

DIE INGENIEURSGEOLOGIE VAN SANDSTEEN

IN DIE NATAL GROEP

deur

ANDRÈ JOHAN GEERTSEMA

VOORGELÊ TER VERVULLING VAN 'n DEEL VAN

DIE VEREISTES VIR DIE GRAAD

M.Sc.

IN DIE FAKULTEIT WIS- EN NATUURKUNDE,

UNIVERSITEIT VAN PRETORIA

PRETORIA

15 Mei 1986

SAMEVATTING

Sandsteen van die Natal Groep kom in 'n smal gordel aan die ooskus van Suid-Afrika voor. Die maksimum oos-wes wydte is ongeveer 70 kilometer en die lengte van noord na suid ongeveer 380 kilometer.

Die Natalsandsteen oordek gneis en granuliet van die Mapumulo Kompleks diskordant en word diskordant bedek deur tilliet van die Karoo Opeenvolging. Vyf formasies naamlik, die Eshowe, Mkunya, Mlazi, Inanda en Hibberdene word van onder na bo in die Natal Groep onderskei.

Rotsmateriaal eienskappe van die sandsteen wat ondersoek is, sluit in sterkte, vervormings-, duursaamheids en fisiese eienskappe. In die onverweerde vorm klassifiseer die sandsteen vir al genoemde eienskappe as 'n hoë tot baie hoë kwaliteit materiaal en kan, met die uitsondering van ongeveer vyf persent van die materiaal wat skalie is, as 'n kwartsiet of veldspatiese kwarsiet geklassifiseer word.

Die Natal sandsteen is ook vir alle aggregraat- en sommige padbou-eienskappe ondersoek en daar is gevind dat die onverweerde rots geskik is as bron van betonaggregraat en alle padbou materiaal.

Diskontinuiteite in die rotsmassa is meesal sub-horizontale laagvlakke en sub-vertikale nate en bring mee dat die rotsmassa 'n blokagtige voorkoms het.

Rotsmassa-eienskappe soos vervormings-, stabiliteits-, deurlatendheids- en skeurploegbaarheidseienskappe asook eienskappe van residuele materiale is ook ondersoek.

Hierdie studie het bevind dat die Natalsandsteen beide in die onverweerde tot die totaal verweerde (residuele) vorm 'n baie bruikbare, sterk en stabiele ingenieurs materiaal is waaruit en waarin strukture sonder veel probleme gebou kan word.

ABSTRACT

Sandstone of the Natal Group occurs in the form of an narrow strip along the south-eastern coast of South Africa. The maximum east-west width is approximately 70 kilometers and the length from north to south approximately 380 kilometers.

The Natal sandstone is disconformably underlain by gniess and granulite of the Mmapumulo Complex and disconformably overlain by tillite of the Karoo Sequence. The Natal Group can, from botton to top, be subdivided into the Eshowe, Mkunya, Mlazi, Inanda and Hibberdene Formations.

Rock material properties including strength, deformability, durability and physical properties were investigated. In the unweathered condition the sandstone classifies high to very high quality material as for all the above-mentioned properties and with the exception of approximately five percent of the material which classifies as a shale, it can be termed a quartzite or feldpathical quartzite. The sandstone was also investigated for all aggregate and a number of road building properties and it was found that the unweathered rock is suitable for concrete aggregate and road building materials.

Discontinueties in the rock mass are mainly sub horizontal bedding planes and sub vertical joints giving rise to a blocky appearance of the rock mass.

Rock mass properties such as deformability, stability, permeability and rippability as well as properties of the residual materials were also investigated.

This study concludes that Natal sandstone in both the weathered to completely weathered (residuale) condition is a very useful, strong and stable engineering material with which and in which structures

can be built without problems.

INHOUDSOPGAWE

	<u>BLADSY</u>
1. <u>INLEIDING.</u>	1
1.1 DOEL VAN STUDIE.	1
1.2 OMVANG VAN STUDIE.	3
2. <u>REGIONALE ONDERSOEK.</u>	4
2.1 GEOLOGIE.	4
2.2 GEOMORFOLOGIE.	5
2.3 GEOLOGIESE STRUKTUUR.	10
3. <u>GEOLOGIE.</u>	16
3.1 STRATIGRAFIE.	16
3.2 LITOLOGIE.	22
3.3 MINERALOGIE.	24
4. <u>ROTSMATERIAAL EIENSKAPPE</u>	28
4.1 STERKTE	28
4.1.1 Eenassige druksterkte en puntlassterkte	28
4.1.2 Drie-assige sterkte	51
4.1.3 Treksterkte	62
4.1.4 Skuifsterkte	67
4.2 VERVORMINGSEIENSKAPPE	79
4.2.1 Elastisiteitsmodulus	79
4.2.2 Poisson's verhouding	79
4.3 DUURSAAMHEID	88
4.4 FISIESE EIENSKAPPE	96
4.4.1 Poreusheid	96
4.4.2 Seismiese snelheid	98
4.4.3 Relatiewe digtheid	99
4.4.4 Digtheid	101

BLADSY

4.5	AGGREGAATEIENSKAPPE	103
4.5.1	Aggregaat vergruisingswaarde	103
4.5.2	Tien persent fynstof aggregaat vergruisingswaarde	106
4.5.3	Waterabsorpsie	108
4.5.4	Slytbestandheid	112
4.5.5	Gaafheid	113
4.5.6	Krimping	117
4.5.7	Skilferingsindeks	119
4.5.8	Alkali reaksie potensiaal	123
4.6	PADBOU-EIENSKAPPE	127
4.6.1	Gepoleerde klipwaarde	127
5.	<u>DISKONTINUÏTEITE</u>	131
5.1	LAAGVLAKKE EN TUSSENLAE	138
5.1.1	Laagoriëntasie	138
5.1.2	Oppervlakruheid	138
5.1.3	Deurlopendheid	138
5.1.4	Golwing	138
5.1.5	Spasiëring	138
5.1.6	Laagvulmateriaal en Dikte	139
5.2	NATE	139
5.2.1	Oriëntasie	139
5.2.2	Oppervlakruheid	140
5.2.3	Deurlopendheid	140
5.2.4	Golwing	140
5.2.5	Spasiëring	141
5.2.6	Naatvulmateriaal en dikte	141

BLADSY

6.	<u>ROTSMASSA-EIENSKAPPE</u>	143
6.1	ALGEMENE BESKRYWING	143
6.2	VERVORMINGSEIENSKAPPE	144
6.2.1	Plaatbelastingstoetse	144
6.2.2	Goodmandomkragtoetse	146
6.2.3	Vervormingsmetings in uitgrawings	147
6.3	STABILITEIT	148
6.3.1	Algemeen	148
6.3.2	Skuifsterkte van nate	150
6.4	DEURLATENTHEID	152
6.5	SKEURPLOEGBAARHEID	154
7.	<u>EIENSKAPPE VAN RESIDUELE MATERIALE</u>	162
7.1	GRONDPROFIEL	162
7.2	GRADERING	164
7.3	ATTERBERGGRENSE	164
7.4	VOGGEHALTE-DIGTHEIDSVERHOUDING	166
7.5	SKUIFSTERKTE	169
7.5.1	Skuifkastoetse	169
7.5.2	Drie-assige toetse	169
7.6	KONSOLIDASIE TOETSE	172
7.7	KONSTRUKSIEMATERIAAL	176
8.	<u>TOEPASSINGS</u>	177
8.1	FONDAMENTE	177
8.1.1	Damfondamente	177
8.1.2	Ander Fondamente	180
8.2	HELLINGS	182
8.3	TONNELS	184
8.4	KONSTRUKSIEMATERIALE	188

BLADSY

8.4.1	Growwe Aggregaat	188
8.4.2	Fyn Aggregaat	189
8.4.3	Stortklip, Rotsvul en Opvullings	192
8.4.4	Padboumateriale	193
9.	<u>GEVOLGTREKKINGS</u>	197
9.1	GEOLOGIE	197
9.2	ROTSMATERIAALEIENSKAPPE	198
9.3	AGGREGAATEIENSKAPPE	202
9.4	DISKONTINUÏTEITE	205
9.5	ROTSMASSA_EIENSKAPPE	206
9.6	EIENSKAPPE VAN TOTAAL VERWEERDE SANDSTEEN	206
9.7	ALGEMEEN	208

