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

INGEOKRING NIEUWSBRIEF

september 1983

NIEUWSBRIEF INGEOKRING

september 1983

Inhoud:

	pag.
Van de redaktie	2
Nieuws van de Ingeokring	2
Jaarverslag	3
Geologische konstruktiematerialen	5
Het gebruik van breuksteen in de waterbouw - ir. W. Bandsma	6
Het gebruik van natuursteen in de wegenbouw - ir. J.P.J. van der Heide	14
Crushing - J. Harrison	17
Gesteentemechanische en ingenieursgeologische eigenschappen van de Limburgse kalksteen - Arjan Venmans	31

Nieuwsbrief van de Ingenieurs-
Geologische Kring
Redaktie:

Drs. Peter N.W. Verhoef
Afdeling der Mijnbouwkunde, THD
Sektie Ingenieursgeologie
Mijnbouwstraat 120
Postbus 5028
2600 GA DELFT
tel.: 015-78.2543

Van de redaktie

Het tweede nummer van de Nieuwsbrief 1983 komt enkele maanden later dan beloofd. Dit vindt vooral zijn oorzaak in het feit, dat in de zomer (waarin de meesten vakantie houden) dé grote werkpiek voor geologen optreedt. Het volgende nummer hopen wij in januari 1984 uit te laten komen. Uw copy kunt u tot december opsturen.

Peter N.W. Verhoef

Nieuws van de Ingeokring

Op 4 november a.s. vindt weer een themadag plaats:
"Opslagmogelijkheden in zout".
De dag wordt gehouden bij AKZO in Hengelo. Nadere informatie volgt via een rondzendbrief. Eventueel kunt u inlichtingen over deze dag inwinnen bij de sekretaris: R. Haakmeester, tel.: 085-778911.

JAARVERSLAG 1982

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

Bestuur

In 1982 was het bestuur van de Ingeokring als volgt samengesteld:

Dr. E. Oele	- Voorzitter
Drs. R. Haakmeester	- Secretaris
Ing. H. Wiegers	- Penningmeester en secretaris I.A.E.G.
Prof. D.G. Price	- Vertegenwoordiger afd. Mijnbouwkunde van de T.H.D.
Drs. J.E. Hageman	- Vertegenwoordiger aannemerij
Prof.Ir. H.P.S. van Lohuizen	- Vertegenwoordiger afd. Civiele Techniek van de T.H.D.
Dr. N. Rengers	- Vertegenwoordiger I.S.R.M.

Sinds oktober 1982 treedt de Ingeokring eveneens op als "National Group" van de International Society for Rock Mechanics (I.S.R.M.). Dr. N. Rengers (Wet. Hfd. medewerker van het I.T.C. te Enschede) die in oktober tot het bestuur is toegetreden zal in het bijzonder de I.S.R.M. aangelegenheden behartigen.

Lezingen en excursies

Op 14 mei is de themadag Technische en milieu-planologische aspecten van grindwinning op de grindexploitatie Bichtersweerd georganiseerd. Gastheer van deze geslaagde themadag was de Ballast Nedam Groep N.V. Ruim 40 belangstellenden woonden deze themadag bij. De lezingen over de regionale geologie, de opnametechnieken, de winning en exploitatie, het ontgrondingsbeleid en over de alternatieven voor zand en grind werden afgesloten met een rondleiding over de grindexploitatie.

Op 20 oktober is in samenwerking met de Sectie voor Grondmechanica en Funderingstechniek een themadag georganiseerd over "Grondmechanische en ingenieurs-geologische terreinverkenning". De lezingen in de ochtend gaven een overzicht van de mogelijkheden die de ingenieursgeoloog en de grondmechanicus ten dienste staan om in het terrein verkenningen uit te voeren naar grondsoorten, laagopbouw en geotechnische parameters. In de middag werden twee case histories beschreven, waarbij vooral de inbreng van de ingenieurs-geoloog respectievelijk de grondmechanicus werden belicht.
Deze themadag is door ca. 75 belangstellenden bijgewoond.

Leden

Het ledental van de Kring bedraagt per 1 maart 1983 149 leden. In totaal zijn er 65 lidmaatschappen van de I.A.E.G. en 6 van de I.S.R.M.

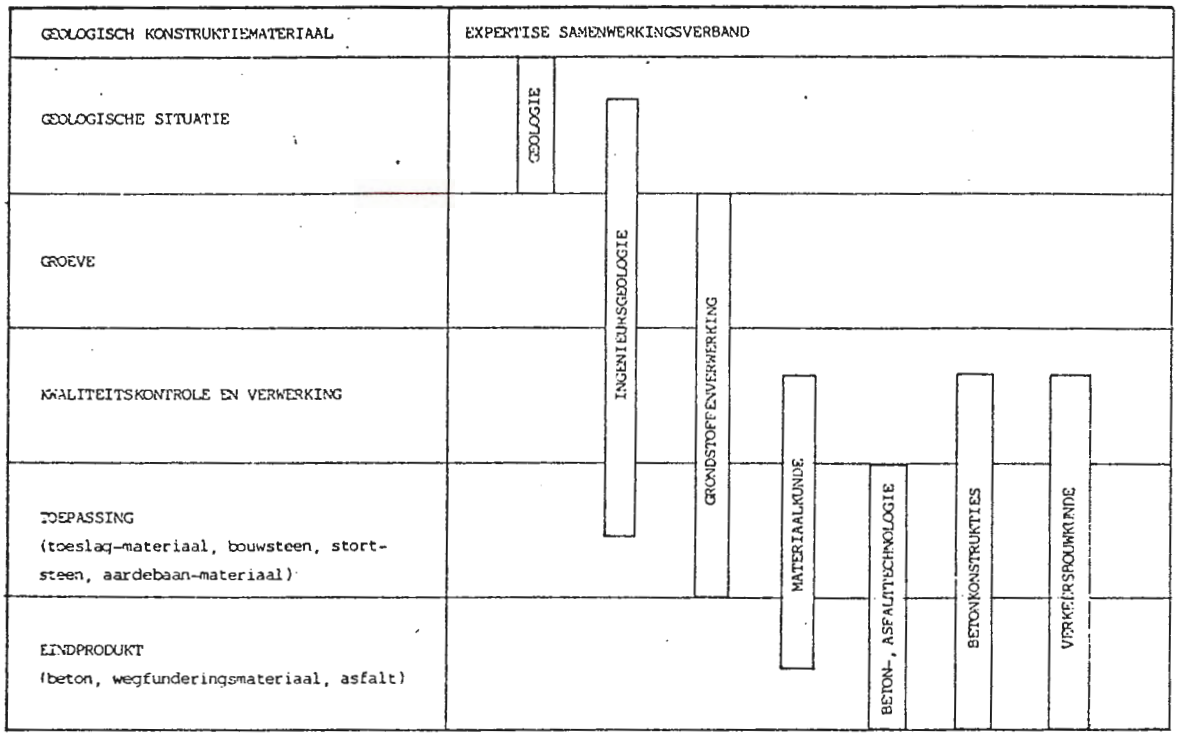
Nieuwsbrief

In 1982 is geen Nieuwsbrief verschenen, doordat de faciliteiten op de afd. Mijnbouwkunde ontbraken. De leden werden per brief op de hoogte gehouden van de door het bestuur ontplooide activiteiten met betrekking tot lezingen, excursies en themadagen.

Kas

Per 31 januari 1983 is de kas afgesloten met een batig saldo van *f* 1.568,96.

GEOLOGISCHE KONSTRUKTIEMATERIALEN



Geologische konstruktiematerialen

Enigszins verlaat wordt op de volgende pagina's de tekst gegeven van drie voordrachten, die op 9 december 1980 gehouden zijn. "Winning en gebruik van natuursteen in de civiele techniek" was de titel van de themadag van de kring. Ir. Bandsma (Rijkswaterstaat, Wegbouwkundige Dienst) behandelt de voorbereiding die nodig was voor de enorme hoeveelheden stortsteen, die nu dagelijks nog worden aangevoerd naar de Oosterscheldewerken. Ir. Van der Heide (V.B.W.) geeft een samenvatting van de eisen die aan natuursteen voor gebruik in de wegenbouw gesteld worden. Tenslotte volgt de tekst van de lezing van Mr. J. Harrison (product manager Parker Plant Ltd., Leicester, UK) over het breken van natuursteen.

Wat ons betreft, komt het wel goed uit dat pas nu de gelegenheid er is om deze teksten af te drukken. Het afgelopen akademisch jaar zijn er op de T.H.-Delft enkele besprekingen geweest om een samenwerkingsgroep op te richten die juist problemen op het gebied van geologische konstruktiematerialen wil onderzoeken. De groep bestaat uit een aantal sekties en vakgroepen van de Afdelingen Civiele Techniek en Mijnbouwkunde, namelijk: verkeersbouwkunde, betonkonstrukties, materiaalkunde, grondstoffenverwerking en ingenieursgeologie. Met behulp van de verspreide kennis die in deze groepen aanwezig is (zie de tabel) denken wij goed uitgerust te zijn om de meest uiteenlopende problemen in verband met geologische materialen uit te zoeken. Informatie over mogelijk onderzoek naar geologische konstruktiematerialen kunt u bij mij verkrijgen.

Peter N.W. Verhoef

Voorbereiding van technische voorschriften voor
het gebruik van breuksteen in de waterbouw.

ir. W. Bandsma

Samenvatting van een lezing, gehouden op 9 december 1980 op de Themadag "Winning en gebruik van natuursteen in de civiele techniek" voor de Ingenieurs-Geologische Kring,
door ir. W.Bandsma, Wegbouwkundige Dienst.

1. Inleiding

De Deltawerken in de Oosterschelde, en in het bijzonder de bouw van de Stormvloedkering daar, vormden zo'n 5 jaar geleden aanleiding tot de vorming van enkele werkgroepen om voor toe te passen materialen, waaronder breuksteen, bestaande eisen en voorschriften aan te passen, dan wel nieuwe te ontwikkelen. De bestaande eisen waren gebaseerd op vooral ervaring, omvatten sorteringen tot enkele honderden kilogrammen, en waren op een aantal punten hooguit bij kleine hoeveelheden kontroleerbaar.
Bij de voor de Stormvloedkering toe te passen breuksteen stond voorop, dat het eisenpakket haalbaar moest zijn voor de producent, eenduidig te kontroleren, duidelijke procedures moest krijgen, en daardoor een zo goed mogelijke garantie moest geven aan de ontwerpers, dat het geleverde materiaal in eigenschappen overeen zou komen met de uitgangspunten van hun geavanceerde ontwerptechnieken, en dit alles voor uiteindelijk zo'n 4 miljoen ton breuksteen tot maximaal 25 ton stukgewicht.
Het navolgende relaas zal, zij het niet uitputtend wegens het beperkte tijdsbestek, een aantal fasen, aspecten, en ervaringen bij deze ontwikkeling weergeven; als belangrijke overweging geldt, dat één en ander weliswaar geënt is op de Oosterscheldewerken, maar ook landelijk van belang èn bruikbaar is.

2. Fasen

Bij de ontwikkeling van eisen en voorschriften zijn globaal een aantal fasen te onderscheiden:
- inventarisatie en onderzoek
- vergelijking en overleg
- keuze van eisen en procedures
- invoering
- evaluatie.

