, daar hiermede een hoogere boordruk kan worden uitgeoefend, dan bij aandrukken „uit de vrije hand" mogelijk is. De boordruk welke door deze mechanische hulpmiddelen wordt uitgeoefend, moet echter te regelen zijn, daar de optimale boorsnelheid slechts voor één bepaalde boordruk wordt verkregen. Verder moeten deze mechanische hulpmiddelen gemakkelijk te bedienen zijn, daar anders de tijdwinst, tijdens het zuivere boren met deze mechanische hulpmiddelen verkregen, weer verloren kan gaan tijdens de bijkomende manipulaties (verplaatsen van de boorapparatuur om het volgende boorgat te kunnen boren enz.). Het is in de praktijk gebleken, dat thans vele typen van dergelijke mechanische hulpmiddelen op de markt zijn, waarmede naast een grootere zuivere boorsnelheid, ook een grootere brutoboorsnelheid (dus inclusief de tijd voor de noodzakelijke nevenmanipulaties vereischt) wordt verkregen.
2) zij maken de boorarbeid voor den arbeider physiek minder vermoeiend, doordat deze laatste:
   a) de terugstoot van de boorhamer niet meer met zijn schouder hoeft op te vangen.
   b) de boordruk niet meer met zijn lichaamskracht behoeft uit te oefenen.
3) als gevolg van het onder 1) en 2) genoemde, wordt een grootere arbeidsprestatie per man/dienst verkregen, hetgeen weer een vermindering der aanlegkosten per loopende meter steenwerk beteekent.

HOOFDSTUK XI.

De invloed der waterspoeling op de zuivere boorsnelheid, bij het slaand boren met boorkoppen voorzien van hardmetalen sneden.

Om de invloed der waterspoeling op de zuivere boorsnelheid te kunnen nagaan, werden experimenteel bepaald:

a) de curve, voorstellende het verloop van de zuivere boorsnelheid als functie van de shore-hardheid van het gesteente, indien de afvoer van het boormeel geschiedde met behulp van waterspoeling. Als boorstangen werden 2,20 m. lange hexagonale holle boorstangen gebezigd.

b) de curve, voorstellende het verloop der zuivere boorsnelheid als functie van de shore-hardheid van het gesteente, indien de afvoer van het boormeel geschiedde met behulp van een spiraalboorstang, dus zonder eenige spoeling, onder omstandigheden welke overigens gelijk waren aan die, welke tijdens de onder *a*) genoemde proefnemingen heerschten.

In grafiek 8 is het verloop van deze beide curven aangegeven, waaruit blijkt, dat in gesteenten met een hardheid, die geringer is dan 104 shore, bij gebruik van waterspoeling een grootere zuivere boorsnelheid wordt verkregen, dan dit het geval is indien de afvoer van het boormeel plaats vindt met behulp van spiraalboorstangen. In gesteenten waarvan de hardheid grooter is dan 106 shore, treedt echter het omgekeerde verschijnsel op. Overeenkomstige waarnemingen werden ook gedaan door den Belgischen ingenieur Konlic [49]).

Het feit dat de beide curven elkaar snijden, moet naar de meening van den schrijver als volgt worden verklaard:

het boormeel ondervindt bij het transport door het boorgat met behulp van een spiraalboorstang, t. g. v. de grootere wrijving ook een grootere weerstand, dan bij toepassing van waterspoeling het geval is. Deze weerstand neemt af naarmate de hoeveelheid boormeel welke per tijdseenheid moet worden afgevoerd geringer is, dus ook: naarmate de boorsnelheid geringer en dus naarmate de hardheid van het gesteente (uitgedrukt in shore-hardheden), grooter is. Verder is het den schrijver uit proefnemingen gebleken, dat de slijtage van de

hardmetalen snede bij toepassing van waterspoeling aanmerkelijk grooter is, dan dit het geval is indien het boormeel met behulp van spiraalboorstangen, zonder eenige spoeling, wordt afgevoerd. In een zandsteen met een hardheid van ± 74 shore, bedroeg de slijtage van de hardmetalen snede, per m. boorgat bv. het drievoudige van de slijtage der snede per m. boorgat welke verkregen werd, indien het boormeel met spiraalboorstangen werd afgevoerd, Deze grootere slijtage van de hardmetalen snede, welke bij toepassing van waterspoeling optreedt, heeft een nadeeligen invloed op de zuivere boorsnelheid.

De verklaring ligt nu voor de hand, dat in gesteente van geringere hardheid (onder de omstandigheden welk in grafiek 8 zijn vermeld, en voor gesteenten met een hardheid welke geringer is dan 106 shore), de gunstige invloed, welke waterspoeling op de zuivere boorsnelheid uitoefent t.g.v. een betere afvoer van het boormeel, grooter is dan de nadeelige invloed welke waterspoeling op de zuivere boorsnelheid uitoefent t.g.v. de grootere slijtage der hardmetalen snede.

In gesteenten met een grootere hardheid (onder de omstandigheden welke in graf. 8 zijn vermeld, en voor gesteenten met een hardheid welke grooter is dan 106 shore), overweegt echter de nadeelige invloed welke waterspoeling op de zuivere boorsnelheid uitoefent t.g.v. de grootere slijtage van de hardmetalen snede, zoodat de zuivere boorsnelheid, welke bij toepassing van waterspoeling wordt verkregen, dan geringer is dan die, welke bij toepassing van afvoer van het boormeel met behulp van spiraalboorstangen, zonder eenige spoeling, wordt verkregen.

Hierbij zij echter opgemerkt, dat het in het geheel niet in de bedoeling van den schrijver ligt, om een lans te breken voor toepassing van dit „droog" boren met afvoer van het boormeel met behulp van spiraalboorstangen in zeer harde gesteenten. Daar immers juist de hardste gesteenten veelal een groot gehalte aan vrij SiO_2 bevatten, verdient het, naar de meening van den schrijver, juist aanbeveling om bij het slaand boren in harde gesteenten, waar slechts eenigszins mogelijk, ofwel waterspoeling ofwel luchtspoeling (onder gelijktijdige afzuiging van het boorstof in een daartoe geschikt apparaat), toe te passen, ter voorkoming van het optreden van silicosis, met de daaraan verbonden sociale en financieele gevolgen. Slechts daar, waar toepassing van waterspoeling of van luchtspoeling met afzuiging van het boorstof te veel complicaties met zich mede brengen, zooals dit in de steenkolen-

mijnbouw in de zgn. „voorbereiding" veelal het geval is, zal toepassing van de afvoer van het boormeel met behulp van spiraalboorstangen zonder eenige spoeling op zijn plaats zijn.

Hoewel een vergelijking van de boorsnelheden, verkregen bij slaand boren met hardmetalen sneden waarbij waterspoeling werd toegepast, met de boorsnelheden, verkregen indien de waterspoeling door luchtspoeling zou zijn vervangen, in verband met bovenstaande beschouwingen zeker interessant geweest zou zijn, moest de schrijver van proefnemingen met luchtspoeling afzien, daar hij niet beschikte over een geschikte installatie, om het boorstof af te zuigen.

BIJLAGE I.

Berekening van het gedeelte der slagenergie welke wordt besteed tot elastische deformatie van het materiaal der boorstang.

Een gedeelte van de slagenergie wordt besteed tot elastische deformatie van het materiaal van de boorstang, welke energie zich als een elastische golf door het materiaal van de boorstang zal voortplanten. Men heeft hier dus te doen met een gedempte longitudinale elastische trilling, in een staaf waarvan de doorsnede geacht wordt klein te zijn t.o.v. zijn lengte.

In fig. 18 wordt de massa van de staaf over een groot aantal punten verdeeld gedacht. De normaalkrachten op de respectieve dwarsdoorsneden van deze staaf zijn in de figuur voorgesteld door veeren.

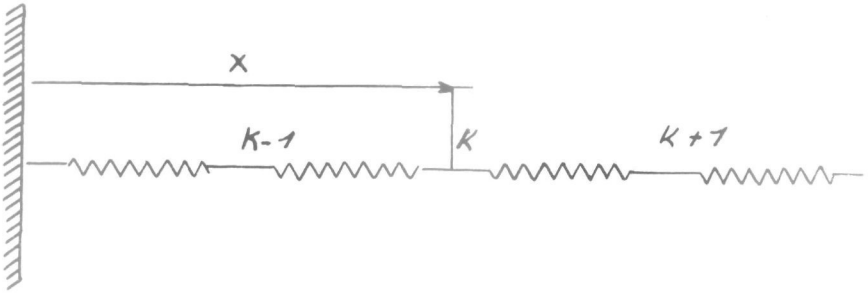


Fig. 18

De berekeningen worden hier uitgevoerd voor een heengaande longitudinale loopende elastische trilling, veroorzaakt door een enkele slag van de zuiger op het insteekeinde van de boorstang.

Bij de berekening wordt uitgegaan van een eenvoudige spanningstoestand in de richting der X — as der staaf, welke X — as samenvalt met de lengte-as van de boorstang.

Volgens Timoshenko (Theory of elasticity, 1934 blz. 38 en 382 voetnoot 2) kunnen de inertiekrachten welke optreden t.g.v. de beweging der deeltjes in laterale richting, bij de globale berekening, met genoegzame accuratesse voor de uitkomst van die berekening worden verwaarloosd, zoolang de golflengte niet klein is t.o.v. de dwarsdoorsnede der staaf.

Verder wordt aangenomen dat de slagvlakken van zuigersteel en

insteekeinde elkaar over de geheele oppervlakte raken bij de stoot.

Voor een willekeurig deeltje k met massa M geldt nu:

$$M\ddot{x}_k = M.\ddot{u}_k.$$

als.: x = de afstand van 0 tot punt k.

u = de uitwijking van punt k uit zijn evenwichtstoestand.

Nu geldt de bewegingsvergelijking:

$$M.\ddot{u}_k + c_1 \dot{u}_k = s(u_{k+1} - u_k) - s(u_k - u_{k-1}) \ldots . (1).$$

Waarin dus $M\ddot{u}_k$ de traagheidskracht en $c_1 \dot{u}$ de demping voorstelt (c_1 is een constante,) terwijl s de normaalkracht op de doorsnede voorstelt. (In fig. 18 schematisch door de veerkracht voorgesteld).