FIGURE

- FIGUUR 1 VERSPREIDING VAN DIE NATAL GROEP SANDSTEEN
- FIGUUR 2 DIE NATAL GROEP SANDSTEEN NOORD VAN DURBAN (LIETH
 EN RHODES 1967)
- FIGUUR 3 SIKLIESE DENUDASIE LANDOPPERVLAKKE IN NATAL
 (VOLGENS TURNER 1967) WAT DIE VERSPREIDING VAN DIE
 NATAL GROEP SANDSTEEN TOON.
- FIGUUR 4 STRUKTURELE KAART (GEDEELTELIK) VAN DIE NATALSE
 KUSGEBIED (VOLGENS MAUD, 1961)
- FIGUUR 5 HISTOGRAMME WAT DIE VERWANTSKAP VAN GEMIDDELDE
 PUNTLASSTERKTE VAN SANDSTEENTIPES TEENoor DIE GRAAD
 VAN VERWERING TOON
- FIGUUR 6 KOLOMDIAGRAM WAT DIE VERWANTSKAP VAN DIE GEMIDDELDE
 PUNTLASSTERKTE TEENoor DIE GRAAD VAN VERWERING VAN
 SANDSTEENTIPES A TOT E TOON
- FIGUUR 7 DIE WNNR DRIE-ASSIGE SEL
- FIGUUR 8 GRAFIESE VOORSTELLING VAN SPANNINGSTOESTANDE VIR
 SWIGTING VAN INTAKTE ROTSMATERIAAL - SANDSTEENTYPE
 A
- FIGUUR 9 GRAFIESE VOORSTELLING VAN SPANNINGSTOESTANDE VIR
 SWIGTING VAN INTAKTE ROTSMATERIAAL - SANDSTEENTYPE
 B
- FIGUUR 10 GRAFIESE VOORSTELLING VAN SPANNINGSTOESTANDE VIR
 SWIGTING VAN INTAKTE ROTSMATERIAAL - SANDSTEENTYPE
 C
- FIGUUR 11 GRAFIESE VOORSTELLING VAN SPANNINGSTOESTANDE VIR
 SWIGTING VAN INTAKTE ROTSMATERIAAL - SANDSTEENTYPE
 D
- FIGUUR 12 GRAFIESE VOORSTELLING VAN SPANNINGSTOESTANDE VIR
 SWIGTING VAN INTAKTE ROTSMATERIAAL - SANDSTEENTYPE
 E

- FIGUUR 13 VERWANTSKAP TUSSEN HOOFSPANNINGS BY SWIGTING VIR SANDSTEENTIPES A TOT E
- FIGUUR 14 APPARAAT VIR DIE BRAZILIAANSE TREKTOETS
- FIGUUR 15 TEKENING VAN DIE ROBERTSON SKUIFKAS. (HOEK EN BRAY, 1977)
- FIGUUR 16 GRAFIEK VAN SKUIFSTERKTE TEENoor NORMAALSPANNING
- FIGUUR 17 BELASTINGSRAAM VIR DIE DIREKTE SKUIFTOETS
- FIGUUR 18 BASIESE VORM VAN TOETSMONSTERS VIR DIE DIREKTE SKUIFTOETS
- FIGUUR 19 GRAFIESE VOORSTELLING VAN AKSIALE EN DIAMETRALE SPANNINGSVERVORMINGSKURWES
- FIGUUR 20 BEREKENINGSMETODES VAN YOUNG SE MODULUS UIT AKSIALE SPANNINGSVERVORMINGSKURWES
- FIGUUR 21 KLASSIFIKASIE VAN ROTS OP GROND VAN EENASSIGE DRUKSTERKTE EN TANGENS MODULUS BY 50% STERKTE (DEERE EN MILLER, 1966)
- FIGUUR 22 SKEMATIESE VOORSTELLING VAN DIE BLUSDUURSAAMHEIDSTOETSPAPPARAAT
- FIGUUR 23 DIE INVLOED VAN DIE AANTAL SIKLUSSE OP DIE BLUSDUUR SAAMHEID VAN SANDSTEENTIPES A TOT D (DIE BLUSVLOEISTOF IS WATER)
- FIGUUR 24 DIE INVLOED VAN DIE BLUSVLOEISTOF OP DIE BLUSDUURSAAMHEID VAN SANDSTEENTYPE E
- FIGUUR 25 VERGRUISINGSILINDER VIR VERGRUISINGSTOETSE
- FIGUUR 26 VERWANTSKAP TUSSEN DIE SKUIFSTERKTE EN DIE NORMAALSPANNING WAT DAAROP INWERK
- FIGUUR 27 SKEMATIESE VOORSTELLING VAN BOORGATE IN DIE INANDA FORMASIE (SUNBURY) WAT DIE WATERVERLIES IN LUGEONEENHEDE TOON
- FIGUUR 28 KORRELGROOTTEVERSPREIDING VAN RESIDUELE SANDSTEEN
- FIGUUR 29 DWARSSNIT VAN 'n PAD

TABELLE

- TABEL 1 Vergelyking van die litostratigrafiese klassifikasies van die Natal Groep Sandsteen deur vorige navorsers. (n Aanduiding van die dikte van die verskillende formasies word ook gegee)
- TABEL 2 Teenwoordigheid van sandsteentipes A tot E in die formasies van die Natal Groep
- TABEL 3 Mineraalsamestelling van sandsteentipes A tot E
- TABEL 4 Klassifikasie van verwering vir boorkernbeskrywing
- TABEL 5 Eenassige druksterkte van sandsteentipes van die Eshowe, Mkunya en Mlazi Formasies
- TABEL 6 Eenassige druksterkte van sandsteentipes A tot E (onverweerd)
- TABEL 7 Klassifikasie van intakte rotssterkte (Deere en Miller, 1966)
- TABEL 8 Puntlas sterkte-indeks (PLSI) van sandsteentipes van die Eshowe Formasie
- TABEL 9 Puntlas sterkte-indeks (PLSI) van sandsteentipes van die Mkunya Formasie
- TABEL 10 Puntlas sterkte-indeks (PLSI) van sandsteentipes van die Mlazi Formasie
- TABEL 11 Puntlas sterkte-indeks (PLSI) van sandsteentipes van die Inanda Formasie
- TABEL 12 Puntlas sterkte-indeks (PLSI) van sandsteentipes van die Hibberdene Formasie
- TABEL 13 Puntlas sterkte-indeks (PLSI) van die grade van verwering van sandsteentipes A tot E.
- TABEL 14 Puntlas sterkte-indeks (PLSI) van sandsteentipes A tot E van die Natal Groep Sandsteen
- TABEL 15 Klassifikasie van sandsteentipes se sterktes teenoor die graad van verwering.

- TABEL 16 Verwantskap tussen eenassige druksterkte (EADS) en puntlassterkte-indeks (PLSI) van onverweerde sandsteentipes
- TABEL 17 Korrelasie tussen puntlas sterkte-indeks (A) en puntlas sterkte-indeks (D) van sandsteentipes A tot E
- TABEL 18 Interne wrywingshoeke (ϕ) en kohesie (c) van sandsteentipes A tot E
- TABEL 19 Vergelyking tussen die eenassige druksterkte en die treksterkte van sandsteentipes A, B, C en D
- TABEL 20 Treksterktes van sandsteentipes A, B, C en D
- TABEL 21 Kohesie (c) en interne wysigingshoeke (ϕ) van sandsteentipes A, B, C en D soos bepaal d.m.v. die Robertson skuifkas
- TABEL 22 Skuifsterktes van sandsteentipes A, B, C en D
- TABEL 23 Vervormingseienskappe van sandsteentipes A, B, C, D en E
- TABEL 24 Gemiddelde vervormingseienskappe van sandsteentipes A tot E
- TABEL 25 Gamble se blusduursaamheidsklassifikasie
- TABEL 26 Poreusheid van sandsteentipes van die Natal Groep sandsteen
- TABEL 27 Seismiese snelhede van sandsteentipes A tot D (onverweerd)
- TABEL 28 Relatiewe digthede van sandsteentipes A tot E asook van die Inanda en Mkunya Formasies van die Natal Groep sandsteen
- TABEL 29 Digthede vir sandsteentipes A tot E
- TABEL 30 Aggregaatvergruisingswaardes vir sandsteentipes A tot D en vir die Hibberdene, Inanda, Mkunya en Eshowe Formasie
- TABEL 31 Tien persent aggregaat vergruisingstoetswaardes vir die Inanda, Mkunya en Eshowe Formasies
- TABEL 32 Spesifikasie vir 10% F.A.V.T.
- TABEL 33 Waterabsorpsiewaardes van sandsteentipes A, B, C en D, van die Eshowe, Mkunya, Inanda en Hibberdene Formasies