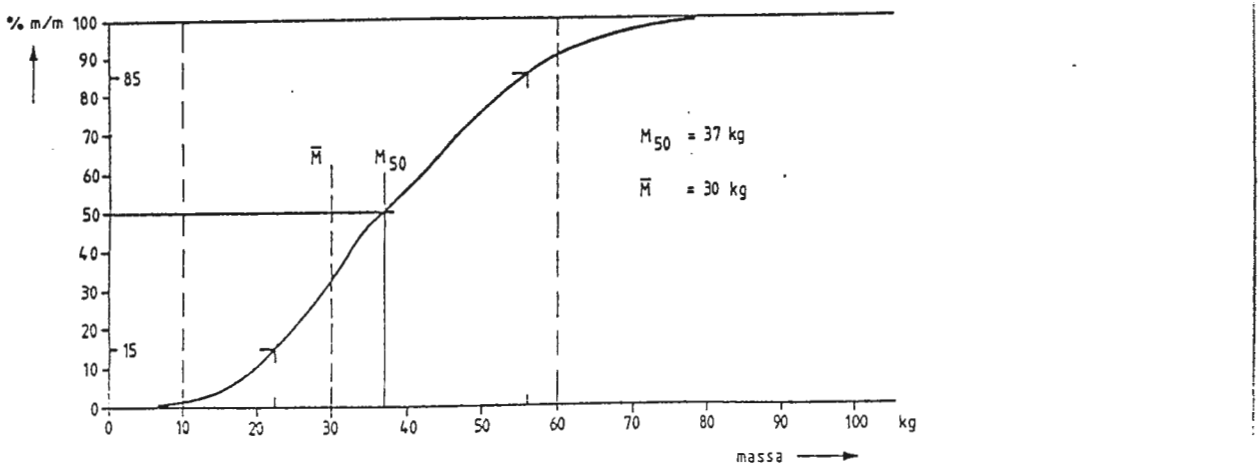
Dit onderscheid is mogelijk wat arbitrair, zo vindt er in elke fase terugkoppeling plaats. In elk van deze fasen heeft men te maken met een viertal groepen, te weten rond- ontwerp
- werk in uitvoering
- produktie
- kwaliteitszorg.

In zekere zin speelt een kwaliteitsadviseur hierin de rol van "tolk" tussen de verschillende groepen: wat de ontwerper wenst op grond van bijvoorbeeld modelonderzoek moet door de producenten te maken zijn, voor de uitvoerder een te verwerken materiaal opleveren, waarbij de keuringsinstantie de kwaliteit kan vaststellen en verzekeren, zonder dat dit werkstagnatie en andere technische/economische bezwaren oplevert.
Hierbij krijgt men te maken met de overgang van werken met materialen op basis van ervaring en gevoel naar toepassing uitgaande van onderzoek en het "harde" getal.

3. Ontwerp en uitvoering; eigenschappen van breuksteen

Bij het ontwerp van een konstruktie met breuksteen wordt door berekening en eventueel modelonderzoek nagegaan, of de konstruktie stabiel is ten opzichte van stroming en golfslag: de betreffende (empirische) formules bevatten dichtheid ρ, stukmassa M en stukdiameter D van de steen, en koëfficienten, waarin bijv. de vorm van de steen enigszins weergegeven wordt geacht.
In filterregels worden empirisch bepaalde verhoudingen vastgelegd tussen b.v. de "grotere" en de "kleinere" stukken in een sortering, D_{85} en D_{15}; hierdoor wordt de vorm van een korrel- of massa verdelingskromme min of meer bepaald (zie ook fig. 1).

figuur 1. Massaverdeling van een sortering 10 - 60 kg.



Bepaalde eigenschappen van breuksteensorteringen hangen samen met de uitvoering en het onderhoud, d.w.z. met de mogelijkheid met het materiaal de ontworpen konstruktie blijvend te realiseren zonder grote verliezen, stagnaties, risico's, e.d.
Hierbij kan het gewenst zijn, dat de steen "schoon" is (bijv. als met een asfaltprodukt ingegoten moet worden), dat deze niet te plat of te lang is (risico's van breuk, minder stabiele laag of te veel holle ruimte), dat er niet te extreem grote stukken in zitten (de laagdikte wordt te groot), dat er niet te veel gruis en scherven in zitten (materiaalverlies), dat geen snelle verwering of breuk optreedt, enz.

4. Relevante eigenschappen

Bovenstaande overwegingen leiden tot eisen aan de navolgende steeneigenschappen, die helaas (nog?) niet alle kwantitatief zijn:

- dichtheid ρ: bij hogere dichtheid is b.v. de weerstand tegen stroming beter, of kan een lichtere sortering worden gekozen;
- massa M, diameter D, en de verdeling: vanaf de sortering 5-40 kg wordt de massa-aanduiding toegepast, waarbij omzetten van massa -in korrelverdeling met enkele in de praktijk bepaalde formules kan worden uitgevoerd (aan de hand van de dikte/lengteverhouding bijv.), terwijl voor kontrole de beter hanteerbare gemiddelde massa $\bar{M}$ wordt gehanteerd in plaats van de bij ontwerp gebruikelijke M_{50} (vergelijk fig. 1).
- vorm: weer te geven door de verhouding dikte/lengte van de stenen;
- sterkte van het materiaal: dit vooral in verband met breuk bij overslag en transport; de sterkte wordt aangeduid met de "Aggregate Impact Value" (AIV), een dynamische beproevingswaarde (ook druksterkte, buigtreksterkte, Rock Toughness kunnen worden gebruikt als maatgevende grootheden);
- scheuren: deze spelen evenals grenslagen en breuksystemen in de steen vooral een rol bij stenen zwaarder dan enkele honderden kilogrammen; er is nog geen meetmethode voor, maar wel overeenstemming over bijv. "schadelijke scheuren" onder deskundigen;
- vorst/dooi-bestendigheid: aan de hand van de wateropname van steen wordt eventueel de weerstand tegen vorst-dooi-wisselingen bepaald;
- bijzonderheden: o.a. het ontbreken van zonnebrand bij basalt, kleilaagjes en andere voor een bepaalde materiaal of bepaalde toepassing ongewenste eigenschappen.

Voor het Oosterschelde-projekt is materiaal van diversen herkomsten op verschillende eigenschappen onderzocht; een (geenszins volledig!) overzicht bevat tabel 1: men vergelijke bijvoorbeeld de AIV, RT en druksterkte van basalt en duniet, ten opzichte van een bekende kalksteen.

tabel 1. Waarden van steeneigenschappen (globaal)

steensoort	groeve	C-dichtheid	A.I.V. (%)	R.T. (cm)	buig-trek sterkte N/mm^2	druksterkte N/mm^2
basalt	mayen (brd)	2,8	15 - 20	±22	-	-
basalt	balduinstein (brd)	3,0	10 - 15	±32	-	±380
diabaas	rauma (sf)	3,0	±17	-	-	-
duniet	aaheim (n)	3,2	±57	±4	-	±90
graniet	kessel downs quarry (gb)	2,6	±33	±7	±18	±150
grauwacke	trechtingshausen am rhein (brd)	2,6	±25	±8	±30	-
gabbro	kragerø (n)	3,0	±15	±12	±19	±260
kalksteen	namèche (b)	2,7	±28	±5	-	±230
porfier	quenast (b)	2,7	±18	±18	-	±308

A.I.V. = Aggregate Impact Value / R.T. = Rock Toughness

5. Produktie

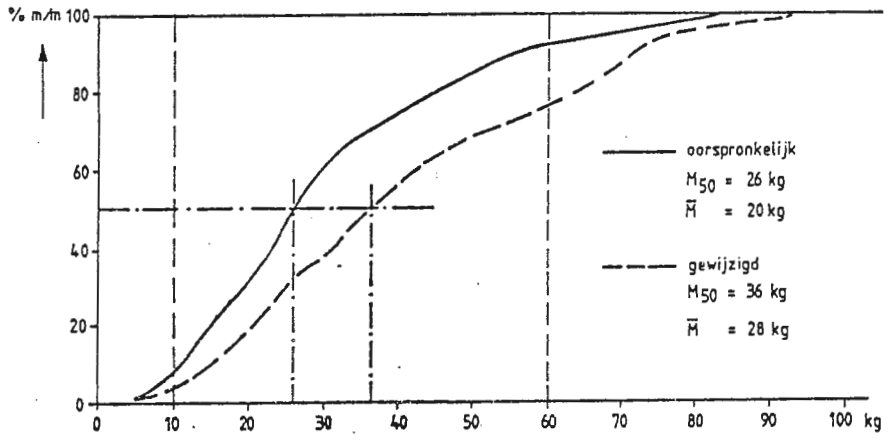
Een steengroeve heeft een aantal mogelijkheden tot het produceren van gewenste steensorteringen voor de waterbouw, afhankelijk van steenvoorkomen, win- en selectieproces in samenhang met de technische uitrusting en afzet van het voor de waterbouw onbruikbare materiaal.

Vast liggen bij een bepaald steenvoorkomen de dichtheid, de AIV-waarde, de maximale stukgrootte, eventueel de verhouding tussen grof en fijn materiaal (wat betreft de dichtheid en AIV-waarde zij opgemerkt, dat kontrole daarop gewenst is in verband met voorkomende variaties).

Enige beinvloeding is hier mogelijk middels de wijze van springen van de steen. Ook de vorm van de steen hangt samen met het steenvoorkomen: een formatie basaltzuilen geeft een andere vorm dan een kalksteengroeve of een

granietvoorkomen. De sortering (massa - of korrelverdeling) hangt dan vooral af van de verwerking van het gesprongen materiaal.
De mogelijkheden lopen van uitsorteren met b.v. een poliepkraan aan de wand (werkfront) tot het behandelen met breek- en/of zeefinstallaties; de mogelijkheden van breek/zeefinstallaties gaan tot circa 0,5 ton op dit moment.
Selektie "met de hand" eist veel van de kunde van o.a. de kraanmachinist, selektie met een installatie van de kennis en beheersbaarheid van die installatie; middels wijziging van breker- en zeefopeningen kan een sortering sterk worden beïnvloed (zie fig. 2).

figuur 2. Beïnvloeding massaverdeling 10 - 60 kg



Verder beïnvloeden transport en overslag, de uiteindelijk geproduceerde sortering: gescheiden opslag, schone ondergrond, geringe valhoogte, etc.

6. Vergelijking.

Doordat voor de stormvloedkering zeer grote hoeveelheden en zeer zware sorteringen nodig zijn, was het noodzakelijk èn mogelijk na de inventarisatie van groeves en na het materiaalonderzoek over te gaan tot een aantal proefleveringen.
Deze dienden o.a. om na te gaan, of met de gewenste nauwkeurigheid geproduceerd kon worden (vooral voor de ongebruikelijke zware sorteringen), hoe de invloed van het transport was, welke vorm verkregen werd, hoe de (interne en externe) kwaliteitsbewaking was.
Hierbij werden in groeve en bij aankomst grote aantallen stenen gewogen en gemeten; inzicht werd verkregen in de percentages te fijn en te grof materiaal per sortering, het verschil tussen $\bar{M}$ en M_{50}, de mate van breuk (verschuiving van de sortering), en de vorm.
In welke mate gestelde eisen (ook voor de proeflevering!) te realiseren waren resp. gerealiseerd moesten worden en de resultaten acceptabel waren, werd daarbij in voortdurend overleg met alle betrokkenen nagegaan.

7. Eisen en procedures

De na al deze voorbereidingen voor het Oosterschelde-projekt gestelde sorteringseisen staan in tabel 2; de lichtere sorteringen zijn in opzet en in getal bruikbaar voor toepassingen elders.

tabel 2. Sorteringseisen Oosterschelde

sortering	maximaal 1%(m/m)<A	maximaal 1%(m/m)<B	gemiddelde massa (exclusief scherven)	maximaal 3%(m/m)>C	maximaal 3%(m/m)>D
	A, kg	B, kg	kg	C, kg	D, kg
5 - 40 kg	2	5	10 - 20	40	80
10 - 60 kg	2	10	20 - 35	60	100
60 - 300 kg	30	60	130 - 190	300	450
300 - 1000 kg	200	300	540 - 690	1000	1500
1 - 3 ton	650	1000	1700 - 2100	3000	4500
3 - 6 ton	2000	3000	4200 - 4800	6000	9000
6 - 10 ton	4000	6000	7500 - 8500	10000	15000
10 - 15 ton	6500	10000	11750 - 13250	15000	22500
15 - 20 ton	10000	15000	16250 - 18750	20000	30000
20 - 25 ton	13500	20000	21000 - 24000	25000	37500

Dichtheids- en AIV-eisen zijn enigszins gedifferentieerd naar sortering en toepassing.