Indien de soortelijke massa van het materiaal van de boorstang gelijk is aan ϱ, dan is:

$$M = \varrho.F.dx$$

Indien nu de demping per cm^3 van het materiaal gelijk gesteld wordt aan c, dan is:

$$c_1.\dot{u}_k = c.F.dx.\dot{u}_k$$

Verder is, indien de elasticiteitsmodulus van het materiaal der boorstang gelijk zij aan E. kg/cm^2.

$$s(u_{k+1} - u_k) - s(u_k - u_{k-1}) = E.F.dx. \frac{\delta^2 u}{\delta x^2}.$$

Deze waarden nu gesubstitueerd in vgl. (1) geeft:

$$\varrho.F\,dx.\ddot{u}_k + c.F\,dx.\dot{u}_k = E.F.dx. \frac{\delta^2 u}{\delta x^2}$$

De algemeene vorm der differentiaalvergelijking wordt nu dus:

$$\varrho.\ddot{u} + c\dot{u} = E\frac{\delta^2 u}{\delta x^2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Stelt men nu:

$$u = A.e^{ax}.e^{bt}$$

Dan is:

$$\dot{u} = b.A\,e^{ax}.e^{bt}$$

$$\ddot{u} = b^2 A\,e^{ax}.e^{bt}$$

en:

$$\frac{\delta u}{\delta x} = aA.e^{ax}.e^{bt}$$

dus:

$$\frac{\delta^2 u}{\delta x^2} = a^2 A\, e^{ax} \cdot e^{bt}$$

Deze waarden voor $\dot{u}$, $\ddot{u}$ en $\frac{\delta^2 u}{\delta x^2}$ gesubstitueerd in vgl. (2) geeft na daaropvolgend deelen door $A.\, e^{ax} \cdot e^{bt}$: $\varrho b^2 + cb = E a^2$

waaruit volgt:

$$a = \pm \sqrt{\frac{\varrho b^2 + cb}{E}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

Nu zijn dus twee oplossingen van de diff. vgl. (2):

$$u_1 = A_1 .e^{x\sqrt{\frac{\varrho b^2 + cb}{E}}} \cdot e^{bt} \ldots\ldots\ldots (4)$$

en

$$u_2 = A_2 .e^{-x\sqrt{\frac{\varrho b^2 + cb}{E}}} \cdot e^{bt} \ldots\ldots\ldots (5)$$

Als randvoorwaarde wordt nu aangenomen dat voor $x = 0$ de stootkracht op de boorstang, als functie van de tijd, verloopt volgens een sinusoïde. In dat geval verloopt ook de uitwijking u als functie van de tijd volgens een sinusoïde, zoals is voorgesteld in fig. 19.

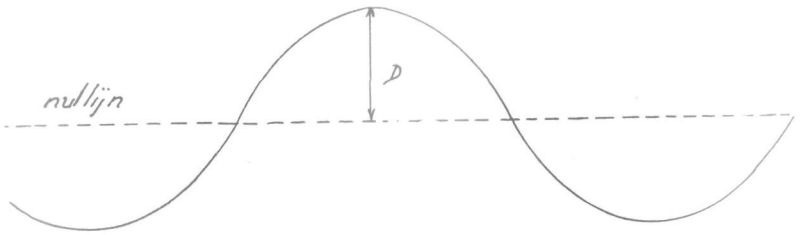


FIG. 19

Nu geldt voor deze ongedempte trilling de vgl.:

$$u = D \cos \omega t$$

waarin: D = de helft van de maximale verkorting t.g. van de *ongedempte* impuls (dus D = de amplitudo.)

ω = de cirkelfrequentie der trilling.

Volgens Euler is nu:

$$u = D \cos \omega t = \tfrac{1}{2} D \left(e^{i\omega t} + e^{-i\omega t}\right) \ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

voor $x = 0$ wordt vergelijking (4)

$$u_1 = A_1 e^{b_1 t}$$

voor $x = 0$ wordt vergelijking (5)

$$u_2 = A_2 e^{b_2 t}$$

De algemeene oplossing is dus voor te stellen door:

$$u = \sum A_k \, e^{b_k t}$$

De waarden van b en A moeten nu worden aangepast aan vgl. (6) zoodat:

$$b_1 = i\omega$$
$$b_2 = -i\omega$$
$$A_1 = A_2 = +\,{}^1\!/_2 D$$

Indien men nu met gebruikmaking van vgl. (3) voor b de waarde $b_1 = i\,\omega$ substitueert krijgt men:

$$a_1 = \sqrt{\frac{-\varrho\omega^2 + c\omega i}{E}}$$

Stelt men nu:

$$\sqrt{\frac{-\varrho\omega^2 + c\omega i}{E}} = k_1 + l_1 . i$$

dan is:

$$\frac{-\varrho\omega^2 + c\omega i}{E} = k_1^2 + 2\,k_1\,l_1 i - l_1^2$$

waarin:

$$k_1^2 - l_1^2 = -\frac{\varrho\omega^2}{E} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

en:

$$2\,k_1\,l_1 = \frac{c\omega}{E}$$

dus:

$$l_1 = \frac{c\omega}{2E} \cdot \frac{1}{k_1}$$

Deze waarde in vgl. (7) geeft na vermenigvuldigen met k^2:

$$k_1^4 - \frac{c^2\omega^2}{4E^2} = -\frac{\varrho\omega^2}{E}\,k_1^2$$

Stelt men nu: $k_1^2 = p$

dan gaat de vgl. over in: $p^2 + \frac{\varrho\omega^2}{E}\,p - \frac{c^2\omega^2}{4E^2} = 0$

$$p = -\frac{\varrho\omega^2}{2E} \pm \sqrt{\frac{\omega^2\,(\varrho^2\omega^2 + c^2)}{4\,E^2}} = -\frac{\varrho\omega^2}{2E} \pm \frac{\omega}{2E}\sqrt{\varrho^2\,\omega^2 + c^2}$$

dus:

$$k_1 = \sqrt{p} = \pm\sqrt{-\frac{\varrho\omega^2}{2E} \pm \frac{\omega}{2E}\sqrt{\varrho^2\,\omega^2 + c^2}}$$

en

$$l_1 = \frac{c\omega}{2E} \cdot \frac{1}{k_1} = \frac{c\omega}{\pm\sqrt{-2E\varrho\omega^2 \pm 2E\omega\sqrt{\varrho^2\omega^2 + c^2}}}$$

Indien men nu op geheel overeenkomstige wijze, met gebruikmaking van vgl. (3) voor b de waarde $b_2 = -i\omega$ substitueert krijgt men:

$$a_2 = \sqrt{\frac{-\varrho\omega^2 - c\omega i}{E}}$$

En door analoge berekening vindt men dan:

$$k_2 = \pm\sqrt{-\frac{\varrho\omega^2}{2E} \pm \frac{\omega}{2E}\sqrt{\varrho^2\omega^2 + c^2}}$$

en

$$l_2 = -\frac{c\omega}{\pm\sqrt{-2E\varrho\omega^2 \pm 2E\omega\sqrt{\varrho^2\omega^2 + c^2}}}$$

Men kieze voor k_1 en k_2 de negatieve waarden, daar anders bij verdere berekening de waarde van de amplitude steeds grooter zou worden. Daar voor k_1 en k_2 de negatieve waarden worden aangenomen voor de verdere berekening, volgt hier dus uit dat voor l_1 de waarde negatief is, en voor l_2 positief.

Van de differentiaal-vgl. (2) zijn nu twee oplossingen:

$u_1 = A_1 . e^{a_1 x} . e^{b_1 t}$ waarin: $a_1 = k_1 + l_1 i$
$b_1 = i\omega$
en $A_1 = \frac{1}{2}D$

en

$u_2 = A_2 . e^{a_2 x} . e^{b_2 t}$ waarin: $a_2 = k_2 + l_2 i$
$b_2 = -i\omega$
en $A_2 = \frac{1}{2}D$

Een andere oplossing van de diff.vgl. (2) is dan:

$$u = u_1 + u_2 = A_1 e^{a_1 x} . e^{b_1 t} + A_2 e^{a_2 x} . e^{b_2 t}.$$

ofwel:

$$u = \tfrac{1}{2}De^{(k_1 + l_1 i)x} . e^{i\omega t} + \tfrac{1}{2}De^{(k_2 + l_2 i)x} . e^{-i\omega t}$$

daar $k_1 = k_2 = k$ en $l_1 = -l_2 = l$ gaat deze vgl. over in:

$$u = \tfrac{1}{2} D . e^{kx} . e^{(\omega t + lx)i} + \tfrac{1}{2} D . e^{kx} . e^{(-\omega t - lx)i}.$$

dus:

$$u = \tfrac{1}{2} D.e^{kx} \left\{ e^{(\omega t + lx)i} + e^{-(+\omega t + lx)i} \right\}$$

ofwel, indien men op bovenstaande vgl. de stelling van Euler toepast:

$$u = D\, e^{kx} \cos(\omega t + lx) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

De verhouding van de gedempte uitwijking van een punt op een afstand x tot de ongedempte uitwijking van een punt op een afstand 0 is dan:

$$\frac{U_x}{U_o} = \frac{D.e^{kx} \cdot \cos(t\omega + lx)}{D.\cos\omega t} = \frac{e^{kx} \cdot \cos(\omega t + lx)}{\cos\omega t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

Nu is ω zeer groot daar de stoot van zeer korte duur is.

Dan is dus: $\frac{c}{\varrho\omega}$ klein t.o.v. l. Stel $\frac{c}{\varrho\omega} = \lambda$

Dan is, indien men λ invoert in de vgl. voor k:

$$k = -\sqrt{-\frac{\varrho\omega^2}{2E} + \frac{\omega}{2E}\varrho\omega\sqrt{1+\lambda^2}}$$

Daar volgens het binomium van Newton:

$\sqrt{1+\lambda^2} = 1 + \tfrac{1}{2}\lambda^2 + \ldots\ldots$ enz. (daar λ zeer klein is worden de termen verwaarloosd welke λ bevatten in een hoogere dan de tweede macht) gaat de vgl. dus over in:

$$k = -\sqrt{-\frac{\varrho\omega^2}{2E}(1 - 1 - \tfrac{1}{2}\lambda^2)} = -\sqrt{\frac{\varrho\omega^2}{2E} \cdot \tfrac{1}{2}\lambda^2} = -\tfrac{1}{2}\lambda\omega\sqrt{\frac{\varrho}{E}}. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

Volgens de trillingsleer is nu:

$\sqrt{\frac{\varrho}{E}} = V^{-1}$ waarin V de geluidssnelheid voorstelt in het materiaal van de boorstang.