- TABEL 34 Slytbestandheid van sandsteentipes in die verskillende Formasies van die Natal Groep
- TABEL 35 Gaafheid van sandsteentipes in die Inanda en Eshowe Formasies van die Natal Groep sandsteen
- TABEL 36 Krimping van beton vervaardig van sandsteen van die Inanda Formasie
- TABEL 37 Gleufgroottes vir die skilferingsindekstoets
- TABEL 38 Skilferingsindeks van sandsteen van die Inanda, Mkunya en Eshowe Formasies
- TABEL 39 Gepoleerdeklip-waardes vir sandsteentipes A en B van die Inanda en Mkunya Formasies
- TABEL 40 Resultate van die vinnige chemietoets
- TABEL 41 Opsomming van die linieêre uitsetting en alkali reaktiwiteit van mortelprismas
- TABEL 42 Opsomming van die linieêre uitsetting en alkali reaktiwiteit van betonprismas
- TABEL 43 Diskontinuiteitseienskappe van laagvlakke
- TABEL 44 Diskontinuiteitseienskappe van naatstel A
- TABEL 45 Diskontinuiteitseienskappe van naatstel B
- TABEL 46 Diskontinuiteitseienskappe van naatstel C1
- TABEL 47 Diskontinuiteitseienskappe van naatstel C2
- TABEL 48 Diskontinuiteitseienskappe van naatstel D
- TABEL 49 Opsomming van diskontinuiteitseienskappe van naatstelle A, B, C1, C2 en D
- TABEL 50 Opsomming van resultate van boggrondse plaatbelastingstoetse (EVKOM, 1983)
- TABEL 51 Opsomming van resultate van ondergrondse plaatbelastingstoetse (EVKOM, 1983)
- TABEL 52 Opsomming van resultate van Goodmandomkragtoetse (EVKOM, 1983)

- TABEL 53 Verhouding tussen die elastisiteits/vervormings modulus van die rots teenoor die graad van verwerking (EVKOM, 1983, Mouton, D.J. 1982)
- TABEL 54 Opsomming van piekskuifsterktes vir diskontinuiteitsoppervlakke by 1,0 MPa normaalspanning (EVKOM, 1983)
- TABEL 55 Resultate van waterdruktotse in boorgat 1207 (Mvumase) wat die deurlatendhede van die Eshowe, Mkunya en Mlazi Formasies toon
- TABEL 56 Skeurploegbaarheidsklassifikasie van genate rotsmassas (Weaver, 1975)
- TABEL 57 Seismiese snelhede van rotsmassaklasse (NVK, 1982)
- TABEL 58 Skeurploegbaarheidsaanslag van sandsteentipes van die Natal Groep sandsteen (Drennan et al, 1981)
- TABEL 59 Skeurploegbaarheid van sandsteenrotsmassas in sewe snitte op die Nasionale Roete 3, seksies 1 en 2 (NVK, 1982)
- TABEL 60 Verteenwoordigende grondprofile in die Natal Groep sandsteen
- TABEL 61 Opsomming van Atterberggrense, plastisiteitsindeks, liniêre krimpings en natuurlike voggehalte
- TABEL 62 Maksimum digtheid van residuele sandsteen by optimum voggehalte
- TABEL 63 Opsomming van skuifkastoetsresultate van natuurlike materiale (Drennan, et al 1979, 1980)
- TABEL 64 Opsomming van skuifkastoetse op hergekompteerde materiaal (Drennan, et al, 1979, 1980)
- TABEL 65 Opsomming van drie-assige toetsresultate van gekompakteerde materiale (Drennan, et al, 1979)
- TABEL 66 Opsomming van oedometer toetsresultate (Drennan, et al, 1979)
- TABEL 67 Swigpotensiaal van hergekompteerde materiale (Drennan, et al, 1979)

TABEL 68 Toename in sterkte met persentasie stabilisasiemiddel
(N.V.K, 1982)

TABEL 69 Rotsmateriaaleienskappe van Natalsandsteentipes A tot E

TABEL 70 Aggregaateienskappe van sandsteentipe A tot D van die
Natalsandsteen

INGENIEURSGEOLOGIESE EIENSKAPPE VAN SANDSTEEN IN DIE NATAL GROEP

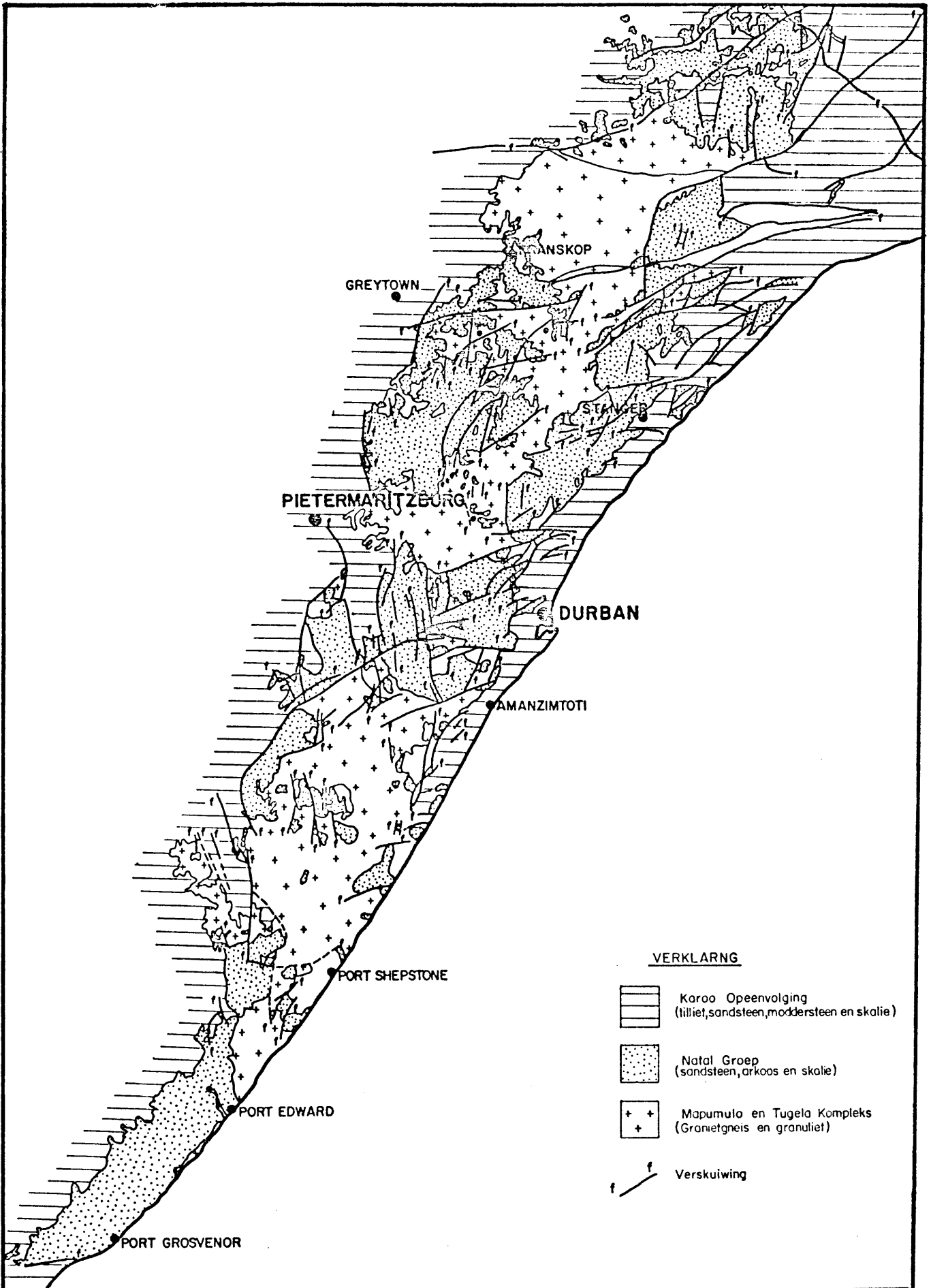
HOOFSTUK 1. INLEIDING

1.1 DOEL VAN STUDIE

Ingenieursgeologie is 'n betreklike nuwe benaming vir die toepassing van geologie wat sedert die vroegste jare al 'n rol speel in die mens se aktiwiteite op aarde. Dit is die taak van die ingenieursgeoloog om die geologie ten beste te benut en aan te wend vir die daarstelling van siviele strukture en gepaardgaande infrastruktuur. Dit is hieruit dus duidelik dat die bepaling van die eienskappe van die geologiese materiale een van die ingenieursgeoloog se primêre take is. Geologiese materiale waarmee die ingenieursgeoloog werk is grondmateriaal, rotsmateriaal en rotsmassas. Rotsmateriaal kan gedefinieer word as 'n homogene rotsmonster en rotsmassa as 'n rotsliggaam bestaande uit die rotsmateriaal met alle strukturele eienskappe soos nate, laagvlakke skuifskurwes ens. wat in die natuur voorkom.