De keuringsprocedures dienen een aantal zaken te omvatten: plaats van keuring, wijze van monsterneming, monstergrootte, aantallen (steekproefgevallen), zekerheid van aselectheid en representativiteit, wijze van bepaling van eigenschappen en toetsing aan eisen, konsekwenties bij niet voldoen aan de eisen. Hierbij wordt de plaats, waar het accent van de kwaliteitsbewaking valt, bepaald door o.a. te leveren hoeveelheden, kosten konsekwenties (bezoeken van keuringsinstantie in de groeve ten opzichte van terugsturen van materiaal en stagnatie op het werk bijvoorbeeld), terugkoppeling van keuringsresultaten naar de produktie, zekerheid over het verwerken van uitsluitend goedgekeurd materiaal; de keuze beïnvloedt tevens de getalswaarde van gestelde eisen.

Voor de stormvloedkering met de zeer grote hoeveelheden uit enkele ver uiteenliggende groeven is gekozen voor (na een aanloopfase) een speciaal KOMO-certificaat, waarbij de bedrijven een eigen kwaliteitsbewaking moeten voeren; de resultaten hiervan worden vergeleken met door de KOMO uitgevoerde kontroles, terwijl ook bij aanvoer zonodig scheepsladingen kunnen worden onderzocht. Bij niet voldoen aan eisen is het bedrijf verplicht zijn produktieproces bij te sturen; eventueel kunnen kortingen volgen of zelfs stoppen van de levering.

8. Invoering.

De levering van de circa 4 miljoen ton breuksteen voor de stormvloedkering is inmiddels begonnen, d.w.z. er is sprake van de aanloopfase naar certificering; met evaluatie van ervaringen zal nog enige tijd gemoeid zijn.

De keuze zal in "normale" gevallen, waar sprake is van minder extreme hoeveelheden, minder extreem zware sorteringen, en meer producerende bedrijven niet altijd en automatisch op een keuring in de groeve en een certificeringsregeling uitkomen.
Gedacht kan worden aan een "geschiktheidsonderzoek" van een groeve vóór levering van een bepaalde sortering, te volgen door keuring van een zeker gedeelte van de aangevoerde ladingen.
Dit systeem wordt op het moment bij de Hartelwerken toegepast, en de eerste ervaringen zijn gunstig.
Voor zeer kleine levering zou mogelijk alleen kontrole bij aanvoer kunnen worden toegepast.
Overigens is ten allen tijde een bewijs van herkomst in feite onmisbaar, terwijl interne kwaliteitsbewaking door de groeve sterk aan te bevelen is.

9. Samenvatting.

Gesteld kan worden, dat de afgelopen jaren een hoeveelheid kennis en ervaring is opgedaan, die het mogelijk maakt een aanzet naar nieuwe technische voorschriften voor breuksteen te geven.
Uit een toenemend aantal vragen valt af te leiden, dat er duidelijk behoefte en belangstelling is, ook van de kant van producenten en handel; tenslotte zijn alle betrokkenen gebaat bij duidelijke en realistische eisen en procedures.
Genoemd worden nogmaals vergroting van de zekerheid met betrekking tot gedrag van materiaal in de konstruktie, en van de ekonomie van het materiaalgebruik (verliezen, onderhoud), beide te realiseren door goede technische voorschriften.
Een aantal punten dient nog ingevuld te worden:

- dekken de huidige sorteringen het grootste deel van de behoeften?
- in hoeverre spelen vorm, dichtheid, en percentage bovenmaats materiaal mee in bijv. ontworpen laagdikte?
- wat zijn de kostenkonsekwenties en hoe komen konkurrentieposities te liggen (bijvoorbeeld wanneer dichtheidseisen bepaalde groeven zouden uitsluiten)?

Hiertoe zal nog wel enig overleg tussen ontwerpers, uitvoerders, producenten en leveranciers, en kwaliteitsadviseurs nodig zijn; gekonstateerd lijkt te kunnen worden, dat de kwaliteitszorg ten aanzien van breuksteen voor de waterbouw zich op de goede weg bevindt, en terecht, want het blijft een zaak van gewicht(en).

Lezing InGeokring d.d. 9.12.1980 - Samenvatting.

ir. J.P.J. van der Heide

Het gebruik van natuursteen in de wegenbouw.

In Nederland wordt jaarlijks in de wegenbouw circa 5 miljoen ton natuursteen verbruikt; daarnaast circa 3 miljoen ton zand voor verhardingsmaterialen (asfalt en beton) en een onbekende hoeveelheid ophoogzand.
Het natuursteen is voor ¾ deel afkomstig uit Nederland (gebroken en ongebroken Maasgrind, mijnsteen); ¼ deel komt uit Duitsland en België (gebroken Rijngrind, Maasgrind, porfier, lava, mijnsteen).
Het steen wordt gebruikt :
- in de fundering van de weg (lava, mijnsteen, ongebroken grind)
- in de wegverharding van asfalt of beton (ongebroken en gebroken grind, zandsteen, porfier)
- in de oppervlakbehandeling (voornamelijk gebroken grind)
- in kunstwerken (bruggen, viaducten).

Vooral de voorschriften ten aanzien van het asfalt zijn door de ruime ervaring hoog ontwikkeld.
Asfalt bestaat voor circa 55 massa-% uit (gebroken of ongebroken) steen > 2 mm (tot maximaal 32 mm), voor circa 35 % uit zand 63 µm-2 mm; voor circa 7 % uit vulstof < 63 µm (vliegassen en gemalen kalksteen) en voor circa 5 % uit bitumen. Aan het steen worden eisen gesteld ten aanzien van de kalk- en ijzerbestandigheid, de (organische) verontreinigingsgraad, de gradering, de korrelvorm (bij voorkeur kubisch), de weerstand tegen verbrijzelen en tegen polijsten en ten aanzien van de herkomst en de minerale samenstelling. (Dit laatste teneinde steen met gekende mechanische eigenschappen te verkrijgen.)

Enkele belangrijke eigenschappen van de steen :

a. De hechting van het bitumen aan de steen.
Bitumen reageert zwak zuur. Er doen zich daarom gemakkelijk hechtingsproblemen voor bij zure steen met een glad, dicht oppervlak, zoals bijvoorbeeld kwarts, kwartsporfier, graniet, syeniet, gneis etc. In principe goed geschikt zijn bijvoorbeeld kalksteen en basalt. (Hierbij kunnen zich weer andere problemen bijvoorbeeld ten aanzien van de stroefheid, voordoen).

Voor specifieke toepassingen is een omhullingsproef voor (gemodificeerd) bitumen om kwarts ontwikkeld, teneinde het bitumen te kunnen beoordelen.
In dit kader is ook het gehalte aan vuursteen van grind gelimiteerd. Beoordeling vindt plaats o.a. op grond van de hardheid volgens Mohs.

b. De weerstand tegen verbrijzelen, verweren en zwel.
De weerstand tegen verbrijzelen wordt gemeten via een statische drukproef : 200 kN gedurende 30 sec. op de meest grove fractie.
Voor deklagen zijn in dit kader ongeschikt :
- glimmer, veldspaten -- ook verwering
- poreuze steen
- watergevoelige steen -- ook zwel
- organische verontreinigde steen -- zwel.

c. De weerstand tegen polijsten.
Voor de gebruikelijke steensoort en voor deklagen (gebroken Rijngrind, Maasgrind, porfier) zijn de

bovenvermelde eisen geen probleem, anders ligt dit met de weerstand tegen polijsten.
Uit buitenlands onderzoek is gebleken, dat de weerstand tegen polijsten een belangrijke factor is bij het realiseren van een hoge stroefheid : niet alleen wordt bij steen met een hoge polijstweerstand een hoge initiële stroefheid bereikt, ook op langere termijn blijft de stroefheid onder de verkeersinwerking hoog.
Voor Rijkswaterstaat zijn de resultaten van dit buitenlands onderzoek aanleiding geweest, voor steen voor autosnelwegen en andere druk bereden wegen verkeersklasse 3, het meest voorkomend in Nederland, een hoge weerstand tegen polijsten te verlangen. In de praktijk blijkt dit niveau slechts door gebroken Maasgrind te worden bereikt. Omdat voor deklagen het gebroken Rijngrind een belangrijke grondstof vormt, heeft deze selectie tot ernstige verstoringen in de (steen)marktverhoudingen geleid.

In een door mij uitgevoerde literatuurstudie (waarvan een uitgebreide samenvatting is gepubliceerd in het V.B.W.-blad "Asfalt" 1/1980) zijn de volgende conclusies getrokken :

* de stroefheid van een wegdek wordt bepaald door de macrotextuur, vooral bij hoge snelheid (> 50 km/h) en door de microtextuur vooral bij lage snelheid. (Onder macrotextuur wordt verstaan de oppervlak-ruwheid van het wegdek als totaliteit; onder microtextuur de kleinschalige ruwheid).

* De weerstand tegen polijsten hangt samen met de microtextuur van de steen.

* De minerale samenstelling van het aggregaat beïnvloedt de microtextuur :
  - variatie in hardheid der mineralen binnen het aggregaat doet de polijstwaarde toenemen doordat de grove microtextuur wordt versterkt : de zachtere mineralen slijten onder verkeer sneller weg dan de hardere mineralen.
  - Eenzelfde effect wordt bereikt door variatie in weerstand tegen verwering van de verschillende mineralen.
  - Het bepalen van de polijstwaarde van een composietaggregaat (dit is een aggregaat dat uit een (groot) aantal verschillende mineralen bestaat, zoals bijvoorbeeld Nederlandse steenslag) is geen eenvoudige zaak : door zijn gevarieerde samenstelling zal het polijstgetal een extra grote spreiding vertonen.
  - Invloed opbouw van het aggreaat. De aanwezigheid van poriën doet de microtextuur en daarmee de stroefheid van aggregaat toenemen.
  - Aggregaat, opgebouwd uit harde korreltjes, (bijvoorbeeld zandsteen) behoudt een hoge microtextuur doordat het oppervlaktemateriaal gemakkelijk afslijt. Hierdoor komt telkens nieuw (ongepolijst) materiaal aan de oppervlakte (dit betekent wel, dat bij transport en verwerking veel zand en stof ontstaat en de verbrijzeling hoog kan zijn).

- De hardheid van het materiaal : zeer dikwijls gaat een hoog polijstgetal gepaard met een hoge weerstand tegen verbrijzeling, onder andere door de hiervoor genoemde factoren, tengevolge van deze grote verbrijzeling zijn ze niet geschikt voor de wegenbouw. Zowel natuurlijke als kunstmatige materialen met een hoge dichtheid en een gering materiaalverlies door wrijving daarentegen zijn in het algemeen sterk polijstbaar.

Tenslotte : het belang van de polijstwaarde van het aggregaat voor de stroefheid hangt samen met de mengselopbouw : hoe minder de steen aan de verkeersinwerking wordt blootgesteld, des te minder de polijstwaarde belangrijk is.
Daarom pleit de V.B.W. ook voor een geringe aanpassing van de voorschriften, zodat de verstoorde marktverhoudingen weer worden hersteld zonder dat de verkeersveiligheid wordt verlaag.

- o - o - o -

vdH/lw

ir J.P.J. van der Heide

21 januari 1981.

Crushing

J. Harrison

Before any technical selection can be made on crushing and screening equipment for a given project, an appreciation of the various types of crushers and their limitations is essential.

The main purpose of the crusher is to reduce the feed material lumps to a defined final product. The ideal situation would be to use a single crusher to accept any size and type of material fed to it and, by simply pushing a "magic button", produce the exact sizes in their correct percentage ratios.

In reality there are no magic buttons. Because there are numerous types of rock, each with their own crushing characteristics, attempting crusher selection without some knowledge of the material to be processed is a dangerous practice. With detailed knowledge of the material being handled, the equipment supplier should not only be able to select the correct type of crusher or crushers for that duty, but also be able to advise on the wear rates and give spares recommendations for the length of the contract.

The crushing equipment offered by any supplier has to fulfil two basic parameters.