Dit gesubstitueerd in vgl. (10) geeft:

$$k = -\frac{\lambda\omega}{2V} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (11)$$

Daar $\lambda = \frac{c}{\varrho\omega}$ gaat vgl. (11) over in:

$$k = -\frac{c}{2\varrho V}$$

Indien men λ invoert in de formule voor l krijgt men

$$l = -\frac{c\omega}{\sqrt{-2E\varrho\omega^2 + 2E\varrho\omega^2\sqrt{1+\lambda^2}}}$$

$$= -\frac{c}{\sqrt{-2E\varrho + 2E\varrho\,(1 + {}^1\!/_2\,\lambda^2)}}$$

dus:

$$l = -\frac{c}{\sqrt{{}^1\!/_2\varrho\lambda^2 2E}} = -\frac{c}{\lambda\sqrt{\frac{\varrho}{2}.2E}} = -\omega\sqrt{\frac{\varrho}{E}} = -\frac{\omega}{V}$$

Deze waarden voor k en l gesubstitueerd in vgl. (8) geeft:

$$u = D\,e^{kx}\cos(\omega t + lx) = De^{-\frac{c}{2\varrho V}x}\cos\left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi}{T}\cdot\frac{x}{V}\right) \quad ..(12)$$

Uit vgl. (9) en vgl. (12) volgt nu:

$$\frac{U_x}{U_o} = \frac{e^{-\frac{c}{2\varrho V}\cdot x}\cos\left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi}{T}\cdot\frac{x}{V}\right)}{\cos\frac{2\pi t}{T}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (13)$$

In bovenstaande vgl. is in het tweede lid de waarde van de dempingsconstante c nog niet bekend.
Hieromtrent vindt men in de literatuur ook geen nadere gegevens.
Men kan nu echter c uitdrukken in het logarithmisch decrement van een staande longitudinale gedempte trilling; omtrent de grootte van dit logarithmisch decrement zijn in de literatuur wel gegevens bekend.
Men kan weer voor de staande longitudinale gedempte trilling uitgaan van de vgl.:

$$\varrho\ddot{u} + c\dot{u} = E\frac{\delta^2 u}{\delta x^2}$$

ofwel:

$$\ddot{u} + \frac{c}{\varrho}\dot{u} = \frac{E}{\varrho}\frac{\delta^2 u}{\delta x^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (14)$$

Stelt men weer:

$$u = A\,e^{ax}\cdot e^{bt} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (15)$$

dan is:

$$\dot{u} = b.A.e.^{ax}e^{bt}$$

$$\ddot{u} = b^2\ A.e.^{ax}e^{bt}$$

en

$$\frac{\delta u}{\delta x} = a.A.e.^{ax}e^{bt}$$

$$\frac{\delta^2 u}{\delta x^2} = a^2 A.e.^{ax}e^{bt}$$

Deze waarden voor $\dot{u}$, $\ddot{u}$ en $\frac{\delta^2 u}{\delta x^2}$ gesubstitueerd in vgl. (14) geeft, na deeling door $A.e.^{ax}e^{bt}$: $b^2 + \frac{c}{\varrho} b - \frac{E}{\varrho} a^2 = 0$ ..... (17)

Voor het geval dat de halve golflengte gelijk is aan de halve lengte van de staaf (= L) geldt voor de gedempte trilling als oplossing in zijn algemeene vorm:

$$u = G\, e^{-\delta t} \sin \pi \frac{x}{L} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (18)$$

waarin δ = het logarithmisch decrement der gedempte trilling
Als randvoorwaarde geldt nu, dat voor $t = 0$ de uitwijking van een punt op een afstand x wordt voorgesteld door de formule:

$$u = G \sin \frac{\pi}{L} x = \frac{G}{2i}\left(e^{\frac{\pi}{L} ix} - e^{-\frac{\pi}{L} ix}\right) \ldots (19)$$

waarin G een constante voorstelt.
De waarden van a en A in vgl. (15) moeten nu worden aangepast aan vgl. (19).
Dus:

$$A_1 = \frac{G}{2i} \qquad A_2 = -\frac{G}{2i}$$

$$a_1 = \frac{\pi}{L} i \qquad a_2 = -\frac{\pi}{L} i$$

Voor a in vgl. (17) de waarde gesubstitueerd:

$$a_1 = \frac{\pi}{L} i \text{ geeft: } b^2 + \frac{c}{\varrho} b + \frac{E}{\varrho}\frac{\pi^2}{L^2} = 0$$

ofwel, daar $\frac{E}{\varrho} \cdot \frac{\pi^2}{L^2} = V^2 \cdot \frac{\pi^2}{L^2} = \omega^2$ (waarin ω = de eigen frequentie der staaf)

geldt dus:

$$b^2 + \frac{c}{\varrho} b + \omega^2 = 0.$$

dus:

$$b_1 = \frac{-c}{2\varrho} + \frac{c}{2\varrho}\sqrt{1 - 4\frac{\varrho^2\omega^2}{c^2}} = \frac{c}{2\varrho} + \frac{c}{2\varrho}\, i\sqrt{\frac{4\varrho^2\omega^2}{c^2} - 1}$$

$$b_2 = -\frac{c}{2\varrho} - \frac{c}{2\varrho}\sqrt{1 - \frac{4\varrho^2\omega^2}{c^2}} = -\frac{c}{2\varrho} - \frac{c}{2\varrho}\, i\sqrt{\frac{4\varrho^2\omega^2}{c^2} - 1}$$

Op dezelfde wijze in vgl. (17) voor a gesubstitueerd de waarde $a_2 = -\frac{\pi}{L}\, i$ geeft:

$$b_3 = -\frac{c}{2\varrho} + \frac{c}{2\varrho}\, i\sqrt{\frac{4\varrho^2\omega^2}{c^2} - 1}$$

$$b_4 = -\frac{c}{2\varrho} - \frac{c}{2\varrho}\, i\sqrt{\frac{4\varrho^2\omega^2}{c^2} - 1}$$

Een der mogelijke oplossingen der differentiaal vgl. (14) is nu:

$$u = A_1 . e^{a_1 x} . e^{b_1 t} + A_1 e^{a_1 x} . e^{b_2 t} + A_2 e^{a_2 x} e^{b_3 t} + A_2 e^{a_2 x} e^{b_4 t} .$$

ofwel, indien hierin de gevonden waarden voor A_1, A_2, a_1, a_2, b_1, b_2, b_3 en b_4 worden gesubstitueerd:

$$u = \frac{G}{2i} e^{\frac{\pi}{L} ix} \left\{ e^{-\frac{c}{2\varrho} t} . e^{\frac{c}{2\varrho}\sqrt{\frac{4\varrho^2\omega^2}{c^2} - 1} . it} + \right.$$

$$\left. + e^{-\frac{c}{2\varrho} t} . e^{-\frac{c}{2\varrho}\sqrt{\frac{4\varrho^2\omega^2}{c^2} - 1} . it} \right\} - \frac{G}{2i} e^{-\frac{\pi}{L} ix} \left\{ e^{-\frac{c}{2\varrho} t} . \right.$$

$$\left. . e^{\frac{c}{2\varrho}\sqrt{\frac{4\varrho^2\omega^2}{c^2} - 1} . it} + e^{-\frac{c}{2\varrho} t} . e^{-\frac{c}{2\varrho}\sqrt{\frac{4\varrho^2\omega^2}{c^2} - 1} . it} \right\}$$

dus:

$$u = \frac{G}{2i} e^{\frac{\pi}{L} ix} . e^{-\frac{c}{2\varrho} t} \cos \frac{c}{2\varrho}\sqrt{\frac{4\varrho^2\omega^2}{c^2} - 1} . t - \frac{G}{2i} e^{-\frac{\pi}{L} ix} .$$

$$. e^{-\frac{c}{2\varrho} t} \cos \frac{c}{2\varrho}\sqrt{\frac{4\varrho^2\omega^2}{c^2} - 1}\; t$$

ofwel:

$$u = G e^{-\frac{c}{2\varrho} t} \sin \frac{\pi}{L} x . \cos \frac{c}{2\varrho}\sqrt{\frac{4\rho^2\omega^2}{c^2} - 1}\; t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (20)$$

Nu is in vgl. (20): $\frac{c}{2\varrho} = \delta =$ het logarithmisch decrement der gedempte trilling.

Dus: $c = 2\varrho\,\delta = 2\varrho\,\pi\varphi$ ..... (21)

Waarin: $\varphi = \frac{\delta}{\pi}$. Deze bedraagt volgens proeven van Bennewitz en Rötger voor staal ongeveer 0,005 voor frequenties als in het hier beschouwde geval. Zie Snoek 51) Ned. Tijdschrift voor Natuurkunde 1940 blz. 142.

Verder is voor het beschouwde geval (stalen boorstang):

$$\varrho = \frac{7{,}85\,.\,10^{-3}}{981} \text{ (uitgedrukt in } \frac{\text{kg. sec.}^2}{\text{cm}^4}\text{)}$$

Deze waarden voor φ en ϱ uitgedrukt in vgl. (21) geeft:

$$c = 2.\frac{7.85\,.\,10^{-3}}{981}\,.\,3{,}14\,.\,0{,}005 = 25{,}1\,.\,10^{-8}\,\frac{\text{kg. massa}}{\text{cm}^3\text{. sec.}}$$

Thans zijn van het tweede lid van vgl. (13) de waarden van alle constanten bekend. Voor de maximale amplitude geldt tevens dat in vgl. (13):

$$\cos\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{T}\,\frac{x}{V}\right) = 1$$

en:

$$\cos\frac{2\pi t}{T} = 1$$

Verder is in vgl. (13) $V = \sqrt{\frac{E}{\varrho}} = 5245$ cm/sec

(El. mod. boorstaal $= 22 \times 10^8 \times 981$ dynes)

Voor de verhouding tusschen de maximale amplitude van een punt, op een afstand x van het 0 punt gelegen, en de amplitude van dat 0-punt bij een loopende longitudinale trilling wordt met behulp van vgl. (13) gevonden:

$$\frac{U_x}{U_0} = \frac{e^{-\frac{c}{2\varrho V}x}}{1} = e^{-\frac{0.015}{5\,.\,10^5}x}$$

Nu is dus de verhouding tussen de maximale amplitude U_0 van een punt aan het begin van het insteekeinde van de boorstang en de amplitude U_{220} aan het einde van de 220 cm. lange boorstang gelegen:

$$\frac{U_{220}}{U_0} = \frac{e^{-\frac{0.015}{5\,.\,10^5}\cdot 220}}{1} = e^{-6{,}6\,.\,10^{-6}} = 0{,}99999$$

Dus bij de elastische deformatie blijken de maximale amplituden der punten, aan het begin en het einde der boorstang, nagenoeg aan elkaar gelijk te zijn. Daar de maximale uitwijkingen echter evenredig zijn met de maxima der impulsen, zijn dus ook deze impulsmaxima aan het begin en het einde der boorstang nagenoeg aan elkaar gelijk.
Het energieverlies t.g.v. de elastische deformatie is dus van zoo geringe orde van grootte t.o.v. de totale slagenergie, dat dit energieverlies voor de berekening van de belasting der snede tijdens de slag verwaarloosd kan worden.
Het verkregen resultaat is in overeenstemming met de waarnemingen, welke men in de praktijk van het slaand boren doet. Indien n.l. een boorgat is afgeboord blijkt het materiaal der boorstang slechts aan en in de onmiddellijke omgeving van de snede zoodanig in temperatuur te zijn gestegen, dat de boorstang daar ter plaatse niet met de hand kan worden aangeraakt. Deze temperatuursverhooging moet geweten worden aan de wrijvingswarmte,
Het overige gedeelte der boorstang echter, dat niet aan uitwendige wrijving, doch wel aan de longitudinale elastische trillingen is onderworpen, blijkt bij aanraking met de hand, niet beduidend in temperatuur te zijn gestegen.