Die doel van hierdie studie is om die ingenieursgeologiese eienskappe van sandsteen in die Natal Groep (Figuur 1) te bestudeer en saam te vat. Dit is gedoen deur alle belangrike ingenieurseienskappe van die grond- en rotsmateriale en rotsmassa na te vors deur beskikbare inligting op te spoor en te verwerk en waar geen inligting gevind kon word nie toetse op verteenwoordigende monsters te laat uitvoer.

Vir hierdie doel is vyf sandsteentipes op grond van visuele kenmerke onderskei en beskryf. Sover moontlik is die ingenieursgeologiese eienskappe van die verskillende formasies van die Natal Groep sandsteen, nl. die Eshowe, Mkuyna, Mlazi, Inanda en Hibberdene Formasies beskryf.



FIGUUR. I. VERSPREIDING VAN DIE NATAL GROEP SANDSTEEN.

1.2 OMVANG VAN DIE STUDIE

Die studie is uitgevoer om so volledig moontlik alle ingenieurs-geologiese eienskappe van die Natal Groep sandsteen te bestudeer. Hierdie eienskappe sluit onder andere in die sterkte, vervormings-eienskappe, fisiese eienskappe, deurlatendheidseienskappe, alle aggregaateienskappe, padboumateriaaleienskappe, en stabiliteits-eienskappe van sandsteenmateriale in alle stadia van verwerking.

Die Natalsandsteen dagsoom in die vorm van 'n smal gordel langs die suidoostelike kus van Suid-Afrika. Die maksimum oos-wes wydte is ongeveer 70 kilometer en die lengte van noord na suid ongeveer 380 kilometer. (Figuur 1)

HOOFSTUK 2. REGIONALE ONDERSOEK

2.1 GEOLOGIE

Die Natal Groep sandsteen is voorheen met die Tafelberg Groep wat in die Wes- en Oos-Kaap voorkom en wat ook diskordant op gesteentes van die Basis Kompleks lê, gekorreleer. Op grond van die afwesigheid van paleontologiese bewyse van die ouderdom van die gesteente-eenhede is dit meer gepas om hulle slegs as chronostratigrafiese (tyd ekwivalente) eenhede te beskou. Die twee gesteente-eenhede toon litologiese ooreenkoms en albei word diskordant oorelê deur sedimente van die Karoo Opeenvolging.

Natalsandsteen kom voor vanaf die suide by Port St. John, noordwaarts deur die Transkei en parallel aan die kus deur Natal tot in Zoeloeland, suid van Ulundi. 'n Aantal kleiner dagsome kom in verskuiwingsblokke noord hiervandaan in die omgewing van Hluhluwe voor.

Sandsteen van die Natal Groep lê op granietgneis en granuliet van die Mapumulo Kompleks wat langs 'n as van die Natalmonoklien voorkom. Aan die binnelandkant van die struktuur is die Natalsandsteen byna horisontaal gelaagd terwyl aan die seekant die helling van die gelaagdheid merkbaar ooswaarts in die rigting van die see is. (Truswell, 1970).

Die kusgebiede van Natal word tans hewig ge-erodeer. Weerstandbiedende lae in die sandsteen veroorsaak dat platogebiede gevorm word langs rivierstrome wat diep in die graniet vloergesteentes ingesny het. As gevolg van groot verskuiwings is hierdie plato's dikwels op verskillende hoogtes bo seevlak bewaar. Sommige van hierdie plato's soos byvoorbeeld die Tafelberg in Natal en die Vallei van 'n Duisend Heuwels het bewaar gebly op die as van die Natal monoklien.

Die Natal Groep vertoon 'n maksimum dikte in die suide (1220m) en word noordwaarts dunner. Noord van Durban wissel dit tussen 450m en 600m. Hierdie diktes is maksimum en normaalweg is slegs 'n aantal honderd meter bewaar op enige gegewe posisie.

Die totale oppervlakte waaroor sandsteen van die Natal Groep afgeset is, is onbekend. Die verspreiding daarvan na die ooste is onbekend as gevolg van die bedekking van die see en min is bekend oor die verspreiding na die weste aangesien dit deur sedimente van die Karoo Opeenvolging bedek word. Dit blyk dat die afsettingskom waarskynlik trogvormig en parallel aan die huidige dagsoomgebied was. Vervoerde sand, gruis en slik was hoofsaaklik vanuit die noorde en noordooste in die afsettingskom ingevoer.

Suid van Ulundi en in die Nkandla gebied het 'n dik konglomeraat aan die basis van die Natal Groep ontwikkel. In sommige plekke kan dit as 'n rolsteenlaag beskryf word. Konglomeraatfragmente is afkomstig van kwartsiet vloergesteente van die Insuzi Formasie. Suidwaarts is dit baie duidelik dat die konglomerate op 'n gelyk of effens golwende vloer afgeset is. Grofkorrelrige detritale materiaal is baie algemeen terwyl tussengelaagde skalielae voorkom.

In die suide kom liggekleurde kwartsiet voor, maar dit gaan noordwaarts oor in sandsteen waar dit meer veldspaties is en die kleur na rooi verander. Noord van Durban bestaan die opeenvolging hoofsaaklik uit rooi gekleurde sandsteen en arkoos met ondergeskikte karmosynrooi skalie en kwartsiet. Dit word gesien (Trusswell, 1970) as 'n rooilaag opeenvolging wat gevorm het gedurende 'n reeks saamgroeïende vloedvlaktes en alluviale waaiers onder kontinentale toestande.

Litostratigrafiese eenhede wat deurlopend oor groot gedeeltes van die noordelike Natal kusgebied voorkom, is herken (Leith en Rhodes, 1967). Hiervan is die ortokwartsiet merker (Mkunya Formasie) die maklikste herkenbaar. Hierdie litostratigrafiese eenhede word in paragraaf 3.1.2 verder bespreek. Figuur 2 toon 'n vereenvoudigde kolomsnit van die Natalsandsteen noord van Durban (Leith en Rhodes 1967).

2.2 GEOMORFOLOGIE

Geomorfologiese prosesse het volgens Barnardo (1985), 'n belangrike rol gespeel in die vorming van die Natalse landskap soos dit vandag daar uitsien. Die ontwikkeling van die landskap is volgens King (1940, 1954, 1963, 1972) deur 'n aantal erosiesiklusse beheer. Die variasie in die aantal landvorme wat ontstaan het as gevolg van die erosiesiklusse was hoofsaaklik veroorsaak deur pediplanasie (die vorming en uitbreiding van pedimente Thornbury, 1969) en elke siklus word deur groot eskarpe van die voorafgaande siklus geskei. Die ouer landoppervlak word aktief as gevolg van die proses van terugwaartse erosie vernietig. Dit is dus moontlik dat verskeie siklusse van landvorme gelyktydig kan bestaan. Die ontwikkeling van 'n nuwe erosiesiklus word geïnisieer deur 'n groot verandering in die erosiebasis (seevlak) wat veroorsaak word deur orogenese (opheffing van die land of 'n terugtrekking van die see).

Die Gondwana erosieoppervlak het voor die opbreek van Gondwanaland reeds bestaan en het baie groot oppervlaktes van die landmassa beslaan. Vandag bestaan dit slegs as oorblyfsels op die hoogste berge en plato's soos byvoorbeeld in Lesotho.