1. Be capable technically of achieving the full customer requirements
2. Be the most economical method, to the customer, of carrying out that function.

Primary Crushing

The main function of the primary crusher is to convert the raw material into a form capable of being transported in the crushing plant. The size of the primary is generally selected to match the required plant capacity and also to accept the largest feed lumps present in the raw feed.

The selected crusher at this stage has to be large enough to give the required average production, because in practice it will have to be capable of dealing with uneven feeding including surges above the average capacity.

The most common type of primary crusher used is the jaw. This broad statement applies on plant capacities up to approximately 600/800 t.p.h.

Above this capacity the gyratory crusher comes into its own economically.

The type of jaw cursher, single or double toggle, is usually determined by total cost consideration against the machine's calculated operational life.

The single toggle machine is the type of jaw crusher which, in relation to its feed opening size, has the lowest weight, is the cheapest and has the highest capacity. It also incorporates fewer moving components than the double toggle machine.

The disadvantage, however, is that the jaw plates wear relatively more rapidly on a single toggle than on a double toggle crusher due to the elliptical rubbing action at the bottom of the moving jaws. The movement on a double toggle machine is a pure swinging motion.

The primary impactor is an alternative type of crusher that could be considered at this stage. The main advantage would be the very high ratio of reduction possible, often excluding the necessity of a secondary crusher. The main disadvantage, however, is that in order to achieve an acceptable wear rate both on hammers and liners, only very soft rock applications can be considered viable. By incorporating a primary impactor a much cheaper installation can be achieved.

Whilst the product shape from a primary impactor would generally be good, care has to be exercised on the jaw type primaries. Attempting too high a ratio of reduction at primary jaw stage often results in a slabby shaped product. Generally a 3 or 4:1 ratio is the accepted norm.

Secondary Crushing

The main function of the secondary crusher is to prepare the material for fine crushing or to provide relatively coarse final products.

Today the cone or gyratory crusher is accepted universally as the most popular and acceptable type of secondary crusher. The sizes and types available on the market allow it to be used on very high capacity plants, being capable of handling most types of material satisfactorily.

To obtain the best results from the cone crusher, however, it is important that correct selection is undertaken.

1. Selection of cone members to suit the size of stone being processed.

   To ensure good wear rates, crushing should take place throughout the full length of the cone chamber. Feeding of too small a size of material will result in crushing taking place at the bottom section only. This leads to premature liner failure and poor quality and shaped products.

2. Regulated even feed.

   An uneven feed tends to result in poor shaped products. Ideally a cone should be fed to choke capacity. This can be achieved either by a surge hopper and feeder prior to the cone or by careful control at the primary stage.

3. Ratio of reduction.

   Attempting too high a ratio of reduction will again cause poor shaped products. The best shaped products are those close to the setting size of the cone.

The cone crusher is an ideal machine for the incorporation of automatic controls, both for the setting and for the control of the feed.

The principle alternative to the cone as a secondary is the impact breaker. They can be successfully used, but are subject to limitations.

1. Type of stone being handled.

   Whilst an impactor is capable of accepting rock direct from a primary crusher, the fact that they crush to high ratios of reduction leads to high wear rates when used on hard rock. The economics of the wear including both replacement parts and plant down-time should be taken into consideration when selecting the secondary crusher.

   The maintenance intervals, although being more frequent than that for a cone, tend to be less involved, limited to hammer and liner changes which can be successfully handled by unskilled site labour. The cone maintenance is usually lengthy for full liner changes, requiring more skilful engineers.

   On the harder rocks the impactor is generally limited to a tertiary duty to improve the general product shape.

2. Capacity of crusher.

   The secondary impactors available on the market do not have the equivalent capacity ranges of the cones. This can often be overcome, however, by operating machines in parallel.

   For very fine crushing duties, an alternative type of impactor known as a hammer mill could be considered. They would be limited to use on materials of relatively low hardness and abrasivity capable of very high ratios of reduction. Whilst similar in design to an impact breaker there are two significant differences - pivoted hammers and a bar grate at the discharge point through which the material must pass before it can leave the machine.

   The most recent developments in impact crushers are the vertical or centrifugal type.

   The machine, whilst gaining rapid popularity in the U.S.A. in recent years, has yet to be fully marketed and accepted in Europe.

   Whilst generally being limited to tertiary crushing duties due to its small feed size acceptance, the makers claim low wear rates even on very hard and abrasive materials. It is designed for high capacity fines production either by direct impacting with blow bars or by a crushing stone against stone principle.

The two other alternative types of crushers considered for secondary duties are the granulator and the roll crushers.

The principle of the granulator is identical to that of a primary jaw crusher. Its main limitation being capacity. It can only be considered on very low capacity plants and is often used in conjunction with an impactor or roll crusher due to this limitation.

The roll crusher is mainly suited to soft or medium hard materials.

They can be fitted with plain or serrated shells or a combination. The setting is the distance between the two rolls and adjusted by shims.

Ratios of reduction can be as high as 10-20:1.

Irrespective of the style of aggregate plant required the crushers form the "heart" of it. The screens, conveyors, feeders and storage systems, no matter how efficient and well designed, cannot perform to the requirements unless the crushers have been properly selected.

Due to the depressive state of the European crushing market many large contractors are turning their attentions to the overseas contracts. These are in the main relatively short term and consequently the demand for mobile or transportable crushing plant to perform these duties is high.

The description, mobile or transportable crushing plants often indicate that the siting of these units is on a temporary basis. Their advantages against conventional fixed type plant especially for short duration overseas contracts can be listed as follows.

1. They can be easily towed to the working site.
2. They require much less site preparation, generally limited to levelling of the overall site and construction of a feed ramp to the primary crushing station.
3. A shorter set-up time, as most of the units are factory fitted and tested prior to shipment.
4. Mobile plants can follow the extraction area, thus saving cost on transportation of the raw material.

The vast majority of overseas contracts carried out by European contractors today are in third world countries.

The crushing requirements are generally covered by mobile or transportable plant for one or more of the reasons stated above.

The choice of mobile equipment available worldwide is able to meet virtually all the crushing and screening duties demanded.

The plant manufacturer who has worldwide distributors and agents to provide comprehensive back-up and on-territory spare parts service is an invaluable ally to the contractor working overseas.

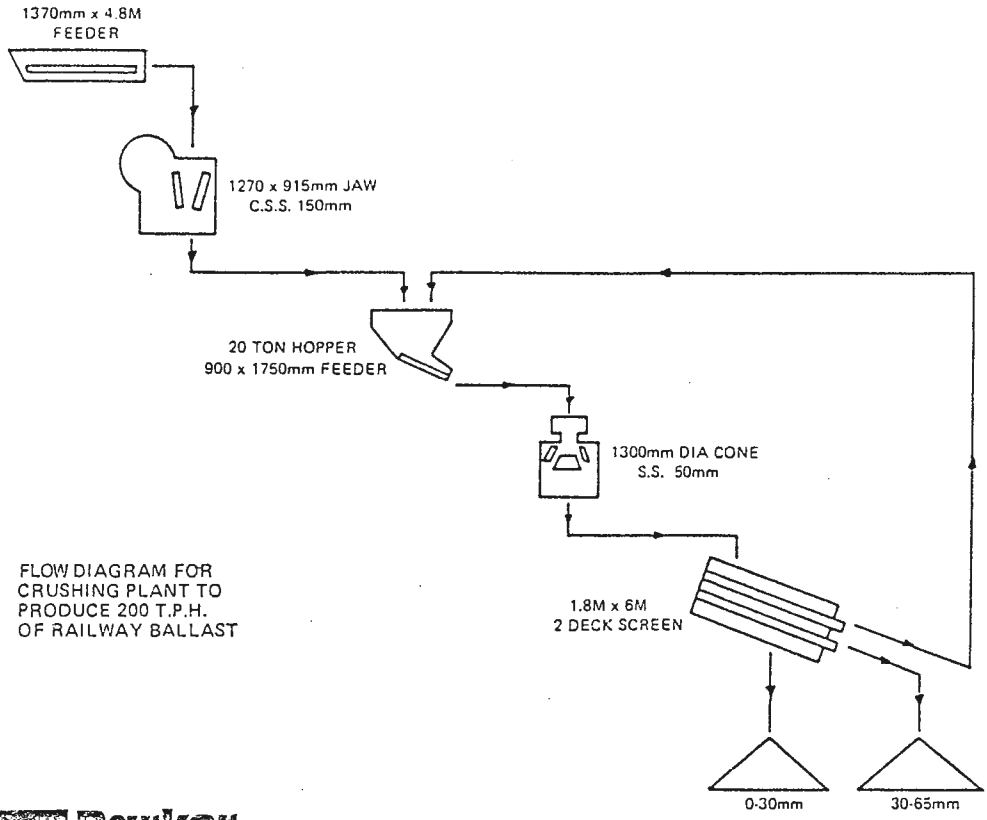
Lengthy down-time due to lack of spare parts is even more critical on overseas contracts. Good performance by the contractor on a hard won contract could determine future business in that territory.

It is impossible, within this paper, to give a detailed breakdown of all types of overseas crushing contracts.

However, to attempt a general cross section of duties on this subject, three examples can be studied.

Within these three examples can be shown the methods of crusher and equipment type selection.

Example 1



FLOW DIAGRAM FOR CRUSHING PLANT TO PRODUCE 200 T.P.H. OF RAILWAY BALLAST

Parker Plant

The crushing requirement was for railway ballast +30mm -65mm. Because the plant would be moved numerous times during the contract period, a mobile installation was requested.

The material to be processed was blasted granite with a required hourly output of approximately 160 t.p.h.

Because of anticipated operational inefficiencies, the customer requested that the plant be capable of a maximum output of usable material of 200 t.p.h.

The layout shown was regarded as the optimum plant for this duty.

From a total input of 300 t.p.h. at the primary crusher 205 t.p.h. of usable material could be obtained.

i.e. 205 t.p.h. of +30mm -65mm.
95 t.p.h. of -30mm.

As the -30mm was to be discarded as waste it was important to keep the produced percentage of this size to a minimum.

The crushers used were a primary jaw size 1270 x 915mm with a c.s.s. of 150mm.

Although the feed material was stated to contain virtually no natural undersize, it was decided to instal a surge hopper complete with feeder between the primary and secondary crushing stations.

This served two main functions. Firstly, because the plant was to be fed with 30 ton capacity dump trucks, any surges through the primary plant could be smoothed out at this point to give a controlled even feed to the secondary crusher. Secondly, by ensuring a controlled feed, the final product shape could be enhanced.

The choice of secondary crusher, due to the nature of the material being handled, became a choice between a single cone or multiple granulators.

For ease of plant layout for this plant capacity a cone crusher was the obvious choice.