BIJLAGE II.

In een harde (kwartsitische) zandsteen, werden 4 gaten geboord met kruissneden van koolstofstaal, en 4 gaten met kruissneden van hardmetaal. De diepte van deze boorgaten bedroeg slechts 16 cm, daar op deze diepte de sneden van koolstofstaal reeds zoodanig waren afgestompt, dat deze opnieuw moesten worden opgemaakt.

Het boormeel van deze boorgaten werd opgevangen en afgezeefd in 3 zeefklassen. De gewichtspercentages van deze 3 fracties zijn in onderstaande tabel vermeld:

Korrelgrootte in mm.	Gewichtspercentage	
	+ snede van hardmetaal	+ snede van koolst. staal
> 1	20	4
1 — 0,105	44	35
< 0,105	36	61

Hieruit blijkt, dat de gemiddelde korrelgrootte van het boormeel, verkregen met sneden van koolstofstaal, kleiner is dan die van het boormeel verkregen met sneden van hardmetaal, hetgeen geweten moet worden aan het feit, dat de sneden van koolstof-staal sneller afstompen.

Naarmate het gesteente zachter is en de snede van koolstofstaal minder aan slijtage onderhevig is, wordt het verschil in gemiddelde korrelgrootte tussen het boormeel, verkregen met sneden van koolstofstaal en het boormeel, verkregen met sneden van hardmetaal, natuurlijk steeds geringer.

Summary

Detachable drilling bits for pneumatic percussion drilling, with cutting edges of cemented tungsten carbide, were already before World War II used in many coal mines of the West European Continent on a larger scale for rock-drilling purposes.

About the effect of the cutting edge on the rock, as result of the shock, there exist several hypothesis, of which the hypothesis of Müller, of Hatfield and of Grenon are specially viewed. In the opinion of the writer, the hypothesis of Grenon is the most exact.

The writer made experiments in carbonic sandstones, sandy shales and in shales of the State Mine "Hendrik" in the South-Limburg mining district (Netherlands), using a hand-drill with a weight of 18 kilos, weight of the piston 2 kilos, number of blows 1700 to 1800 per min., with 2,20 m. long drills and detachable bits with tungsten carbide cutting edges (width about 38 mm., cutting edge 110°) of the single chisel type. Air pressure varied between 5 and 6 kilos/cm^2.

The holes drilled with the single chisel type bit, showed a transverse section with a diameter which was only little larger than the width of the cutting edges. The deviations in the shape of the transverse sections were of such little magnitude, that they could be neglected, just as the longitudinal deviations of the holes.

As result of these observations, two equations were derived to calculate the most proper width of the cutting edges (Chapter VI eqs 2 and 3).

The net drilling speed obtained with single chisel type cutting edges, is faster than those obtained with 4-bladed bits, a fact, already described by Müller & Duch and by Weddige.

In Chapter VII is derived, that this is due to the fact, that the impact-energy is applied more efficiently by the single chisel type, as compared with the 4-bladed bit: the average diameter of the grain, obtained with the single chisel type being larger.

There is a correlation, between the compression strength of the carbonic rocks of the South-Limburg mining district, and the net drilling speeds obtained in these rocks (as shown in graph. 2), as well as there exists a correlation between the hardness of the rocks (expressed in shore-units) and the net drilling speed (as shown in graph. 3).

There occured much damages of the cemented carbide cutting edges, while drilling with single chisel bits in a sandstone of great hardness (103 shore-units and more). The number of these damages was considerably less, if 4-bladed bits were used. In Chapter IX is calculated, that these destructions are due to the fact, that the maximum admissible shearing stress of the cemented carbide was

surpassed by the shocks of the piston, while drilling with single chisel bits in those very hard rocks.

The relation between the force with which the drill is pressed against the rock, the net drilling speed and the number of rotations of the rock-drills, was determined experimentally (graph. 5, 6 and 7).

An equation for the minimum force, with which the drill has to be pressed against the rock, to obtain any progress of the bit, is derived in Chapter X (eq 1).

Graph. 8 gives the curves, indicating the relation between the hardness of the rock and the net drilling speed, for wet drilling, and for dry drilling with spiral drills. In rocks of low and medium hardness, better results are obtained with wet drilling (better evacuation of the drillings), in hard rocks, dry drilling gives better results (less abrasion of the cutting edges).

LITERATUUR

1) Fritzsche. C. H.: Bergbaukunde. Begründet von F. Heise und F. Herbst. Erster Band. Blz. 222-223. Berlin 1942.

2) Elster. G.: Anforderungen des Bergbaus an die Werkstoffe von Bohr- und Abbauhämmern. Glückauf **64** 73-79. 1928.

3) Grenon. A.: Perforation mécanique et abatage des roches en travaux publics, mines, carrières. Paris 1933. Librairie de l'enseignement technique. Edit. Léon Eyrolles.

4) Feustel. K.: Über gesteinbohrer und deren Einflusz auf Leistung und Wirtschaftlichkeit des Bohrbetriebes. Druckluft **1.** 37-48. en **1.** 152-157. 1934.

5) Meebold. R.: Schmiedefehler an Schlangenbohrer. Glückauf **68** 319-322. 1932.

6) Sanderson. L.: Drill steels and drills. Their use and treatment. Colliery Engeneering **16** 296, 350, 382 (1939).

7) Vial. L.: Essais de perforation mécanique. Revue de l'industrie minérale. Oct. 1939.

8) Mosier. Mc. Henry.: Progress report no. 2 on investigations of detachable rockdrill bits. Bureau of Mines I.C. no. 6911. Nov. 1936.

9) Amman. E.: Die Entwicklung und technische Bedeutung der Hartmetalle. Zeitschr. für Techn. Physik **21** 332-335. 1940.

10) Zeyen. K. L.: Anwendung der Auftragschweiszung für Ausbesserungsarbeiten und für Neufertigung. Krupp techn. Berichte **7.** 21-24. 1939.

11) Dawihl. W.: Die Entwicklung der Hartmetallegierungen unter Berücksichtigung der neuesten Forschungsergebnisse. Techn. Blätter **31.** 67-68. 1941.

12) Dawihl. W.: Der Einflusz von Diffusion und Legierungsbildung auf die Verschleiszfestigkeit von Hartmetallegierungen. Zeitschr. für techn. Physik **21.** 44-48. 1940.

13) Kalpers. H.: Hartmetalle. Der Bergbau **55.** 215-222. 1942.

14) Hoyt. S. L.: Trans. Am. Inst. Min. Met. Eng. 1930 blz. 9.

15) Comstock. G. J.: Trans. Am. Soc. Steel Treating **18** 993. 1930.

16) Dawihl. W.: Eigenschaften von Hartmetallegierungen. Stahl und Eisen **27** 210-213. 1941.

17) Müller. O.: Schlagendes Hartmetallbohren. Der Bergbau vereinigt mit Kohle und Erz **55.** 255-262. 1942.

18) Raedts. C., Dirkse. Ph., Knoups. J., Matla, W.: Boren met Widia. Meded. Stoflaboratorium van de Ned. Steenkolenmijnen nr. 55. 24 Dec. 1940.

19) Kalpers. H.: Das Bestücken von Hartmetall-Bergbauwerkzeugen. Der Bergbau **54,** 283. 1941. (Zie ook 13).

20) Herbst. F.: Gesteinsbohren mit Stahl- und Hartmetallschneiden. Metall und Erz **39.** 287-292. 1942.

21) Jeschke. H.: Über die Verwendung von Hartmetallen zum Schlagenden Gesteinbohren untertage. Glückauf **77.** 570-574. 1940.

22) Hensoldt. E.: Hartmetallbohrkunde des Steinbruchs. Berlin 1941 (blz. 82).

23) Müller. E.: Erfahrungen mit Hartmetall-Schlagbohrern. Glückauf **77.** 565-570. 1941.

24) Müller. O.: Schlagendes Bohren mit Hartmetallschneiden. Techn. Mitt. Krupp Techn. Ber. April 1942 Heft 1.

25) Ölsner. H.: Rationelles Niederbringen von Sprenglöchern in Hartgestein. Diss. Breslau 1926.

26) Müller. O. und Duch. R.: Einflusz der Bohrschneidenform auf die Korngrösze des Bohrmehls. Glückauf **70.** 88-90. 1934.

27) Elster. G.: Untersuchungen über Härte und Festigkeit von Gesteinen. Glückauf **64.** 279-280. 1928.

28) Lares. H.: Zur Frage der genaueren Berechnung bergmännischer Sprengladungen. Zeitschrift für das gesammte Schiesz- und Sprengstoffwesen **28.** 149-150. 1933.

29) Kegel: Bergmännische Gebirgsmechanik. Verlag von Wilhelm Knapp Halle (Saar) 1942.

30) ontleend aan: Hensoldt 22) blz. 78.

31) ontleend aan: Lares 28).

32) Müller. O.: Kali Erz und Kohle **30.** 71. 1933.

33) Adams. F. D. and Bancroft. J. A.: Experimental investigation into the action of differential pressure. Journ. Geol. Vol. 18. 1911.

34) v. Karman. Th.: Festigkeitsversuche unter allseitigem Druck. Zeitschr. Ver. Deutscher Ing. **55.** 1911.