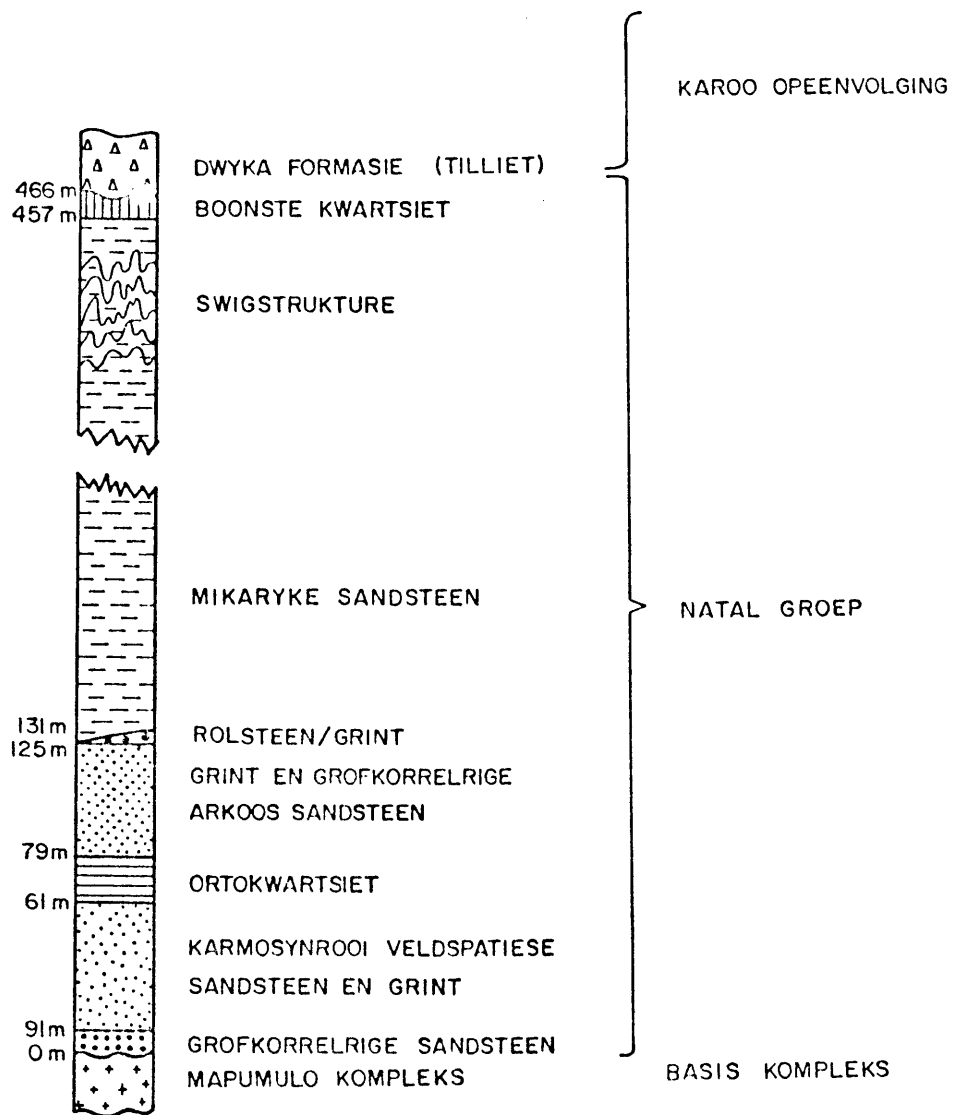


FIG. 2. DIE NATAL GROEP SANDSTEEN NOORD VAN DURBAN.
(LEITH EN RHODES 1967).

Na die opbreek van Gondwanaland as gevolg van kontinentale drywing is 'n nuwe landskapsiklus op die nuutgevormde Afrika kontinent geïnisieer waarop denudasie plaasgevind het om 'n gelyke oppervlak tussen 300 en 500 meter onder die Gondwana landoppervlak te vorm. Hierdie vroeë-Kryt denudasiesiklus is beëindig deur middel-Kryt tektonisme wat opheffing van die land tot so veel as 1000m (in Natal) tot gevolg gehad het. 'n Periode van denudasie vanaf middel Kryt tot middel-Tersiër, het hierna gevolg, wat 'n gelyk oppervlak, wat King (1963) die Afrika erosie oppervlak genoem het, oor die grootste gedeelte van Suidelike Afrika tot gevolg gehad het. Oorblyfsels van hierdie erosie oppervlak is wydverspreid en verteenwoordig 'n geërfde planasie oppervlak waaruit die hedendaagse topografie van die subkontinent ontwikkel het. Gedurende die middel tot laat Tersiër (Mioseen) het geleidelike opheffing (in die vorm van 'n koepel van die subkontinent die eerste van twee na-Afrika of laat-Tersiëre oppervlakke tot gevolg gehad wat huidiglik groter oppervlaktes as enige ander in Suidelike Afrika beslaan. Teen die einde van die Mioseen het 'n tweede opheffing 'n tweede laat-Tersiëre oppervlak tot gevolg gehad. Teen die einde van die Plioseen het 'n verdere groot opheffing plaasgevind waarna die subkontinent sy huidige topografie verkry het as gevolg van die insnyding van riviere in diep valleie, veral in Natal.

Turner (1967) het 'n gedetailleerde geomorfologiese kaart van Natal en aangrensende gebiede saamgestel (Figuur 3) wat die gebiede wat deur elk van die agtergeblewe denudasie oppervlakke beslaan word, toon. Hy verskil egter van King in die opsig dat hy 'n addisionele Krytoppervlak tussen die na-Gondwana en die Afrika landoppervlak asook 'n derde na-Afrika oppervlak voorstel. Uit die kaart wat deur hom saamgestel is (Figuur 3) is dit hieruit duidelik dat die Natal Groep sandsteen hoofsaaklik op twee landoppervlakke bestaan, nl. die Afrika landoppervlak en die laat-Tersiëre landoppervlak.

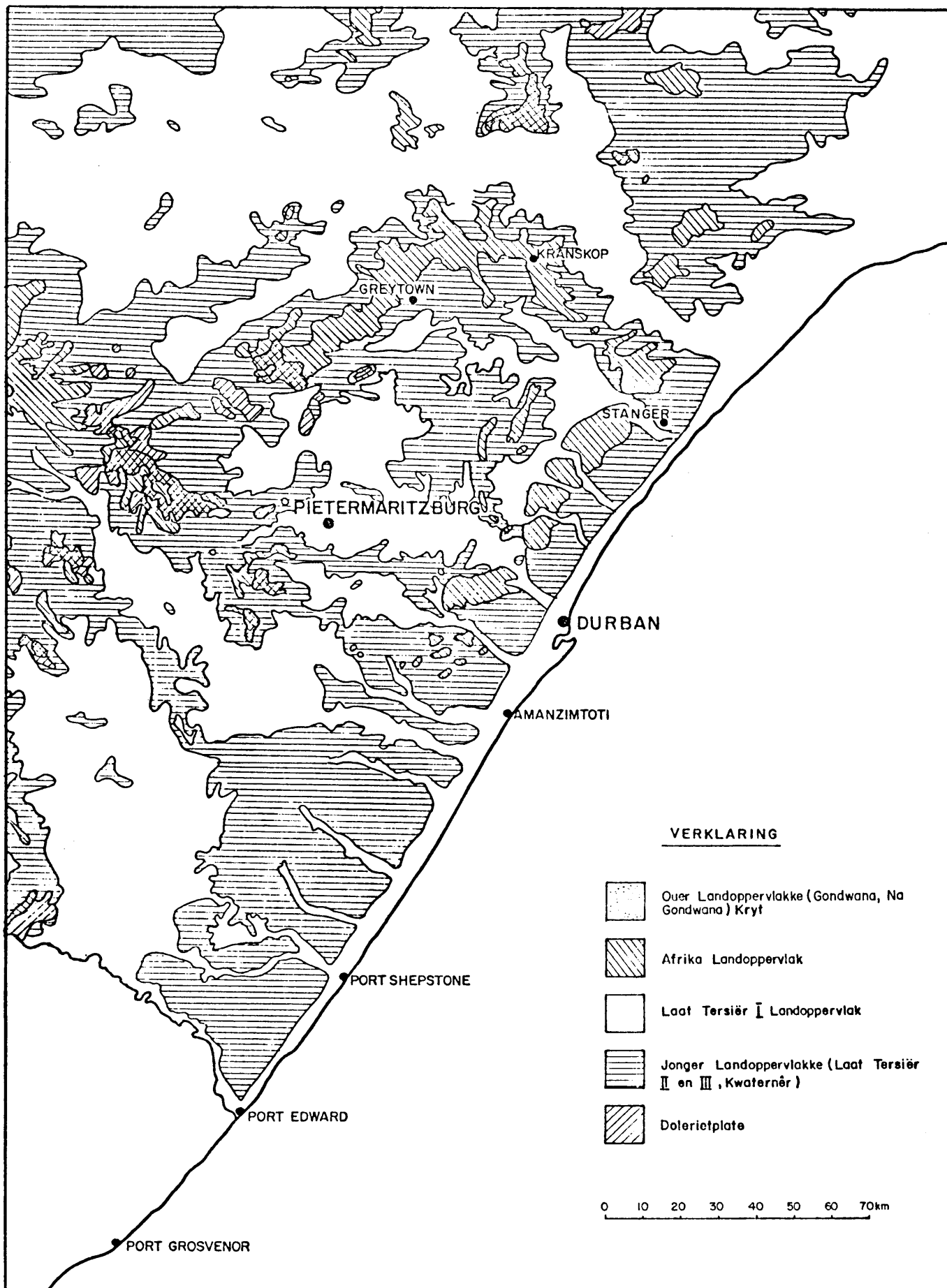


FIG. 3 : SIKLIESE DENUDASIE LANDOPPERVLAKKE IN NATAL (VOLGENS TURNER, 1967)