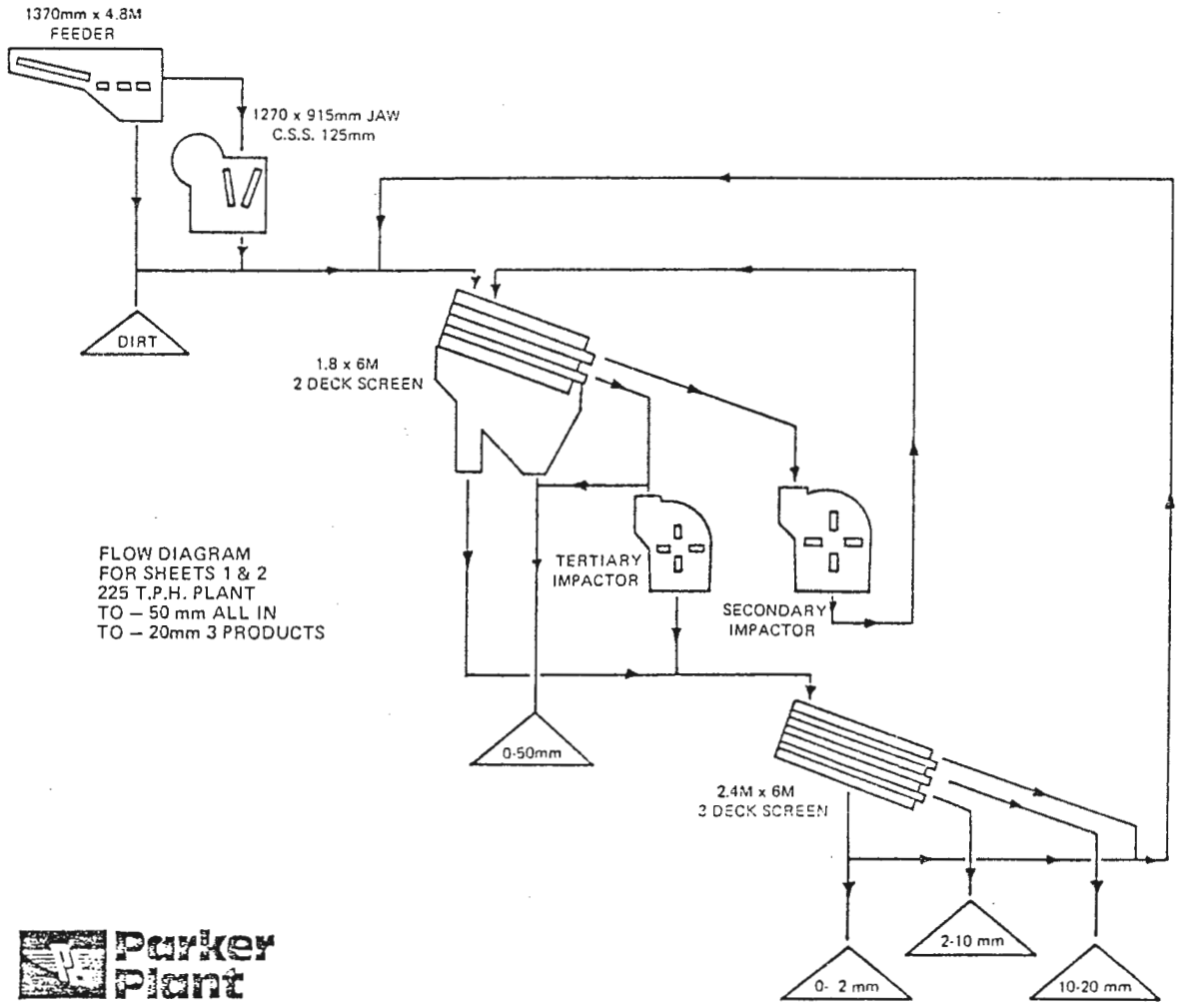
A size 1300mm diameter with a c.s.s. of 50mm positioned in closed circuit with a 2 deck screen size 1.8m x 6.0m was incorporated. The oversize produced at the secondary cone was conveyed back to the hopper.

CONTRACT SAUDI ARABIA STONE GRANITE WT/CU. FT. DATE

SPECIAL CONDITIONS. CRUSHING PLANT TO PRODUCE 200 T.P.H. OF RAILWAY BALLAST +30MM - 65MM.
-30MM TO BE REGARDED AS WASTE.

MACHINE DETAILS	TONS PER HOUR.	-30		+30-65		+65.																REMARKS.
		%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	
1270 x 915 M.M. JAW																						
C.S.S. 150MM.																						
CAPACITY RANGE 255-315	300	3.5	10.5	6.5	19.5	90	270															100% - 300MM.
1300MM DIA. CONE																						
COARSE MEMBERS.																						
@ 50 M.M. C.S.S.	270	26	70	57	154	17	46															46T.P.H TO RECRUSH
	46		12		26		8															8T.P.H TO RECRUSH
	8		2.5		5.5																	
TOTAL 300 T.P.H		32	95	68	205																	

Example 2



The plant was required by an Eastern European contractor working in the Middle East on a highway project.

The contract duration was two years during which time the whole plant would be moved twice. Hence the requirement was for a mixture of mobile and transportable plant. All crushing stations to be mobile and all screening units to be skid mounted.

As large ground stockpiles were required, mobile conveyors with facility for radial movement were requested.

The material requirements were two fold:

1) A -50mm all-in product for sub-base.
2) -20mm product three sizes for asphalt wearing coarse and binder.

The two requirements were not required to be produced simultaneously.

The material to be processed was soft limestone. Natural undersize in the blasted feed material was acceptable, but facility to extract dirty material at the primary stage was required.

As the all-in -50mm sub-base had to conform to a rigid specification, facility had to be provided on both screening stations for the extraction of overproduction of individual sizes.

This was achieved by flap doors fitted to the screen discharge chutes.

The nature of material to be processed allowed consideration of a primary impact breaker, but the customer wished to use the equipment for further contracts and, therefore, could not guarantee the type of material to be processed on these.

The customer, however, made a specific request for impact breakers for secondary and tertiary crushing.
For the 0-50mm sub-base production, the primary crushed material is screened with the +50mm passing to the impact breaker positioned in close circuit with this first screen.

Facility is provided to allow a proportion of the 0-20 material to be extracted and passed to the second screen for grading 0-2, 2-10 and 10-20. Any excess of one of these individual sizes can then be extracted with the remainder returning to the first screen and subsequent stockpiling.

For the 0-20mm production, the primary crushed material is screened with the +50mm passing to the larger of the two impact breakers in closed circuit with the first screen.

The -50 +20mm product passes to the second impactor finally passing to the second screen together with the -20mm from the first screen. Any oversize present at the final screen is returned for further crushing.

CONTRACT LIBYA. STONE Soft LIMESTONE WT/CU. FT. DATE

SPECIAL CONDITIONS. CRUSHING PLANT TO PRODUCE 225 T.P.H OF -50 MM ALL IN PRODUCT FOR SUB-BASE TO REQUIRED SPECIFICATION. (SHEET 1)

FEED MATERIAL TO INCLUDE NATURAL FINES, IF ACCEPTABLE

MACHINE DETAILS	TONS PER HOUR.	20-45% -2MM		30-60% +2-5MM		40-75% +5-9.5MM		75-95% +9.5-25MM		100% +25-50MM		REQUIRED % PASSING +50MM										REMARKS.
		%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	
1270 x 915 MM JAW																						
C.S.S. 125 MM	225	1	2	1.5	3	1.5	3	4.5	10	9	20	82.5	187									100% - 225 M.M.
200-250 T.P.H CAPACITY																						FROM PRIMARY
IMPACT BREAKER																						
@ 440 R.P.M.	187	22	41	28	52	18	34	25	47	6	11	1	2									RE-CIRCULATE 2 TON.
175-200 T.P.H.																						OF +50MM.
	2		.5		.5		.5		.5													
TOTAL.	220	19	43.5	25	55.5	17	37.5	26	57.5	13	31											
ACCUMULATIVE		19		44		61		87		100												

126-1

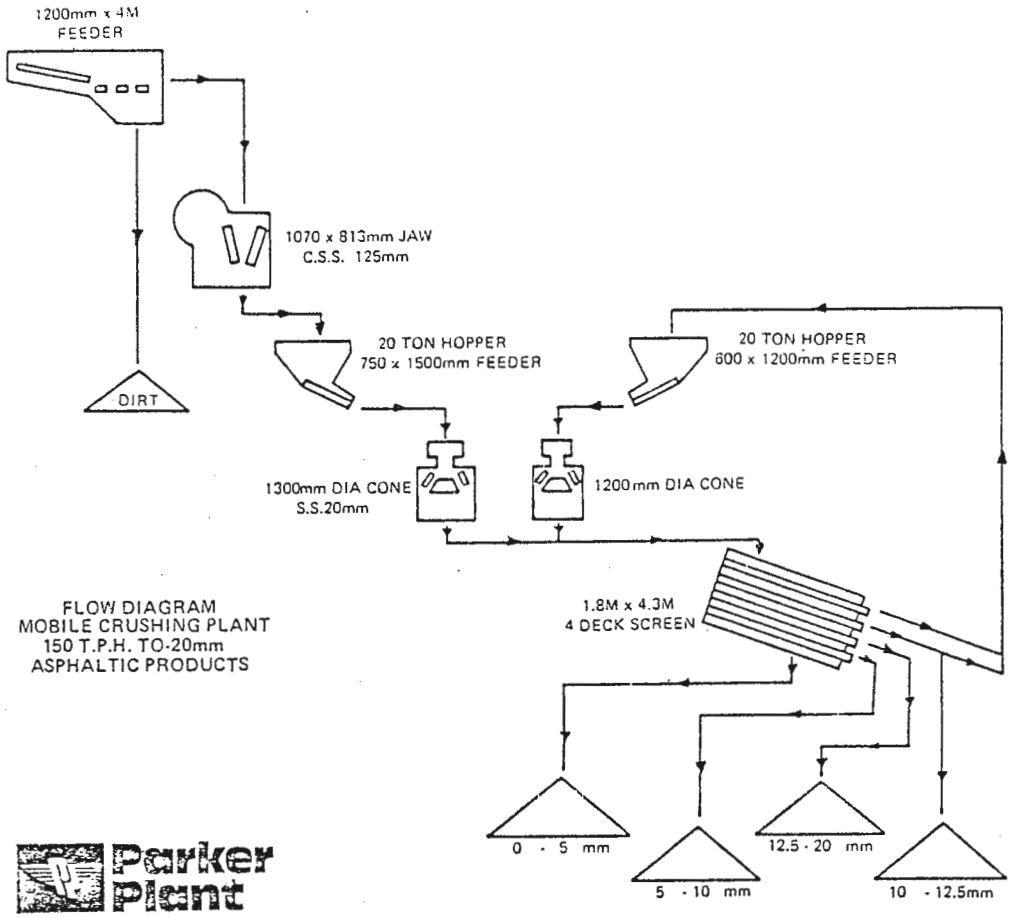
CONTRACT for LIBYA. STONE soft LIMESTONE WT/CU.FT. DATE

SPECIAL CONDITIONS. SAME CRUSHING PLANT TO BE CAPABLE OF PRODUCING TO -20 MM 3 FRACTIONS SHEET. 2.

FEED MATERIAL TO INCLUDE NATURAL FINES, IF ACCEPTABLE

MACHINE DETAILS	TONS PER HOUR.	-2MM		2-10MM		10-20MM		20-50MM		+50MM.												REMARKS.
		%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	
1270 x 915 JAW CRUSHER																						
C.S.S. 125 MM.																						
CAPACITY RANGE 200-250 T.P.H.	225	1	2	3	7	3	7	10·5	24	82·5	185											100% -225 M.M.
																						FROM PRIMARY.
+50MM MATERIAL TO																						
LARGE IMPACT BREAKER																						
ROTOR SPEED 360 R.P.M.	185	18	33	39	72	23	43	18	33	2	4											RE-CIRCULATE 4 TON
CAPACITY RANGE 175-200T.P.H																						of +50 MM. 1
	4		1		1		1		1													27
																						1
SUB TOTAL.	225		36		80		51		58													58 TON OF +20-50
																						TO SMALL IMPACTOR.
+20-50MM MATERIAL TO																						
SMALL IMPACT BREAKER	58	18	10	39	23	23	13	20	12													RE-CIRCULATE 12 TON
ROTOR SPEED 450 R.P.M.																						
CAPACITY RANGE 75-100 T.P.H	12		2		5		3		2													RE-CIRCULATE 2 TON
	2		·5		1		·5															
TOTAL PRODUCTION	225	22	48·5	48	109	30	67·5															

Example 3



The plant was required by a British contractor working on a highway project in the Middle East.

The plant specification called for a fully mobile plant capable of producing 150 t.p.h. to -20mm with a four product split.

The capacity was to be based on 100% crush at the primary stage. All natural undersize was to be removed as waste.

The material to be handled was Andesite with a maximum lump feed size of 750mm.

The primary jaw 1070 x 813mm was incorporated.

Between the primary and secondary cone, a surge hopper and feeder was incorporated to ensure an optimum feed condition to this cone.

The secondary product was then screened with the +20mm passing to a surge hopper prior to the tertiary cone.

Facility of extracting a percentage of the -20 +12.5mm material for tertiary crushing was incorporated on the screen chutes because of the high percentage of crushed fines required.