35) Böker. R.: Die Mechanik der bleibenden Formänderung in kristallinisch afgebauten Körper. Fortschr. a. d. Gebiet des Ingenieurswesens Ver. Deutscher Ing. 1915. H. 175-176.

36) Kienow. S.: Der Zusammenhang zwischen Spannung und Verformung bei tektonischer Vorgängen. Zeitschr. für Geophysik **9.** 1933.

37) Hatfield. W. H.: Drill steels for mining purposes. The Colliery Guardian vol. CXLVI 767-770. 1933.

38) Ros. M. und Eichinger: Versuche zur Klärung der Bruchgefahr. Diskussionsbericht nr. 28. Eidgenossische Materialprüfungsanstalt an der E.T.H. in Zürich. Zürich Juni 1928.

39) Briggs: Percussive drilling bits. Colliery Eng. blz. 95. 1927.

40) Müller. O. und Wohlbier. H.: Einfluss der Bohrschneideform auf die Gestalt des Bohrloches. Glückauf **69.** 706-708. 1933.

41) Bammer. G.: Schlagendes Bohren mit Hartmetall. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte **89.** 106. 1941.

42) Weddige. A.: Zweckmässige Bewirtschaftung der Gesteinsbohrer im Steinkohlenbergbau. Glückauf **71.** 341-343. 1935.

43) Leibold. Th.: Einsatzcontrolle der Hartmetallschlagbohrer auf der Schachtanlage Graf Schwerin. Glückauf **79.** 582-584. 1943.

44) Bertl. E. und Kirnbauer. F.: Hartmetall-Schlagbohrschneiden Bauart Bertl. Glückauf **78.** 141. 1942.

45) Zie 22) blz. 63.

46) Perthen. J.: Indizieren von Drucklufthämmern. Zeitschr. des Ver. Deutscher Ing. **87.** 715-718. 1943.

47) Hoffmann. H.: Lehrbuch der Bergwerksmaschinen. 3e auflage Berlin 1941. abb. 500.

48) Hütte: 25e Auflage Berlin 1925. Bnd. I blz. 582.

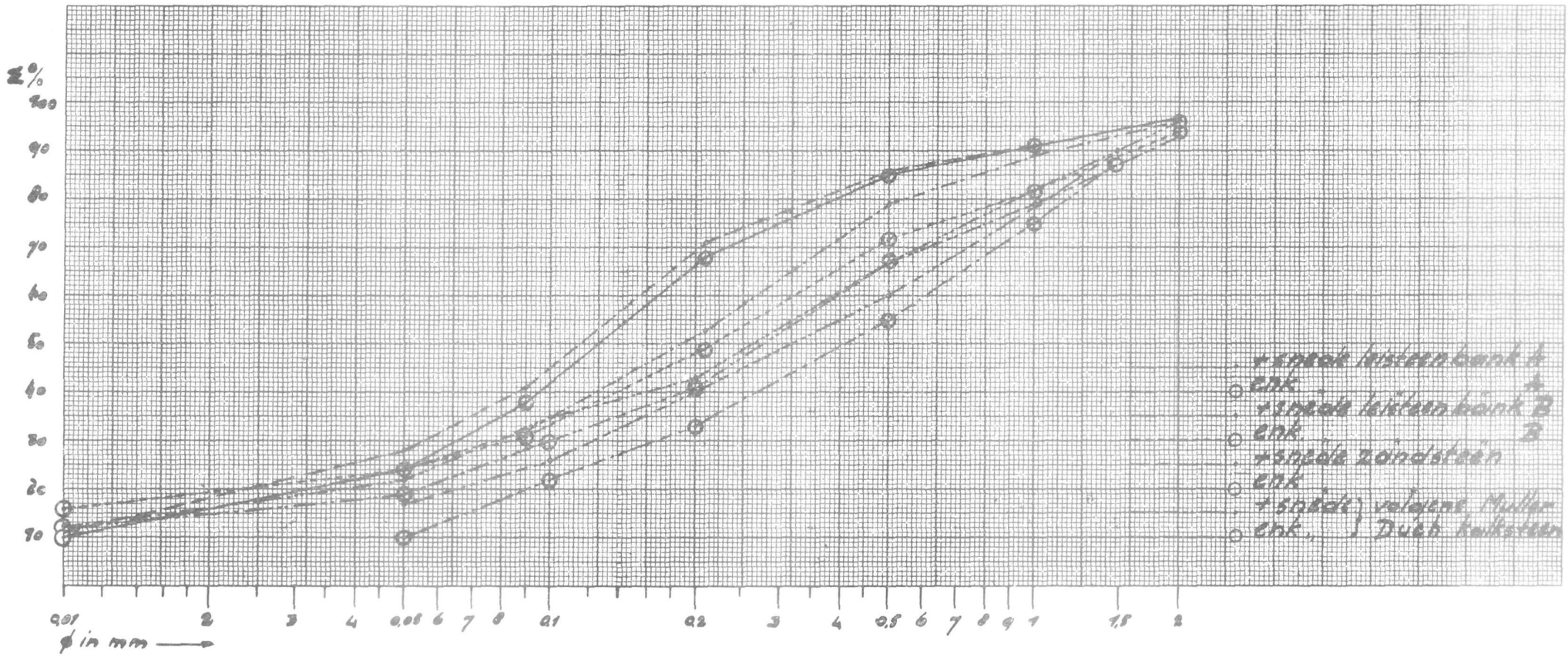
49) Mededeeling verstrekt door Ir. A. W. Tondu.

50) Matla. W.: Analyse van gesteente en stof. Mededeeling nr. 59 van het Stoflaboratorium van de Nederl. Steenkolenmijnen. 6 Juni 1941.

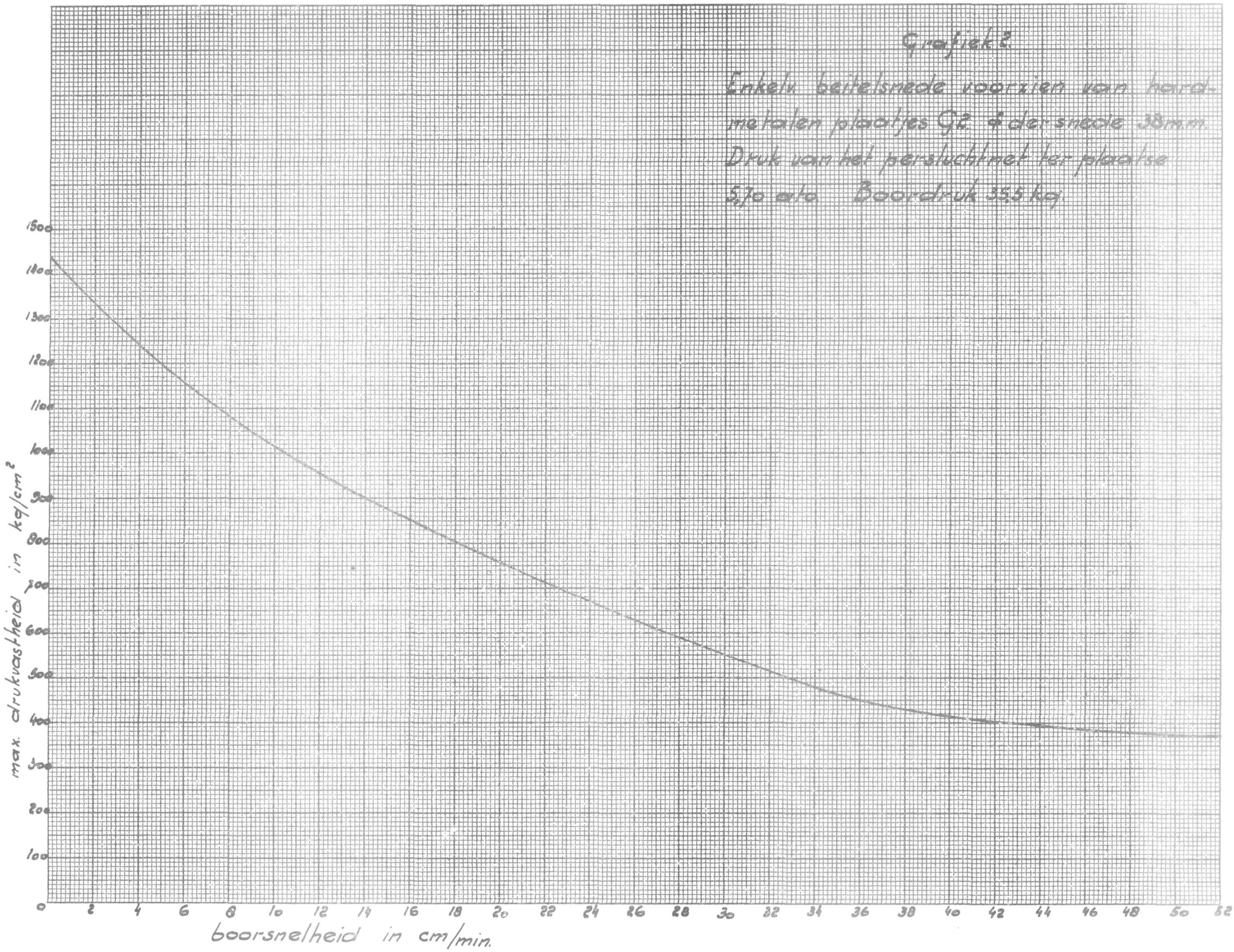
51) Snoek. J. L.: Over de inwendige demping van vaste stoffen. Nederlandsch tijdschr. voor natuurkunde. **7.** 133-146. 1943.