Volgens De Swardt en Bennet (1974) is die huidige geomorfologiese landskap van Suidelike Afrika die gevolg van skeurverskuiwings wat die opbreek van Gondwanaland voorafgegaan het en wat soortgelyk is aan die skeurverskuiwing van die Sentraal Afrikaanse slenkval. Die skouer van hierdie Jurassiese graben was hoër as die algemene landsvlak en die oorspronklike eskarp wat deur die verskuiwings gevorm was, is deur erosie terug verskuif om die hoogs onreëlmatige Groot Eskarp in Suidelike Afrika te vorm. Die erosie oppervlakke in Natal word deur hulle aan vier fisiografiese kenmerke toegeskryf en die vier eskarpe is soos volg: die Groot eskarp, die Pietermaritzburg trap, die Natal skarnierlyn en die reguit kuslyn. Die kus erosie-oppervlak is die jongste wat deur De Swardt en Bennet herken is en kom vanaf die kuslyn tot ongeveer 80 kilometer die binneland voor. Die hele verspreiding van die Natal Groep sandsteen kom dus in hierdie sone voor.

Volgens Mc Carthy (1985) is die landskap en dus ook die helling na die ooste van sedimente van die Natal en Ecca Groepe in Natal die gevolg van Kontinentale drywing. Groot verskuiwings veral oor die suidelike kus is getuie van hiervan.

2.3 GEOLOGIESE STRUKTUUR

Volgens Maud (1961) varieer gesteentes in Natal in ouderdom van Argeïes tot Tersier en Kwaternêr. In die noorde is gesteentes jonger as die Jura, oënskynlik nie veel versteur sedert die afsetting daarvan nie, in teenstelling met gesteentes in die suide wat versteur is tot die middel-Kryt. Die onderste gesteentes in die gebied is die vloergesteentes van graniet en geassosieerde skis wat diskordant oorlê word deur sandsteen en ondergeskikte skalie van die Natal Groep, wat weer diskordant oorlê word deur gesteentes van die Karoo Opeenvolging.

Die regionale struktuur van Natal bestaan uit onversteurde skalie en sandsteen van die Karoo Opeenvolging in die hoërlygende binneland wat met 'n klein hoek na die weste hel, terwyl gesteentes naby die kus in die rigting van die see hel.

2.3.1 Beskrywing van die strukture

In die suide (Pondoland) lê 'n groot gebied waar die gesteentes teen 'n klein hoek weswaarts hel en geen verskuiwings voorkom nie. Die rotstipe is hoofsaaklik sandsteen van die Natal Groep maar na die weste en heelwat hoër bo seevlak word die sandsteen deur tilliet van die Dwyka Formasie oorlê. Hierdie groot sandsteen-dagsoom word in twee gedeeltes deur die Bongwan Gas verskuiwing ('n hellings afskuiwing) wat 'n verplasing van 330m na die ooste het en noord deur gesteentes van die Karoo Opeenvolging strek. (Figuur 4). Wes en noordwes van Port Shepstone kom verskuiwings voor wat net wes van noord strek en wat dan noord na noord-oos swenk. Hierdie verskuiwings kan in 'n deurlopende groot boog, konkaaf suid-ooswaarts, gevolg word tot suid van Durban waar dit in die see verdwyn. Oor die algemeen het die verskuiwings in sandsteen van die Natal Groep plaasgevind met gesteentes van die Karoo Opeenvolging op die omtrek. 'n Kern van graniet lê aan die konkawe kant. Langs die koord van die boog (die kuslyn) kom 'n aantal kleiner verskuiwings voor. Hierdie verskuiwings is parallel aan die kus maar in die noord-ooste swaai hulle in die rigting van die see. Hellingsrigtings van die gelaagdheid is in 'n suid-oostelike rigting na die see, behalwe waar skeur as gevolg van verskuiwings plaasgevind het.

In die noordweste word die boogvormige struktuur gevorm deur 'n aantal verskuiwings in sandsteen en graniet, almal met 'n afskuiwing na die noordweste. Hierdie verskynsel is 'n klassieke

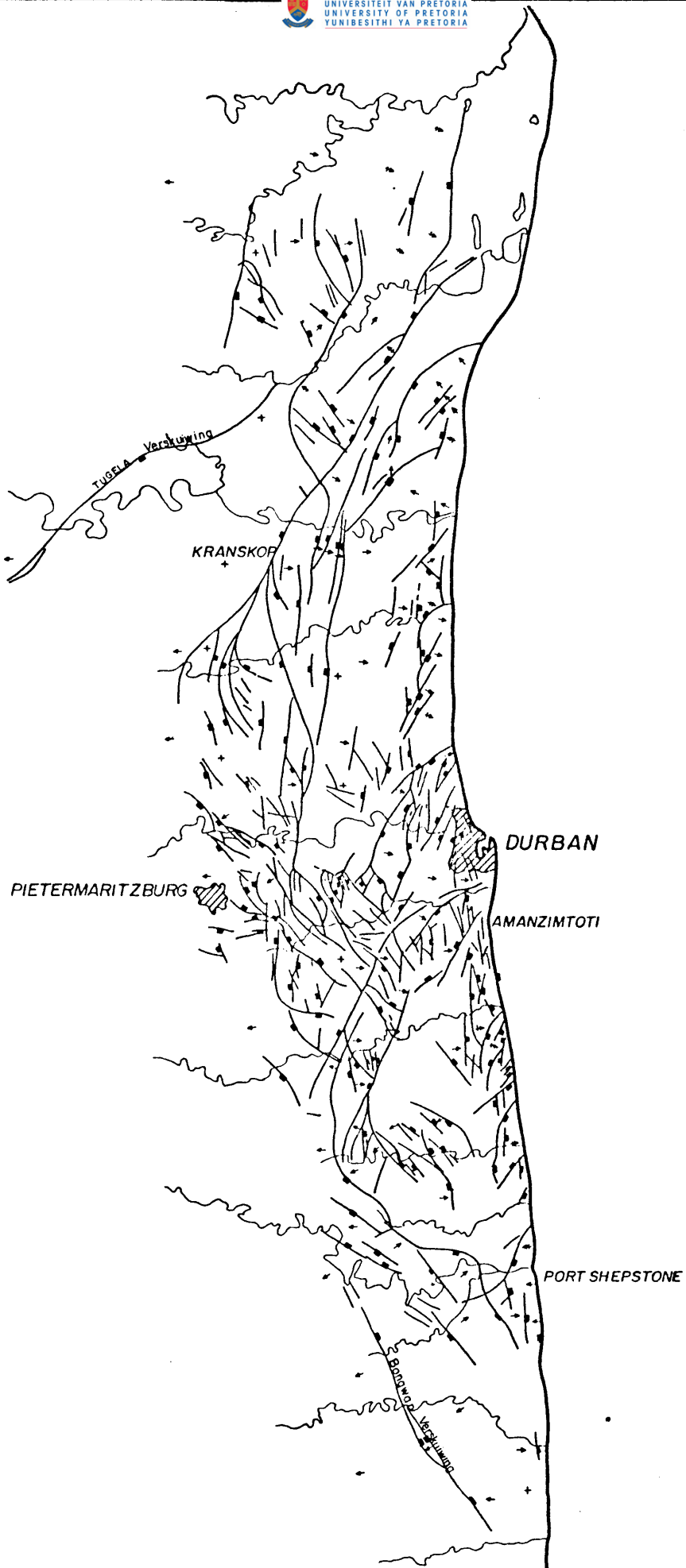


FIG. 4. STRUKTURELE KAART (GEDEELTELIK) VAN DIE NATALSE KUSGEBIED.
(MAUD, 1961).

voorbeeld van kantelblad trapverskuiwings en is sigbaar langs die Tongaat-Faunless en Stanger-Kranskop paaie, waar kantelblokke met hellings van ongeveer 15° gesien kan word. Indien hierdie verskuiwings noordwaarts gevolg word, gaan die boog oor in 'n verskuiwingsone wat geassosieer is met die suid-oostelike afskuifblok van die Ngoye horst, waar dit na die ooste swaai en in die see verdwyn. Die kern van die boog bestaan uit sandsteen van die Natal Groep wat teen tussen 5° en 8° na die suid-ooste hel en 'n ononderbroke blok vanaf Umdloti tot by die Tugelarivier vorm.