The tertiary crusher chosen was a special cone.

This type of crusher uses attrition crushing to produce very high percentages of fine material. The conventional cone crushing method is by compression. In order to function correctly the tertiary has to have a full choke controlled feed, hence the surge hopper prior to it.

COMPANY INTRODUCTION

Frederick Parker Limited was founded in Leicester in 1911. It remains basically a family controlled company to this day. Its main business is the supply of sand and gravel, crushing and asphalt plants. Up to 75% of the company's products are exported to approximately 80 different countries.

The company was presented with, in 1969 and again in 1978, the "Queen's award for export achievement". The present workforce of 1200 people form the largest works in Great Britain devoted solely to the manufacture of building and quarry plant.

Parker Plant

J. Harrison
Product Manager

CONTRACT | STONE ANDESITE | WT/CU. FT. | DATE

SPECIAL CONDITIONS. MOBILE CRUSHING AND SCREENING PLANT WITH 150 T.P.H CAPACITY TO -20MM 4 SIZES. CAPACITY BASED ON 100% CRUSH AT PRIMARY JAW. FEED MATL. BLASTED WITH MAX. LUMP SIZE 750MM. PRODUCED MATLS. USED IN ASPHALT PLANT. HIGHWAY PROJECT.

MACHINE DETAILS	TONS PER HOUR.	-3MM		3-5MM		5-10MM		10-12.5		12.5-20		20-40		+40								REMARKS.
		%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	%	TONS	
1070 x 813 MM. JAW																						
C.S.S. SETTING 125MM																						
140-175 T.P.H CAPACITY	150	1.5	2.25	1	1.5	1.5	2.25	1	1.5	2	3	6	9	87	130.5							100% -750MM FROM PRIMARY.
												139.5 T.P.H. TO SECONDARY CONE										
1300MM DIA. CONE																						
COARSE MEMBERS.																						
C.S.S 40MM.	139.5	8	11.2	4	5.6	7	9.8	8	11.2	40	55.8	33	45.9									
											BLEED OFF 31.1 T.P.H. TO JAW +20-40MM PRODUCT FOR TERTIARY CRUSHING.											
1200 MM DIA CONE																						
GYRODISC TYPE.																						
-P.I MAX	77	58	44.7	12	9.2	26	20	4	3.1													
TOTAL	150	38	58.15	11	16.3	21	32.05	10	15.8	20	27.5											
ACCUM.		38		49		70		80		100												
ACCUM TO STOCKPILE				49		70		80		100												

GESTEENTEMECHANISCHE EN INGENIEURSGEOLOGISCHE EIGENSCHAPPEN VAN DE LIMBURGSE KALKSTEEN

Arjan Venmans

Inleiding

In het kader van hun opleiding ingenieursgeologie hebben zeven doktoraalstudenten onder supervisie van prof. D.G. Price en ing. W. Verwaal (T.H.-Delft) onderzoek gedaan naar de geotechnische eigenschappen van de kalksteen ('mergel')* welke in de ENCI-groeve te Maastricht gewonnen wordt.

Het onderzoek bestond uit:

- een ingenieursgeologische kartering van het noordelijk deel van de groeve.
- diverse in-situ gesteenteproeven, namelijk een in-situ shear test, een plaatbelastingsproef (zie Nieuwsbrief Ingeokring, januari 1983) en een anisotrope belastingproef.
- gesteentemechanische proeven in het laboratorium voor ingenieursgeologie van de T.H.-Delft. Proeven werden uitgevoerd op monsters van de verschillende ontsloten formaties in de groeve, opdat een geotechnisch profiel vervaardigd kon worden; ook vond laboratoriumsimulatie van de in-situ proeven plaats. Hoofddoel van het laatste was de bepaling van de invloed van de schaal van de proeven op de meetresultaten, het z.g. schaaleffekt.

Het geotechnisch profiel geeft een meer algemeen overzicht van de eigenschappen van de aanwezige formaties en is opgesteld m.b.v. standaard gesteenteproeven op boorkernen. De in-situ proeven zijn alle uitgevoerd in dezelfde geotechnische eenheid en geven de eigenschappen van de mergel op kleinere schaal en onder verschillende belastingskondities. Dit artikel poogt een samenvatting te geven van de belangrijkste ervaringen en resultaten van veld- en laboratoriumwerk, zoals deze meer uitgebreid beschreven zijn in het eindrapport over het onderzoek.

Korte beschrijving van de werkzaamheden

Geotechnisch profiel

Als basis voor het geotechnisch profiel werd de aangepaste litho-

* *De term 'mergel', alhoewel in dit artikel gebruikt, is onjuist. Het gesteente is een zuivere kalksteen. Mergel bestaat ±50% uit kalk en ±50% uit klei. (Red.).*

stratigrafische kolom van de in de groeve ontsloten formaties gebruikt. Op boorkernen uit monsters van de verschillende formaties werd een aantal laboratoriumproeven gedaan (tabel 1), waarbij speciale aandacht werd besteed aan de invloed van het watergehalte van de mergel op de sterkte- en vervormingsparameters.

TABEL 1 In het laboratorium bepaalde geotechnische parameters.

Materiaal	Parameter	Bijzonderheden
mergel	porositeit bulk density dry density watergehalte ultrasone snelheid unconfined compressive strength statische E-modulus Brazilian tensile strength slake durability en korrelgroottever-deling	intakte kernen resp. van droge en verzadigde mergel en bij natuurlijk watergehalte

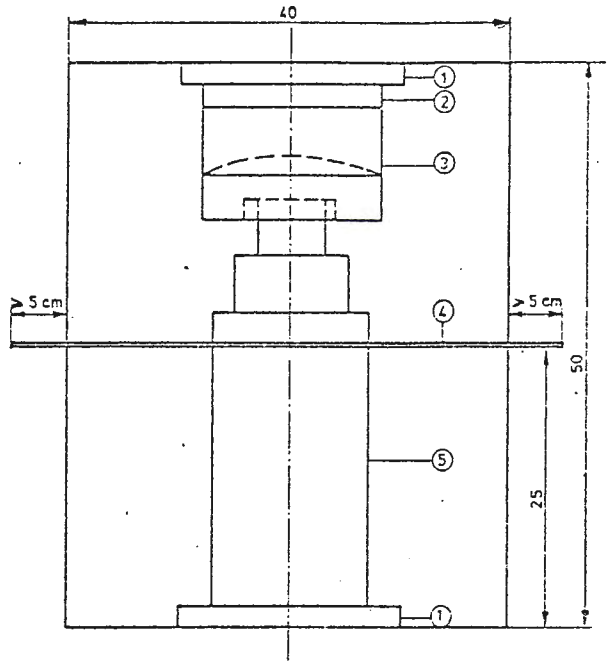
Na statistische analyse van de resultaten werden geotechnische eenheden onderscheiden en korrelaties gemaakt tussen de verschillende materiaaleigenschappen van de eenheden.

In-situ schuifproef en plaatbelastingsproef

Beide in-situ proeven zijn reeds beschreven in de nieuwsbrief van januari 1983.

Anisotrope belastingsproef

De anisotrope belastingsproef bestaat in essentie uit een dubbel-



① upper & lower plates ϕ 20 cm
② infill plate ϕ 16 cm
③ spherical plates ϕ 15 cm
④ iron strip as immobile reference plane for dial gauges
⑤ hydraulic jack

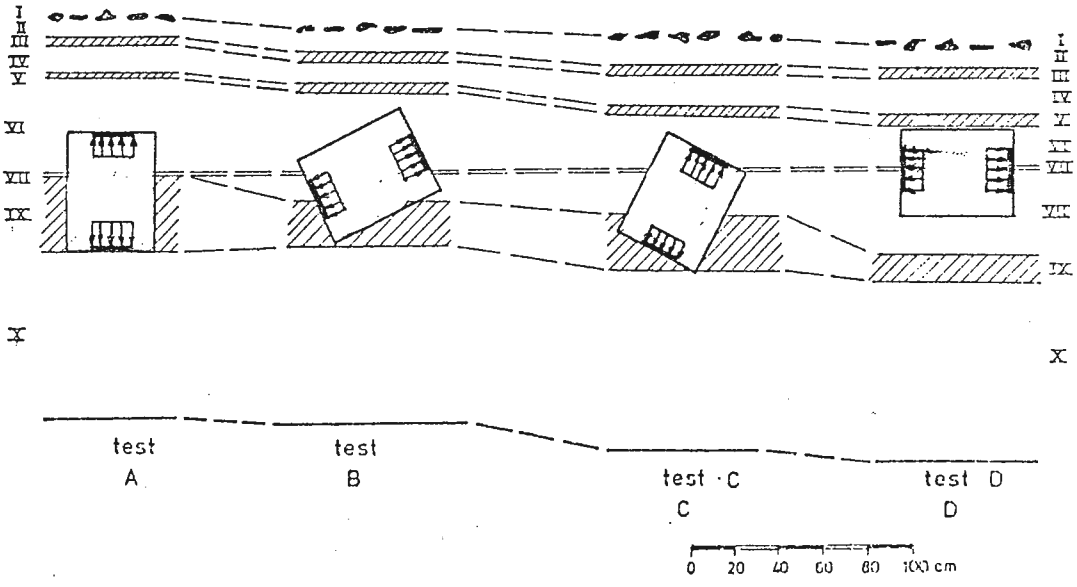


Fig. 1.: Proefopstelling en test-site van de anisotrope belasting-proef.

voudige plaatbelastingsproef die uitgevoerd wordt in een nis in een rotswand. Door de proef meerdere malen uit te voeren, waarbij telkens de richting van de belasting ten opzichte van de gelaagdheid veranderd wordt, is het mogelijk de anisotrope sterkte- en deformatie-eigenschappen van de mergel te bepalen; zie fig. 1. De vervorming van het gesteente wordt gemeten relatief aan een onbeweeglijk geacht referentievlak, waardoor de eigenschappen van het gesteente boven én onder de platen afzonderlijk bepaald kunnen worden. Een probleem bij de interpretatie van de meetgegevens lijkt te zijn dat de optredende vervormingen beïnvloed worden door de begrenzingen van de nis. Uit soortgelijke plaatbelastingsproeven in tunnels is echter vast komen te staan dat deze beïnvloeding bij de gegeven opstelling te verwaarlozen is. Het grootste praktische probleem blijkt te zijn het scheefzakken van de platen bij hogere belastingen, hetgeen afwijkingen in de gemeten E-moduli tot 20% veroorzaken kan. Door zorgvuldig prepareren van de belaste oppervlakken i.v.m. hun parallelisme zijn deze afwijkingen te voorkomen.

Laboratoriumsimulatie van de plaatbelastingsproef

In het laboratorium werden de in-situ plaatbelastingsproef en de anisotrope belastingsproef gerekonstrueerd door blokken mergel in de uniaxiale drukbank te belasten door een rond stempel. De onderkant van de blokken wordt volledig ondersteund; zie figuur 2. De afmetingen van de blokken werden zó gekozen dat de spanningskontour van 5% van de stempeldruk nog binnen het blok viel en dat de kontouren aan de onderkant van de blokken nagenoeg horizontaal liepen. Deze eisen leidden tot de verhouding: stempeldiameter : breedte : hoogte = 1 : 3 : 5. Er zijn zowel blokken met centraal gat beproefd als zonder, maar er is geen signifikante invloed van het gat op de gemeten E-moduli gevonden

Gesteentemechanische eigenschappen

Algemeen

Uit de laboratoriumproeven op de monsters van de verschillende formaties is vast komen te staan, dat de eigenschappen weliswaar sterk uiteenlopen, maar dat voor de formaties in het noordelijk deel van de groeve bepaalde korrelaties van geotechnische parameters opgaan.