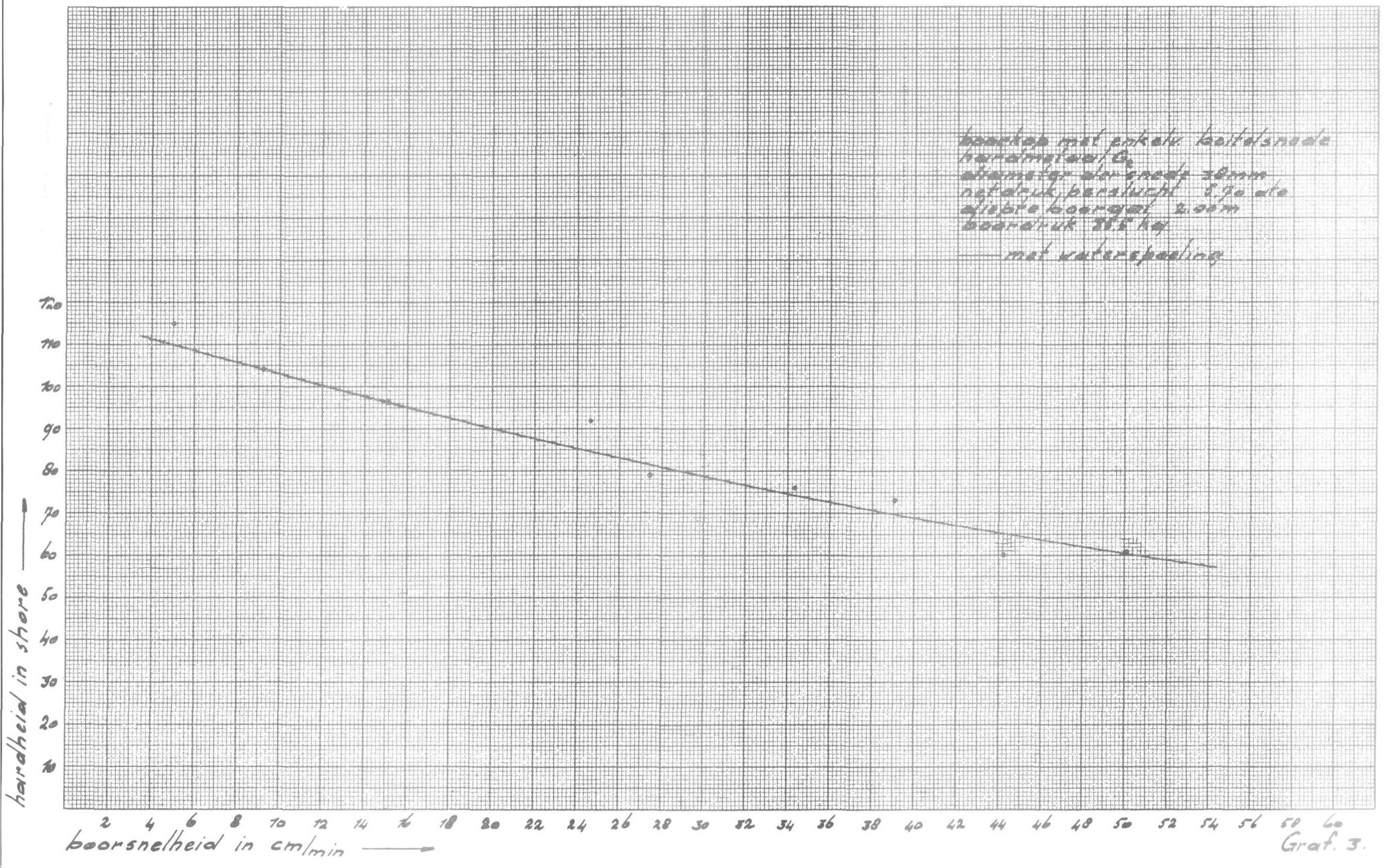
52) Hertz. H.: Über die Beruehrung fester elastischer Koerper. Journal für die reine- und angewandte Mathematik (Crelle's Journal) 1882. 92e Bnd.

53) Timoshenko. S.: Theory of Elasticity. Mc. Graw-Hill Book Company. New York and London. 1934.

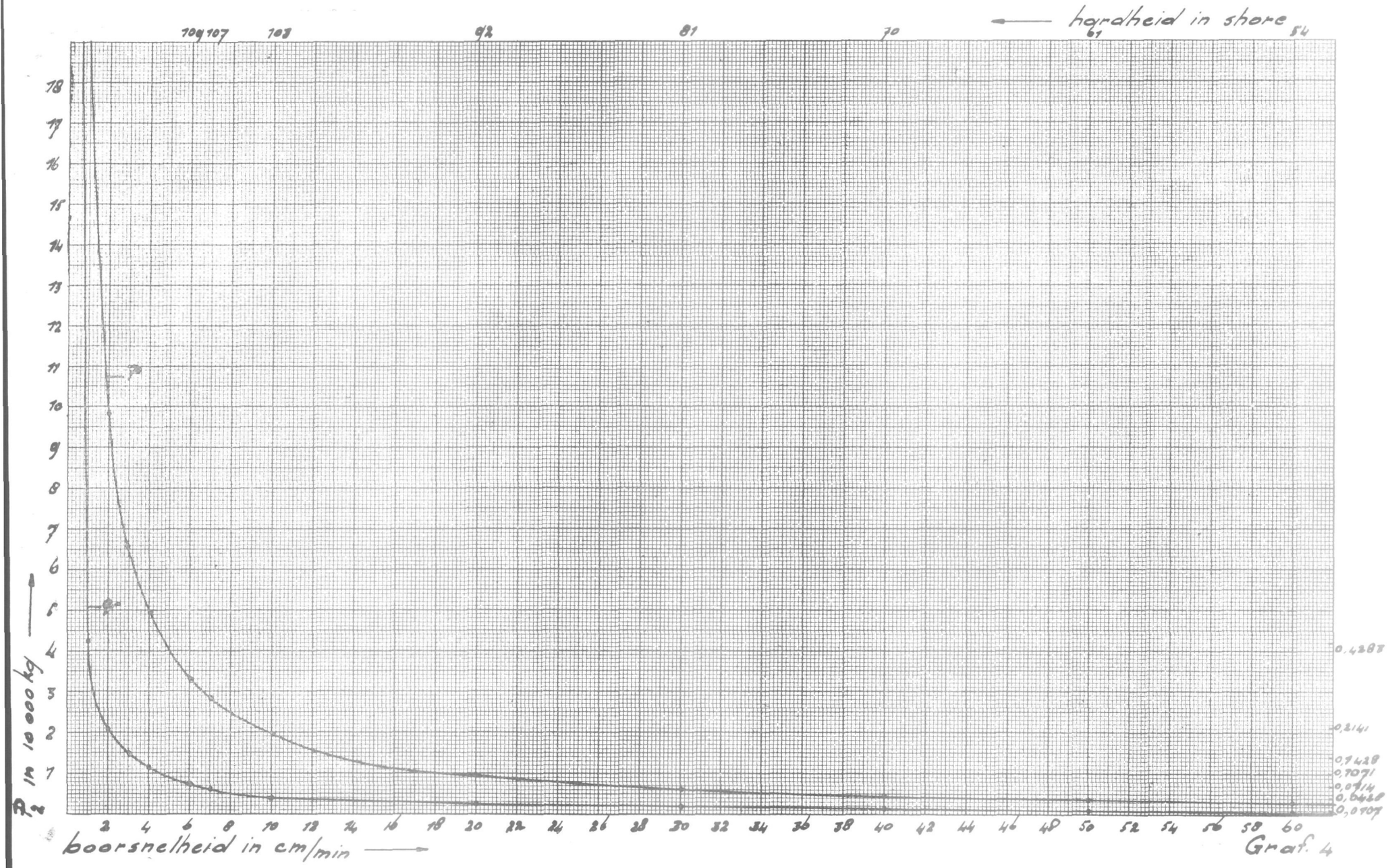

Σ %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0,01
2
3
4
0,05
6
7
8
0,1
0,2
3
4
0,5
6
7
8
9
1
1,5
2
ϕ in mm
+ snede leistenbank A
○ ink
+ snede leistenbank B
○ ink
+ snede zündstein
○ ink
+ snede } volgens Müller
○ ink. } Duch kalkstein

Graf. 1

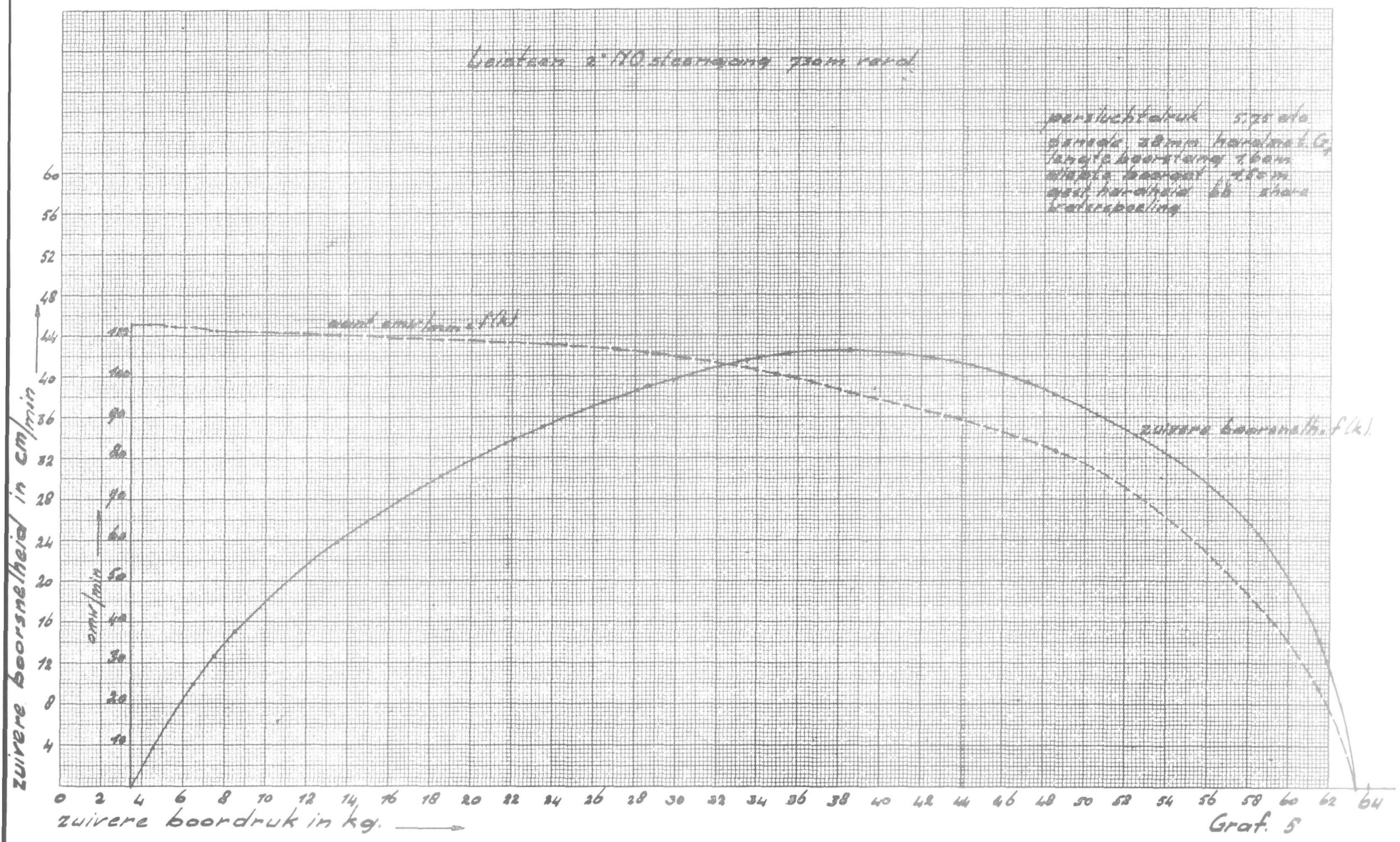

Grafiek 2
Enkele beitelsnede voorzien van hard-metalen plaatjes Q2 ø der snede 38 m.m.
Druk van het persluchtnet ter plaatse 5,7 atü Boordruk 355 kg
max. drukvastheid in kg/cm²
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
32
34
36
38
40
42
44
46
48
50
52
boorsnelheid in cm/min.


boortop met enkele kaltelsnede
hardmetaal G
diameter doorsnede 38mm
netdruk perslucht 7,70 ato
gliste boorgat 2,00m
boordruk 38,5 kg
——— met waterspoeling
hardheid in shore
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48 50 52 54 56 58 60
boorsnelheid in cm/min

Graf. 3.