'n Gedetailleerde Landsatondersoek na lineasies is deur Wadley (1982) op 'n gebied tussen Stanger in die suide en Eshowe in die noorde, Amatikulu in die ooste en Kranskop in die weste uitgevoer. Die oostelike gedeelte van die gebied word gedomineer deur verskuiwings van na-Karoo ouderdom, wat bygedra het tot die bewaring van Natalsandsteen en jonger gesteentes in graben-strukture. Volgens Guy (1974) is meeste van die verskuiwings in die gebied normale verskuiwings of van die gravitasie tipe, gewoonlik met 'n steil helling na die noorde. Deur middel van bestudering van Landsatafbeeldings is dit moontlik om regionale geologiese lineasies en neigings te identifiseer wat nie deur middel van meer gedetailleerde afbeeldings (lugfoto's ens) ondersoek kan word nie.

Wadley (1982) het in sy studie vier dominante stelsel lineasies geïdentifiseer. Stelsel A en B (met orientasies 070° en 135° onderskeidelik) is oorheersend en vorm breukrigtings, oënskynlik as gevolg van Mohr-Coulomb brosbreking onder die invloed van triaksiale drukspannings. Lineasiesstel C, wat uit twee substelsel bestaan, is parallel met die huidige kuslyn (040°) en kan die verskynsel van kantelblok trapverskuiwings langs die kontinentale grens verteenwoordig. Stelsel D (165°) is op regionale basis ongeskik maar is dominant in die omgewing van die Mvumasegebied naby Stanger.

By Mowbray is die basis van die Natalsandsteen op 1246 meter (HH) en styg dit tot 1312 meter (HH). Dit is die enigste ligging waar Natalsandsteen so hoog voorkom. Die basis van die Natalsandsteen is dus hier sowat 1246 meter bo die sandsteen van die Pondolandse kus verhewe.

Na die noord-ooste word die hoog liniêr ene afgeskuipte blok lê aan die noordwestekant waar dit die noord-oostelike grens van die Nkwalini graben vorm. Die liniêre gedeelte is parallel aan die Groot Tugelaverskuiwing met die afskuiptblok in die suid-ooste. In die Mapumulo Distrik word die gebied tussen die sentrale en noordelike boë gekenmerk deur kantelblok trapverskuiwings met kanteling na die suid-ooste.

2.3.2 Aard van die verskuiwings

Die vertikale verplasing van verskuiwings in die verskillende verskuiwingsisteme wissel grootliks van so te sê geen tot honderde meter. Oor die algemeen vergroot die omvang van verskuiwings na die ente van die boë waar bewegings gewoonlik deur 'n paar groot verskuiwings plaasgevind het soos byvoorbeeld die Eteza verskuiwing met 'n verplasing van ongeveer 1650 meter. Waar verskuiwingsvlakke sigbaar is, is die hellings nêrens kleiner as 60° nie, met 'n gemiddelde helling van 70° . Dit kom voor asof al die verskuiwings gravitasie of normale verskuiwings is.

In die konkawe gedeeltes van die boë was verskuiwings beperk deurdat beweging verminder is deur opeenvolgende kanteling van die verskuiwingsblokke wat almal in dieselfde rigting hel. Alhoewel die kantelblok trapverskuiwings individueel klein van omvang is, is die kumulatiewe effek oor 'n aantal kilometer aanmerklik.

Die gekantelde blokke varieer beide in lengte en breedte van ongeveer 'n kilometer tot ongeveer vyftien kilometer en meer.

2.3.3 Ouderdom van verskuiwings

Die ouderdom van verskuiwings is slegs in twee uiterste lokaliteite omstrede. In Zoeloeland het die Eteza verskuiwing in lawas van die Lebombo Groep nie afsettings in die laer-Kryt versteur nie en in Pondoland is hierdie gesteentes deur diastrofisme, waarskynlik as gevolg van beweging op bestaande verskuiwingsvlakke, versteur. Die oorgrote meerderheid van die verskuiwings kan dus toegeskryf word aan diastrofisme aan die einde van die Jura periode.

HOOFSTUK 3. GEOLOGIE

3.1 STRATIGRAFIE

Sandsteen van die Natal Groep kan op 'n regionale basis (SAKS 1980) in vyf formasies geklassifiseer word naamlik (van die basis na bo) Eshowe Formasie, Mkunya Formasie, Mlazi Formasie, Inanda Formasie en Hibberdene Formasie. Genoemde gesteente-eenhede kan vanuit die noorde na die suide met mekaar vergelyk word. Hierdie vergelyking word in Tabel 1 getoon en dit blyk dat gesteente-eenhede betreklik goed korreleerbaar in die noordelike en sentrale Natal is maar 'n fasiesverandering bestaan tussen gesteentes noord van Port Shepstone en ten suide daarvan. Hardie (1958) het 'n onderskeid getref tussen wat hy genoem het "rooi" fasies in die noorde en die "grys" fasies in die suide. Rhodes en Leith (1967) het aangedui dat litostratigrafiese onderverdelings van die rooi fasies redelik maklik onderskei kan word. Suid van die Umhlangakulurivier se monding is die stratigrafiese onderverdeling moeiliker herkenbaar. Die Eshowe Formasie lê diskordant op 'n granietgneis en granietvloer van die Mapumulo Kompleks.

3.1.1 Eshowe Formasie

Die Eshowe Formasie bestaan hoofsaaklik uit bruin tot rooi, kruisgelaagde, veldspatiese sandsteen waarvan die dikte tussen 50 en 100 meter wissel. (SAKS, 1980). Aan die basis van hierdie formasie kom 'n konglomeeraat, genaamd Ulundi Lid voor, bestaande uit kwartsietrolstene wat rooibruin in kleur en tot sowat 100mm in deursnee is.

BENADERDE DIKTE IN METER	SUID-AFRIKAANSE KOMITEE VIR STRATIGRAFIE (1980)	RHODES, R.C. EN LEITH, M.J. (1967) NOORDELIKE NATAL	ROBERTS, D.L. (1981) DURBAN GEBIED		KINGSLEY, C.S. (1978) SUIDELIKE NATAL	
					NOORD VAN HIBBERDENE	SUID VAN HIBBERDENE
600	DWYKA FORMASIE (TILLIET)	DWYKA FORMASIE (TILLIET)	DWYKA FORMASIE			
	HIBBERDENE FORMASIE (30)	BOONSTE KWARTSIET (10)	WESTVILLE FORMASIE (100)			
500	INANDA FORMASIE (300)	MIKARYKE SONE (360)	MARRIANHILL FORMASIE (350)		DWYKA FORMASIE (TILLIET)	DWYKA FORMASIE (TILLIET)
					HIBBERDENE FORMASIE (25)	SHELLY BEACH FORMASIE (80) (VELDSPATIESE SANDSTEEN)
400				MIKARTKE SANDSTEEN SONE (25)	MHLANGENI FORMASIE (180) (GRINT)	
300				WOOD GRANGE FORMASIE (75) (ARKOOS)		
200	MLAZI FORMASIE (80)			MKUNYA FORMASIE (80) (KWARTSIET)	UVONGO FORMASIE (135) (SANDSTEEN)	
100	MKUNYA FORMASIE (20)	ARKOOS SONE (50)	MLAZI FORMASIE (40)			
	ESHOWE FORMASIE (100)	ORTOKWARTSIETMERKER (20)	MKUNYA FORMASIE	LID DASSENHOEK (12)	MTWALUNE FORMASIE (125) (ARKOOS)	MANABA FORMASIE (95) (KONGLOMERAAT)
		BASALE SONE		LID SITUNDU (15)		
0			ESHOWE FORMASIE (40)			
GRANIET GNEIS EN GRANULIET VAN DIE KOMPLEKS MAPUMULO						

TABEL I. VERGELYKING VAN LITOSTRATIGRAFIESE KLASSIFIKASIES VAN DIE NATAL GROEP SANDSTEEN DEUR VORIGE NAVORSERS
('n AANDUIDING VAN DIE DIKTE VAN DIE FORMASIES WORD OOK GEGEE).