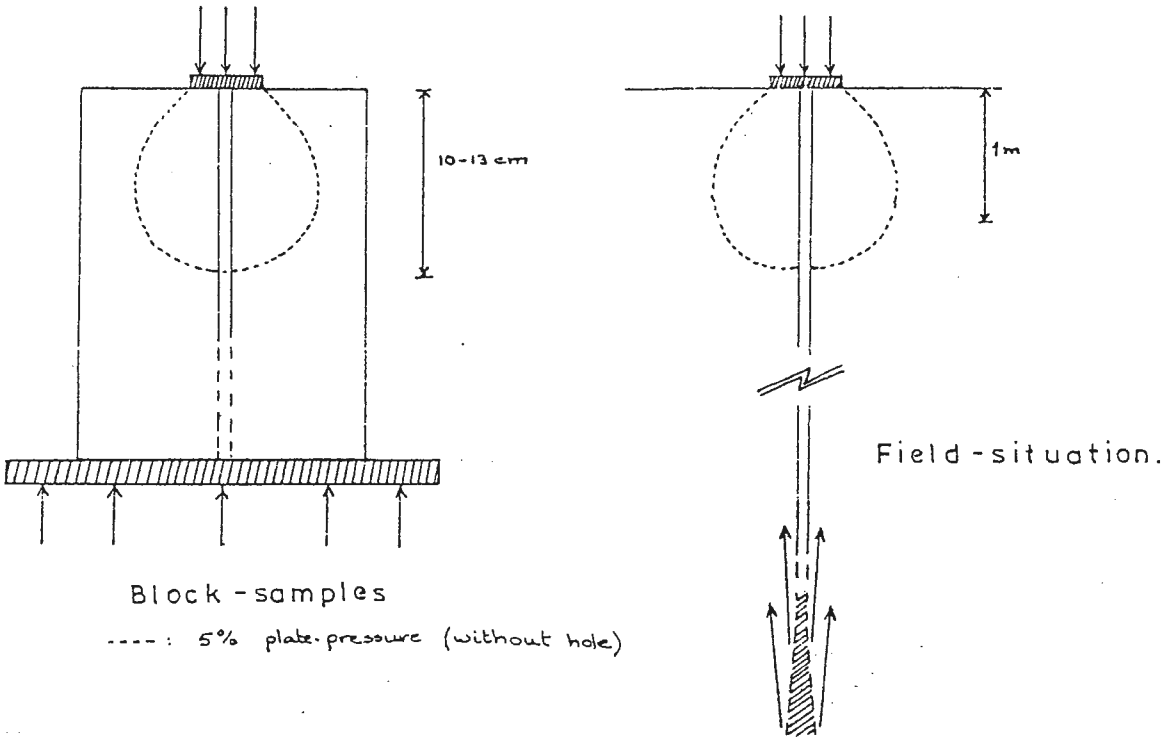


Fig. 2.: Laboratoriumsimulatie van de plaatbelastingsproef.

Eén formatie is nader onderzocht d.m.v. de in-situ proeven en proeven op boorkernen in de uniaxiale drukbank. Dit laatste gaf als resultaat:

E = 400 MPa (verweerde toplaag)
E = 500 MPa (onverweerde fossielgruislaag)
E = 800 ÷ 1100 MPa (onverweerde homogene mergel)

De E-moduli blijken te variëren met het gehalte makroskopische fossielen. Gezien het sterk wisselende gehalte aan grove fossielen, is de mergel op kleine schaal tamelijk inhomogeen m.b.t. de E-modulus; de moduli van twee individuele boorkernen van één lokatie kunnen tot 15% uiteenlopen.
Voor de uniaxiale druksterkte is gevonden:

UCS = 1.5 MPa (verweerde toplaag)
UCS = 2.0 MPa (onverweerde fossielgruislaag)
UCS = 2.2 MPa (onverweerde homogene mergel)

De variatie van de druksterkte met het gehalte aan grove fossielen is kleiner dan van de E-modulus; de waarden gevonden bij twee monsters van één lokatie kunnen tot 10% uiteenlopen.

Vervormingsgedrag

De mergel heeft een sterk tijdsafhankelijk vervormingsgedrag. Dit leidde tot de definitie van twee E-moduli:

E_{corr} = de modulus die de onmiddellijke vervorming bij sprongsgewijze belastingsverhoging geeft.

E_{end} = de modulus die de vervorming na een periode van konstante belasting geeft.

Beide moduli zijn te meten in één proef als de belasting periodiek sprongsgewijs wordt verhoogd; zie fig. 3. Het is gebleken dat de

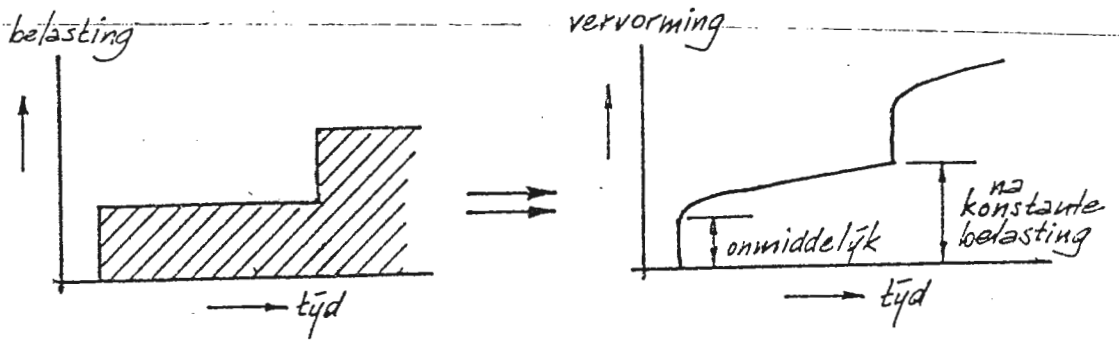


Fig. 3.: Vervormingsgedrag van de mergel.

E_{end} modulus vergelijkbaar is met de E-modulus gemeten in de uniaxiale drukproef, waarschijnlijk vanwege het tijdseffekt dat de proef bevat.

Indien de belasting wordt aangelegd volgens het spannings-tijd diagram van fig. 4, d.w.z. met periodiek aflaten van de belasting, kan een modulus van permanente deformatie gedefinieerd worden, namelijk de verhouding van de aangelegde spanning tot de blijvende vervorming na aflaten van die spanning. Deze modulus geeft een indikatie van de lange termijnzetting van het gesteente. Zowel de modulus van permanente deformatie als de E-end-modulus zijn afhankelijk van t_1 en t_2 in fig. 4, maar de afhankelijkheid blijkt beperkt te zijn voor belastingen kleiner dan 50% van de druksterkte.

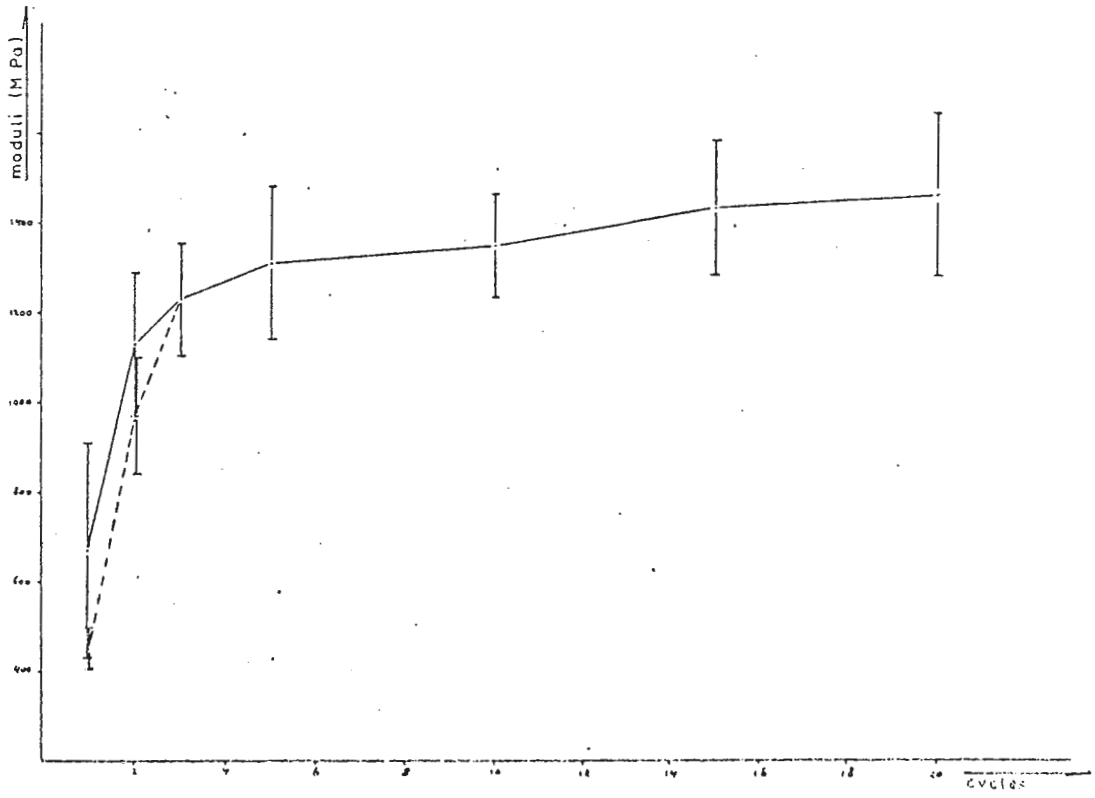


Fig. 5.: E-modulus bij cyclisch belasten.

Bij cyclische belasting van de mergel treedt aanzienlijke strain stiffening op, hetgeen zich uit in een verdubbeling van de E-moduli na enige malen belasten en ontlasten; zie fig. 5.

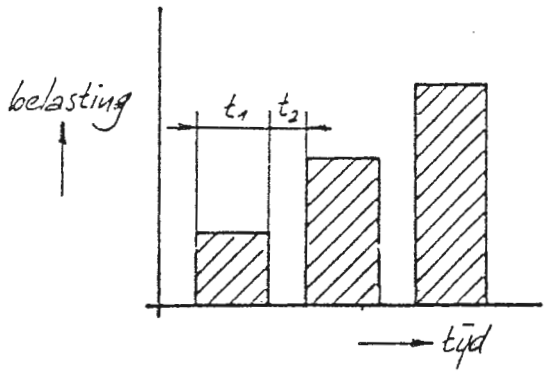


Fig. 4.: Ideaal belasting-tijd diagram.

In de plaatbelastingsproeven zijn twee manieren van belasten toegepast (zie fig. 6):

- 'statisch', d.w.z. stapsgewijze belasting.
- 'dynamisch', d.w.z. belasting tot het maximum en ontlasten tot nul binnen enkele sekonden.

De mergel reageert op beide soorten belasting met een konstante vervormingssnelheid welke onafhankelijk blijkt te zijn van de aangelegde belasting.

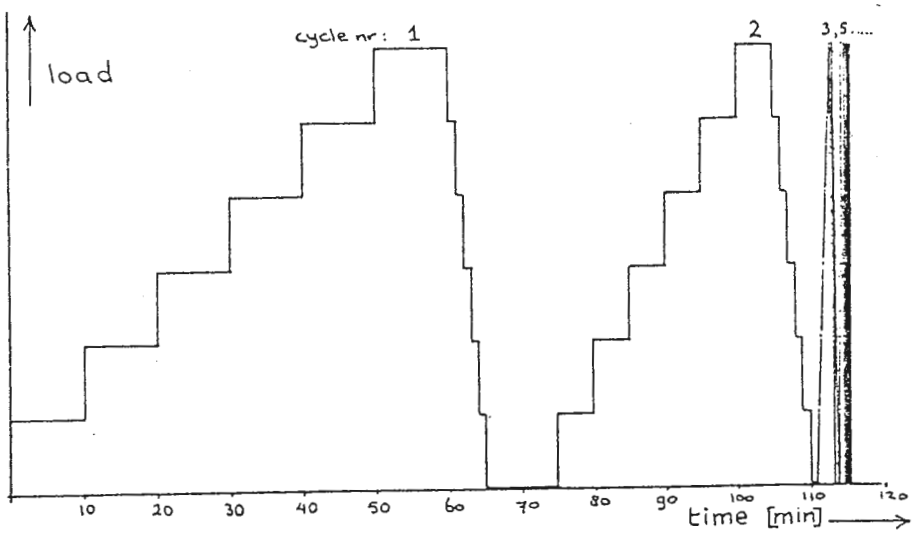


Fig. 6.: Belasting-tijd diagram van de plaatbelastingsproeven.