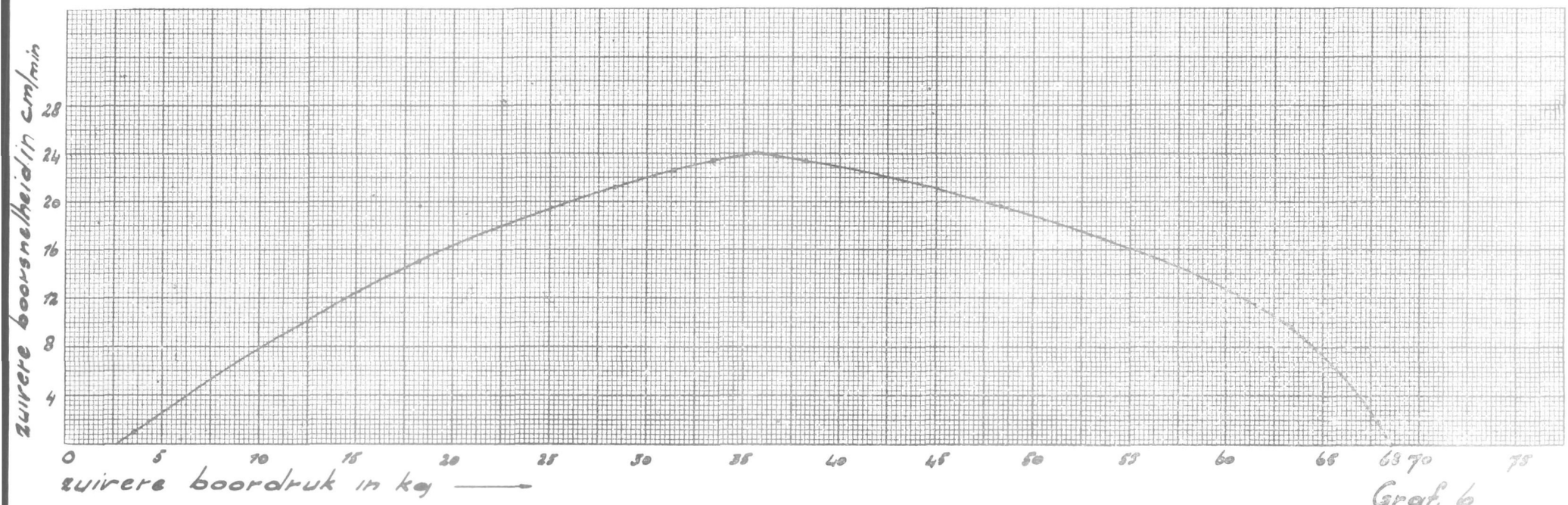

hardheid in shore
109 107 103 92 81 70 61 54
F_z in 10 000 kg
boorsnelheid in cm/min
0,4288
0,2141
0,1428
0,1071
0,0714
0,0428
0,0107

Graf. 4


Leistaan 2" 110 slagmaal 730 m rond.
perslucht druk 5,75 atm
diameter 28 mm hardmat. G.
handbeweging 1 bem.
slagte beweg. 210 m
gesl. hardheid 66 shore
waterspoeling
zuivere boorsnelheid in cm/min
zuivere boorsnelh. f(k)
zuivere boordruk in kg.
Graf. 5

Harde zandsteen 1e Z.O. steengang 730 m. verd.

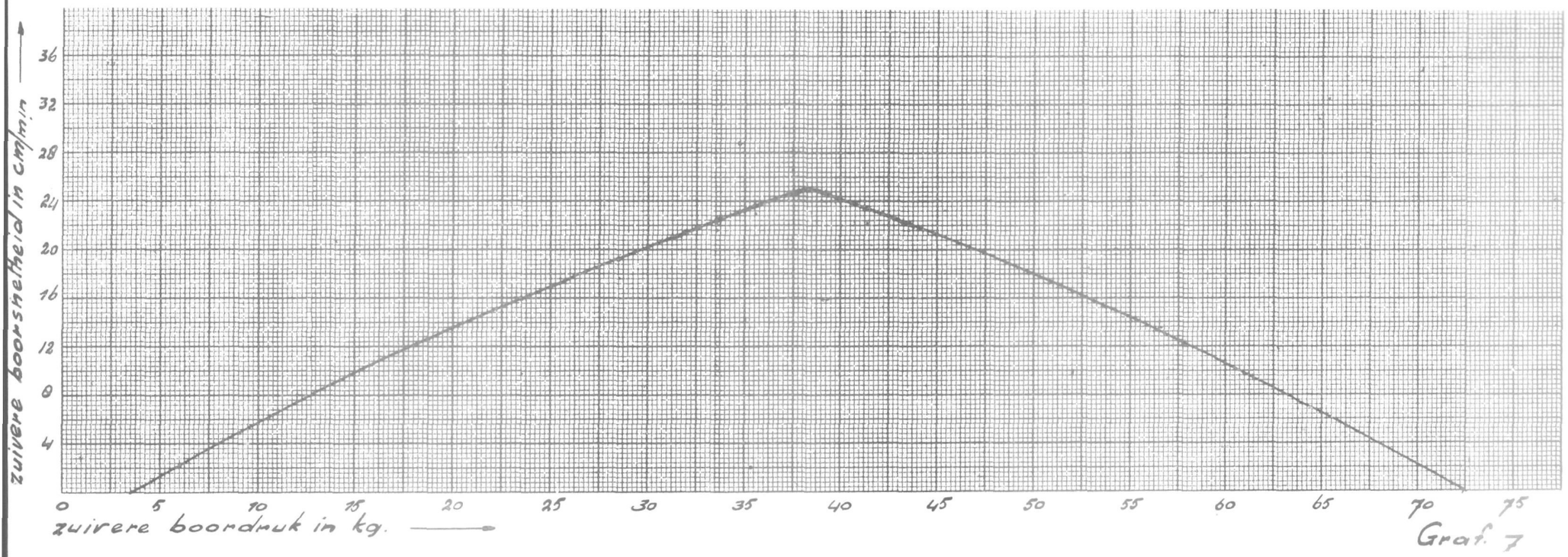
persluchtdruk 5.45 ato.
Ø snede 38 mm. hardmet. G_1
lengte boorstang 1.60 m.
diepte boorgat 1.50 m.
gest. hardheid 87 shore
waterspoeling



Graf. 6

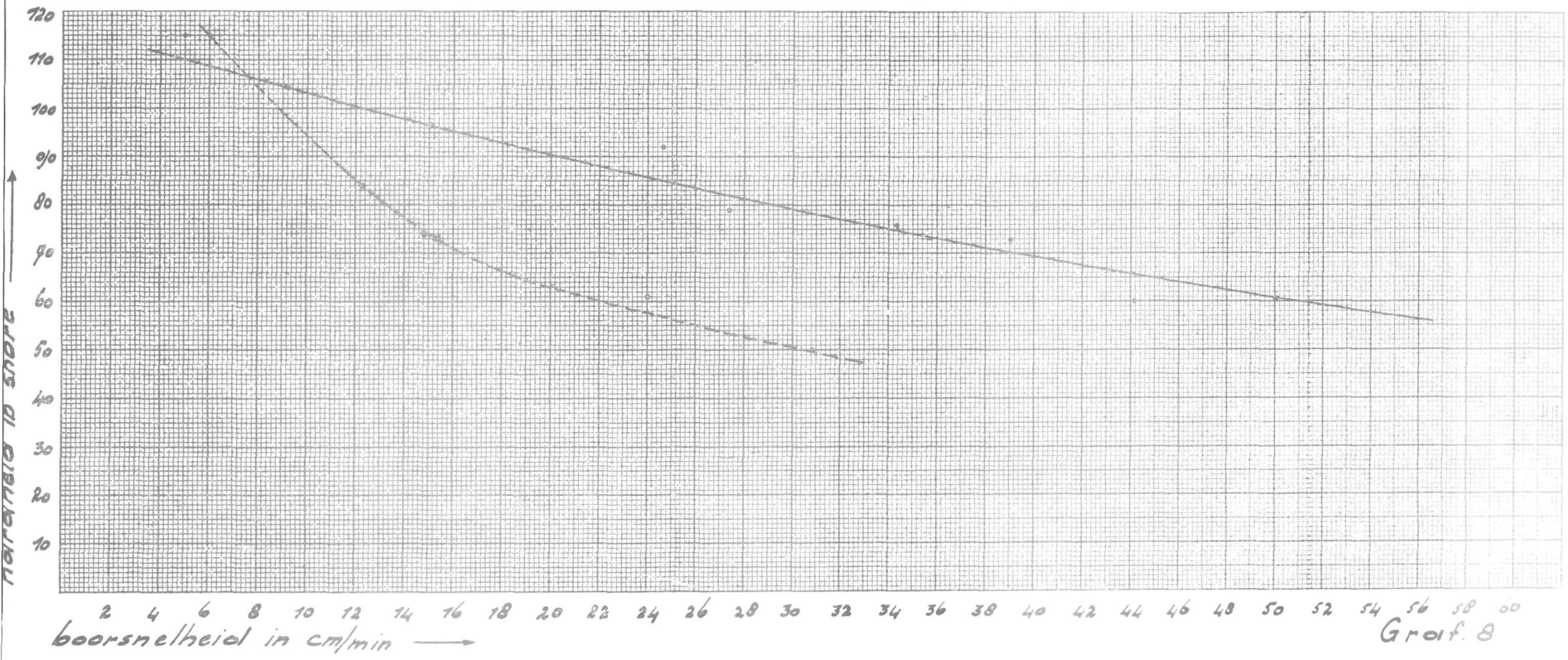
Zandsteen 1e Z.O. luchtsteengang 537 m. verd.