Door cyclisch belasten van een gesteente is het mogelijk een betere indruk te krijgen van de lange termijn deformaties en lange termijn

E-moduli dan door eenmalig (stapsgewijs) belasten. De mergel blijkt al na 5 cycli, waaronder ook een cyclus met statische belasting, reeds 95% van zijn permanente vervorming bereikt te hebben; de E_{corr}-modulus heeft dan 90% van zijn maximale waarde bereikt.

Anisotropie

De anisotropie van de mergel blijkt het beste beschreven te worden door het transversaal isotrope model, d.w.z. er is een vlak van isotropie, samenvallend met het vlak van de gelaagdheid, waarin de eigenschappen niet met de belastingsrichting veranderen. In alle andere richtingen wordt er wel anisotropie gemeten; deze is maximaal als de belastingsrichting loodrecht op het vlak van isotropie staat. De transversale isotropie is zowel op de E-moduli als op de druksterkte van toepassing. De variatie van de moduli en de druksterkte met de belastingsrichting buiten het vlak van de gelaagdheid blijkt redelijk weergegeven te worden door een vektor met lengte E resp. UCS die de omtrek van een ellips doorloopt; zie fig. 7.

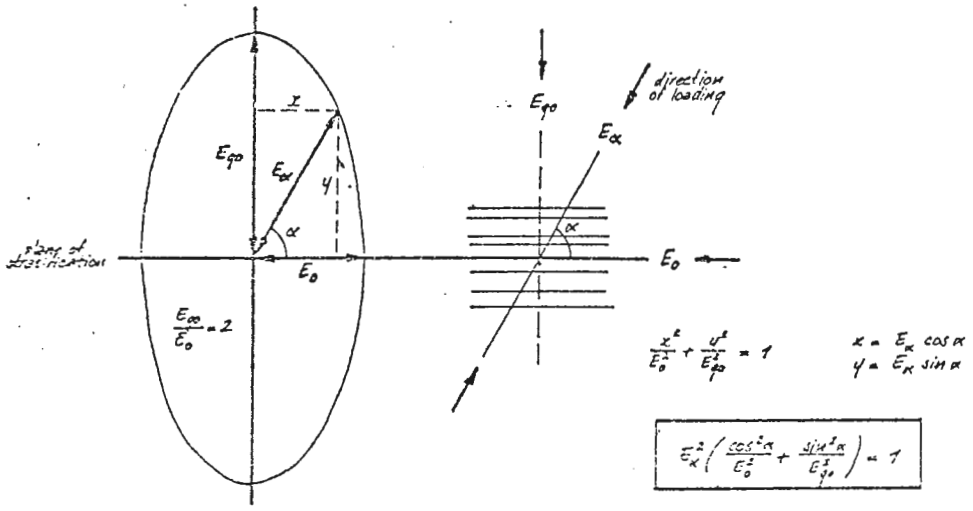


Fig. 7.: Grafische weergave van de ellips van anisotropie.

Voor de mergel zijn de volgende waarden voor de (maximale) anisotropie gevonden:

		E	UCS
uniaxiale proef		2.0	2.0
plaat-belastings-proef	in situ	1.9	1.4
	laboratoriumsimulatie	(1.5)	1.4

Het valt onmiddellijk op dat de anisotropie gemeten m.b.v. plaatbelastingsproeven aanzienlijk kleiner is dan de anisotropie gemeten m.b.v. uniaxiale drukproeven. Dit is inherent aan het karakter van de proeven: in de uniaxiale drukproef worden de eigenschappen in één richting gemeten (ware anisotropie), in de plaatbelastingsproef worden de eigenschappen in drie richtingen gemeten (schijnbare anisotropie). Een plaatbelastingsproef loodrecht op de gelaagdheid meet dan ook eigenschappen parallel aan de gelaagdheid en vice versa. De anisotropie gemeten m.b.v. plaatbelastingsproeven zal dus kleiner zijn dan die gemeten m.b.v. uniaxiale proeven, die zuiver de eigenschappen loodrecht op resp. parallel aan de gelaagdheid meten.

Er moet echter opgemerkt worden dat, hoewel de resultaten van dit onderzoek de theorie steunen, de variatie in de resultaten van de plaatbelastingsproeven te groot is om definitieve konklusies te trekken; meer proeven op grote en kleine schaal zijn noodzakelijk.

Schuifsterkte

In het laboratorium zijn de kohesie c en de hoek van inwendige wrijving φ van de mergel bepaald in de triaxiaal cel en in de field shear box. Daarbij zijn de volgende resultaten gevonden:

		droog		verzadigd	
		c(kPa)	φ	c(kPa)	φ
triaxiaal (peak)		140	44°	-	-
field shear box	peak	180 ± 50	44° ± 4°	90 ± 50	48° ± 2°
	residual	80 ± 50	32° ± 5°	80 ± 50	32° ± 5°

Zoals te zien is in de tabel zijn de c/ϕ waarden van de proeven met de triaxiaal cel en de field shear box goed met elkaar in overeenstemming. Van de residual waarden kan verwacht worden dat ze meer de eigenschappen weergeven van de verpulverde mergel in het schuifvlak dan van het intakte gesteente, aangezien de mergel gemakkelijk verpulvert.

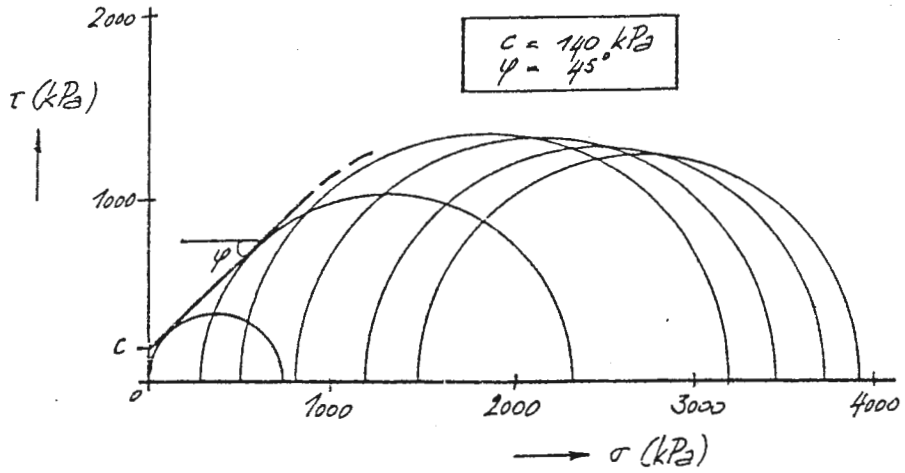


Fig. 8.: Mohr-cirkels bij belasting in de triaxiaalcel.

M.b.v. de triaxiaal cel is ook de vorm van de Mohr omhullende bepaald; zie fig. 8. Het blijkt, dat de maximale schuifsterkte wordt bereikt bij een steundruk $\sigma_3 \simeq 500$ kPa, de belasting σ_1 is dan ongeveer 1500 kPa. De afname van de maximale schuifspanning bij hogere steundrukken wordt toegeschreven aan het verbreken van de bindingen tussen de korrels door de hoge belastingdrukken.

Schaaleffekt

In het algemeen blijken de resultaten van in-situ en laboratoriumproeven sterk beïnvloed te worden door de schaal waarop de proeven verricht worden. De grootste rol bij in-situ proeven speelt de aanwezigheid van mechanische diskontinuïteiten (joints, breuken), die het gedrag van de gesteentemassa bepalen. De sterkte van de diskontinuïteiten is immers vele malen kleiner dan de sterkte van het gesteentemateriaal, waarvan de eigenschappen in het laboratorium gemeten worden. Wanneer echter het gesteente nauwelijks diskontinuïteiten bevat, zoals in het geval van de ENCI-mergel, is de aanwezigheid van inhomogeniteiten in het intakte gesteente de belangrijkste oorzaak van het schaaleffekt. In dit onderzoek werd het gehalte aan makrofossielen als indikatie van de inhomogeniteit van de mergel genomen.

E-modulus

Wat het schaaleffekt in de E-moduli (gemeten loodrecht op de gelaagdheid) betreft, zijn de volgende waarden gevonden, relatief aan de E-modulus in de laboratorium plaatbelastingsproef:

	plaatbelastingsproef			uniaxiale drukproef
	in situ		laboratorium	
	ϕ_{pl} = 600 mm	ϕ_{pl} = 200 mm	ϕ_{pl} = 40 mm	
plaatbelastings-proef	-	2.3 (1800 MPa)	1 (750 MPa)	0.9 (680 MPa)
anisotrope belastingsproef	2.4 (1100 MPa)	-	-	0.9 (440 MPa)

De grootte van het schaaleffekt blijkt bepaald te worden door de verhouding plaatdiameter : grootste korreldiameter; bij een grotere verhouding neemt het schaaleffekt relatief minder toe in grootte dan bij een kleinere verhouding. Dit blijkt ook uit de tabel: het verschil tussen het schaaleffekt bij een plaat van 600 mm, resp. 200 mm diameter is kleiner dan het verschil in schaaleffekt van een plaat van 200 mm, resp. 40 mm diameter. Zo blijkt ook mergel met een grote gemiddelde korreldiameter (fossielgruislaag) een groter schaaleffekt te vertonen dan mergel met een kleine gemiddelde korreldiameter.

Druksterkte

In de druksterkte van de mergel is het schaaleffekt nagenoeg afwezig; de laboratorium-waarden benaderen de in-situ-waarden goed. Een kwalitatieve verklaring van dit feit is niet gevonden, net zo min als een kwalitatieve verklaring van het schaaleffekt in de E-modulus.

Kohesie en hoek van inwendige wrijving

Substitutie van de in-situ-waarde voor de normaalspanning σ_N = 280 kPa in de Coulomb vergelijking $\tau = c + \sigma_N \tan\varphi$ met c = 90 kPa en φ = 48° (peak-waarden van verzadigde mergel) geeft:

$$\tau = 400 \text{ kPa}$$

Dit is slechts weinig hoger dan de gemeten waarde τ_{max} = 380 kPa. De in-situ waarden lijken goed weergegeven te worden door de laboratorium-waarden; een definitieve bevestiging kan pas volgen na meerdere in-situ schuifproeven.

TOEKOMSTIG ONDERZOEK

Tijdens de bepaling van de E-moduli in de laboratoriumproeven bleek, dat de moduli sterk gestoord werden door de inhomogeniteit van de mergel. Met name in de anisotrope belastingsproeven werd een systematisch verband tussen de resultaten hierdoor versluierd. Ook bleek meer informatie gewenst over de anisotropie van de mergel op de schaal van de plaatbelastingsproef met plaatdiameter 600 mm.

In het veldwerk dat in de zomer van 1983 door studenten van de T.H.-Delft in de ENCI-groeve zal worden verricht, zullen de volgende proeven worden verricht:

- een groot aantal plaatbelastingsproeven op kleine schaal om de invloed van de korrelgrootte van de mergel op de sterkte- en deformatieeigenschappen te bepalen.
- een plaatbelastingsproef op grote schaal met horizontale belastingsrichting.

Een derde onderzoeksdoel is de laterale variatie in de eigenschappen van de verschillende formaties, ook zal het zuidelijk deel van de groeve uitgebreider in kaart gebracht worden.

De studenten die aan het eerste deel van het onderzoek meewerkten, zijn H. Grabandt, H. Klumpen, J. Leo, O.J. Lussenberg, T. de Ruyter, A. Venmans en J. Zaat. Informatie over onderzoeksresultaten kunt u verkrijgen bij de Sektie Ingenieursgeologie, Afdeling der Mijnbouwkunde, Technische Hogeschool Delft, Mijnbouwstraat 120, 2628 RX DELFT.

834367