persluchtdruk 5.70 ato.
Ø snede 38 mm hardmet. G,
lengte boorstang 1.60 m
diepte boorgat 1.50 m
gest. hardheid 84 shore
waterspoeling



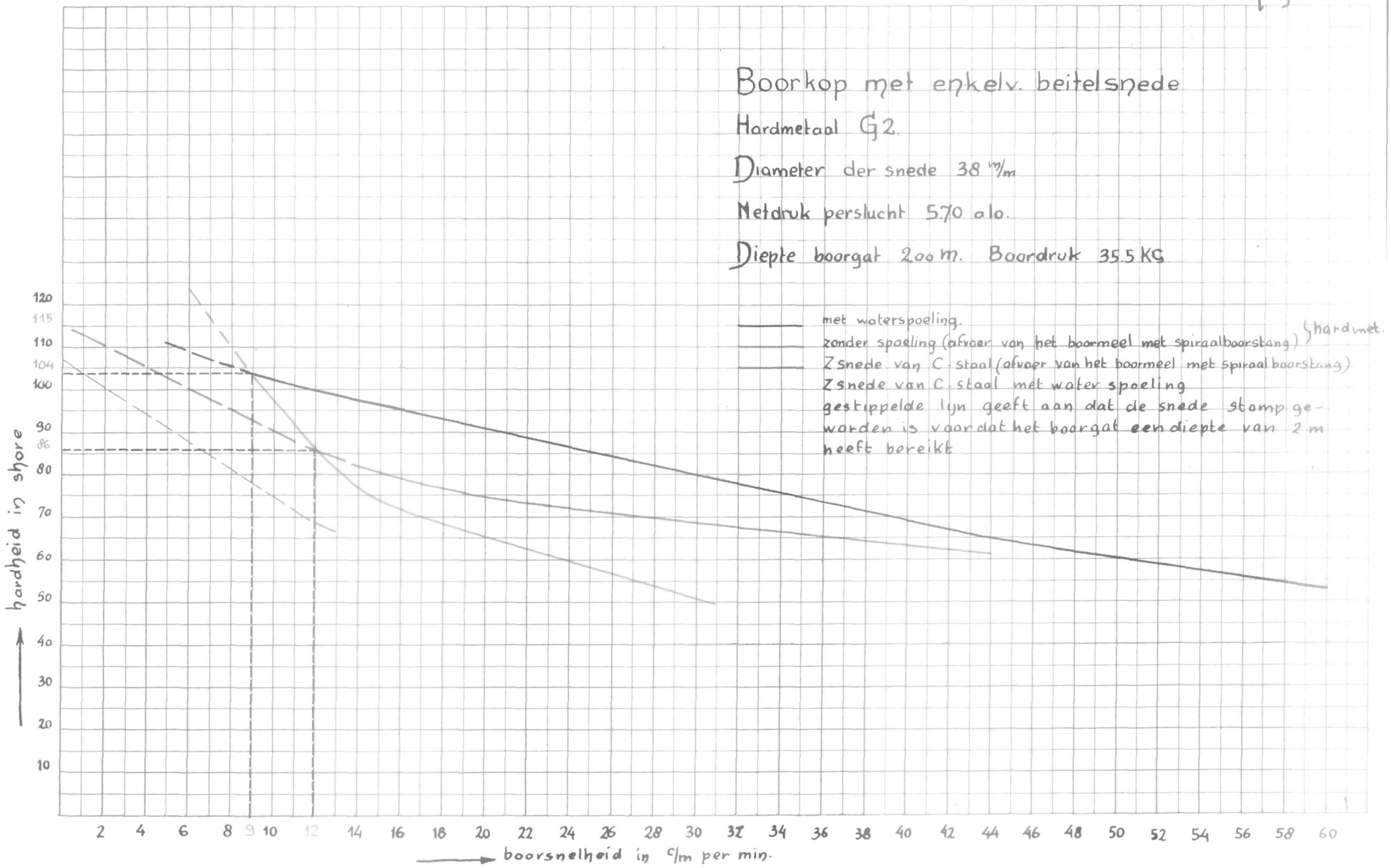
Graf. 7

boorkop met enkelv. beitelsnede
hardmetaal G_2
diameter der snede 38 mm.
netdruk perslucht 5.70 ato.
diepte boorgat 2.00 m
boordruk 35,5 kg
——— met waterspoeling
..... zonder spoeling. Afvoer van het boormeel met spiraalboorstang.



Grafiek 8

Graf. 9.


Boorkop met enkelv. beitelsnede
Hardmetaal G2.
Diameter der snede 38 m/m
Netdruk perslucht 5.70 alo.
Diepte boorgat 200 m. Boordruk 35.5 KG
met waterspoeling.
zonder spoeling (afvoer van het boormeel met spiraalboorstang) } hardmet.
Z snede van C. staal (afvoer van het boormeel met spiraal boorstang)
Z snede van C. staal met water spoeling
gestippelde lijn geeft aan dat de snede stomp geworden is voordat het boorgat een diepte van 2 m heeft bereikt
hardheid in shore
120
115
110
104
100
90
86
80
70
60
50
40
30
20
10
2 4 6 8 9 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48 50 52 54 56 58 60
boorsnelheid in c/m per min.

Stellingen

1) Bij de berekening van de stookwaarde van steenkolen wordt meestal uitgegaan van het watergehalte en het aschgehalte (gloeirest) der kool. Juister is, om uit te gaan van het watergehalte en het gehalte aan anorganische bestanddeelen.

2) Bij de berekening van het percentage aan vluchtige bestanddeelen van „reinkool" wordt meestal uitgegaan van het watergehalte en het aschgehalte van de ongewasschen kool, waarbij gebruik wordt gemaakt van de formule:

$$V_r = \frac{100\ V}{100 - A - W}$$

Op deze wijze worden uitkomsten verkregen, die onjuist zijn.

3) De theorie der „Deckenbiegung" van Kegel is niet juist.

Kegel: Berg- und Aufbereitungstechnik.
Band III: Geologische und technologische Grundlagen des Bergbaues.
Teil 2 : Bergmännische Gebirgsmechanik.
Verlag von Wilhelm Knapp, Halle (Saale) 1942.

4) Bij het drijven van steengangen verdient het aanbeveling, om overal, waar zulks zonder bezwaren mogelijk is, de afslag „uit het volle" te schieten.

5) De gegevens op blz. 16 en 17 van het 25th. Annuel Report (1946) van de Safety in Mines Research Board gegeven, zijn niet alleen van zeer betrekkelijke waarde, doch kunnen tevens aanleiding zijn tot misvattingen van de lezers, welke hoogst gevaarlijk zijn.

6) De wijze, waarop Stoces en Cernik het temperatuursverloop van de ventilatie-lucht in een natte steengang berekenen, is niet juist en voert dan ook tot onjuiste resultaten.

B. Stoces und B. Cernik:
Bekämpfung hoher Grubentemperaturen.
pg. 119 e.v. Verlag Julius Springer, Berlin.

7) Ter voorkoming van silicose in steenkoolbedrijven is behalve stofbestrijding in het steenwerk ook stofbestrijding in de kolen-afdelingen noodzakelijk.

8) De mindere stofontwikkeling, welke bij het boren van ondiepe boorgaten voor schietdoeleinden in gesteente wordt verkregen met draaiend boren in vergelijking met slaand boren, is niet het gevolg van de vorming van grover boormeel bij draaiend boren.

9) In artikel 200 lid 2 en 4 van het Mijnreglement 1939 wordt een onjuiste maatstaf aangenomen, om het ondergrondsch werkende personeel tegen den nadeeligen invloed van ongunstige atmosferische toestanden te beschermen.

10) De afkoeling van den gesteente-mantel om holruimten, welke in een gesteente worden gemaakt, geschiedt in een zoodanig tempo, dat bij de aanleg van nieuwe verdiepingen in diepe steenkoolmijnen geen rekening behoeft te worden gehouden met een eventueelen termijn benoodigd voor de afkoeling van den gesteentemantel, alvorens de koolwinning op die nieuwe verdiepingen een aanvang kan nemen.

11) De mogelijkheid tot mechanisatie van de koolwinning van steenkoollagen, welke door geologische verschuivingen veelvuldig en sterk gestoord zijn, zal eerder gezocht moeten worden in de richting van afbouw volgens de methode van korte werkfronten met de daarvoor geschikte machines (b.v. short-wallcutters, duckbills en roteerende boormachines) dan volgens de methode van lange werkfronten met de voor die methode geschikte machines (b.v. kolenschaaf, krabbakken, zelfladende snijmachines enz.).

12) Het is mogelijk langs kolenpetrografische weg (door vergelijking van donkere toppen in de procentgetalprofielen) kolenlagen te paralleliseeren mits:

1) het punt, waar het monster voor de parallelisatie der te determineeren koollaag wordt genomen, op niet te groote afstand ligt van de punten, waar men de monsters der bekende kolenlagen nam, waarmede men de eerstgenoemde monsters wil vergelijken.

2) monsters, welke wijzen op sterke variaties tijdens de veenvorming (b.v. door „verdrinken" van het veen met de daarop volgende sedimentatie van anorganisch materiaal) of op sterke plaatselijke veranderingen t.g. van tectonische oorzaken (b.v. vergleden kool) buiten beschouwing worden gelaten.

P. A. Hacquébard: Kolenpetrografische Studieën. Meded. v. d. Geol. Stichting Serie C-III-2 No. 1.

A. L. F. J. Maurenbrecher: Kolenpetrografische Studieën. Meded. v. d. Geol. Stichting Serie C-III-2 No. 2.

13) Bruinkool, zooals deze in den bodem van Zuid-Limburg wordt gevonden, is concessibel in de zin van de Mijnwet van 21 April 1810.

14) De redactie van artikel 87b sub e van de Ongevallenwet 1921 behoeft uitbreiding en verbetering.

15) Indien men met een thermometer de temperatuur meet van verzadigde stoom, welke door een stoomleiding wordt gevoerd, vindt men soms temperaturen, welke hooger zijn dan met de gemeten druk van die verzadigde stoom overeenkomt. De grootte der meetfout neemt dan toe met de stoomsnelheid.