In noord Natal korreleer hierdie formasie met die Basale Sone (Rhodes en Leith, 1976) en bestaan dit uit ongeveer 70 meter karmosynrooi, kruisgelaagde, veldspatiese sandsteen met 'n grofkorrelrige sandsteen tot grint aan die basis.

By Durban is hierdie formasie slegs sowat 40 meter dik (Roberts, 1980) en bestaan dit uit rooibruin, grof tot baie grof, kruisgelaagde veldspatiese sandsteen. Karmosynrooi sliksteen- en moddersteen-(skalie) lae wat in dikte tussen 1 en 2 meter wissel kom verspreid aan die basis van hierdie formasie voor. Hoër op kom lae van dieselfde materiaal voor. Korrelgrootte, veldspatinhoud, en laagdikte neem af hoër op in die formasie.

In die suide van Natal korreleer hierdie formasie met die Mtwalume Formasie (noord van Hibberdene) en die Manaba Formasie (suid van Hibberdene). Die Mtwalume Formasie is in hierdie omgewing sowat 125 meter dik en bestaan uit ligroos tot bruin, grof tot baie grof, kruisgelaagde veldspatiese sandsteen en arkoos. Lense van rooibruin skalie tot een meter dik kom tussengelaagd in hierdie formasie voor. Die Manaba Formasie wat sowat 95 meter dik is, bestaan uit konglomeraat, grint en sandsteen (Kingsley, 1978)

3.1.2 Mkunya Formasie

Die Mkunya Formasie word gekenmerk deur 'n uniforme voorkoms, homogene tekstuur en kwartsryke samestelling. Die kwartsiet is ligroos tot rooibruin van kleur, glasagtig en is meer fyn korrelrig as die onderliggende en oorliggende formasies. Hierdie formasie vorm die prominente en weerstandbiedende kranse in die Natal Groep. Die dikte van hierdie formasie is ongeveer 20 meter, dit kom reg deur die hele Groep voor en word as 'n merker-horison beskou.

Rhodes en Leith (1967) beskryf hierdie formasie as die ortokwart-sietmerker in die noorde van Natal met 'n dikte van ongeveer 20m. Die Mkunya Formasie word deur Roberts (1981) in die Durban omgewing in drie lede onderverdeel, naamlik Kranskloof Lid, Situndu Lid en Dassenboek Lid. Die Kranskloof Lid korreleer met die Mkunya Formasie (SAKS, 1980). Hierdie Lid het 'n uniforme dikte van 21 - 23 meter en oefen streng kontrole oor die topografie uit. Prominente kranse en tafelberge word deur die Lid gevorm. Die eenheid bestaan uit pers tot liggrys, homogeen en glasagtige kwartsiet. Die korrels is goed gerond en gesorteer, medium tot grofkorrelrig en gesementeer deur sekondêre kwarts.

Dié formasie word gekorreleer met die Mkunya-ortosandsteen in suidelike Natal (noord van Hibberdene) en is 80m in dikte. In hierdie omgewing is die kwartsiet wit tot liggrys van kleur maar waar ysteroksied tussen die kwartskorrels teenwoordig is, is die kleur ligroos. Korrels is goed gerond en kruisgelaagdheid kom soms voor. Suid van Hibberdeen kom die formasie ooreen met die basis van die Uvongo Formasie wat 135 meter dik is en bestaan uit liggrys tot geelwit medium- tot grofkorrelrige sandsteen en grint.

3.1.3 Mlazi Formasie

Die Mlazi Formasie bestaan uit pers tot rooibruin, veldspatiese sandsteen en grint wat baie min of geen mika bevat. Die dikte van hierdie formasie wissel tussen 40 en 80 meter (SAKS, 1980).

Die Mlazi Formasie is oor die algemeen diep verweer en min natuurlike dagsome word in die veld aangetref. Die rede hiervoor is die posisie van die Mlazi Formasie direk bo-op die Mkunya-ortokwartsiet. Dit bring ook mee dat die formasie dikwels met yster verryk is.

Hierdie formasie word deur Rhodes en Leith (1967) in die noordelike Natal beskryf as die Arkoos Sone waar die sone ongeveer 50 meter dik is. Aan die boonste gedeelte van die sone kom verspreide muskowitzvlokkies voor wat die oorgang van die volgende sone, naamlik die Mikaryke Sone (Inanda Formasie) aandui.

Die Mlazi Formasie (SAKS, 1980) korreleer met 'n gedeelte van die Mkunya Formasie (Silundu en Dassenhoek Lede) en die Mlazi Formasie soos beskryf deur Roberts (1981) in die Durban-omgewing. Die Situndu Lid wat ongeveer 15 meter dik is, bestaan uit sandsteen en word deur die Dassenhoek Lid wat bestaan uit karmosynrooi kwartsiet oorkê. Hierdie lid is nie deurlopend nie.

Die Mlazi Formasie in die Durban omgewing is sowat 40 meter in dikte en bestaan uit grofkorrelrige veldspatiese sandsteen.

In die suide van Natal het Kingsley (1978) hierdie eenheid beskryf as die Wood Grange Formasie wat uit arkoos bestaan. In hierdie omgewing is hierdie formasie ongeveer 75 meter dik. Die sandsteen is ligroos tot bruinerig van kleur, is grof tot baie grofkorrelrig en die boonste gedeelte van die formasie is mikaryk. Suid van Hibberdene verskil die Mhlangeni Formasie wat 180 meter dik is van die Mlazi Formasie deurdat dit liggrys van kleur is. Albei formasies is egter grofkorrelrig en veldspaatryk en kom op dieselfde hoogte bo die graniet voor.

3.1.4 Inanda Formasie

Die Inanda Formasie is by verre die formasie met die wydste verspreiding van die Groep in noord Natal. Dit kan toegeskryf word aan die groot dikte (300m +) van die formasie. Die formasie word gekenmerk deur die feit dat dit grofkorrelrig, asook mika- en

veldspaatryk is. Die oorvloedige voorkoms van mika is die mees kenmerkende eienskap. Die kleur van die sandsteen wissel van ligroos in die growwe sandsteen tot pers in die fynkorrelrige eenhede. Die mees algemene sedimentêre struktuur wat in hierdie formasie voorkom, is gelaagdheid wat van 1 tot 10mm dik is. Kruisgelaagdheid kom ook algemeen voor.

Sagte sediment deformatsiestrukture is meer algemeen in die meer grofkorrelrige eenhede en sluit ineenstortingstrukture (Eng. slump structures), opgerolde laminasie en omgekeerde kruisgelaagdheid in (Roberts 1981).

Roberts beskryf hierdie as die Marrianhill Formasie met 'n maksimum dikte van 400 meter in die Durban omgewing.

Noord van Hibberdene beskryf Kingsley (1978) hierdie formasie as die Mikaryke Sandsteen Sone (informeel) van ongeveer 25 meter dikte. Die kenmerkende eienskappe van die sone is die fynkorrelrige, mikaryke karakter. Groot muskowitzvlokkies is op die laagvlakke aanwesig. Dit blyk dat hierdie mikaryke formasie nie suid van Hibberdene voorkom nie. Rhodes en Leith (1967) beskryf hierdie formasie ook as die Mhlanghe Sone met 'n dikte van 300 meter in noord Natal. Sandsteen van die Mikaryke Sone is oor die algemeen pienk en gewoonlik diep verweerd alhoewel grofkorrelrige sandsteen steil hellings kan vorm.

3.1.5 Hibberdene Formasie

Die Hibberdene Formasie is die boonste formasie van die Natal Groep en word diskordant deur tilliet van die Dwyka Formasie, van die Karoo Opeenvolging oorlê. Die maksimum dikte van hierdie formasie is 30 meter (SAKS, 1980) en bestaan uit 'n wit "skoon" grofkorrelrige, kwartsryke sandsteen.

In die noorde van Natal is hierdie formasie beskryf deur Rhodes en Leith as die boonste gedeelte van die Mikaryke Sone en is dit ongeveer sewe meter dik. Dit word slegs op 'n paar plekke aangetref en kom voor as 'n liggrys kwartsiet.

In die Durban omgewing word hierdie formasie deur Roberts (1981) beskryf as die Westville Formasie en het dit hier 'n maksimum dikte van ongeveer 100 meter. Veldspate neig om hoogs gekaolinitiseerd te wees.

Noord van Hibberdene is die formasie sowat 20 meter dik en bestaan dit uit grofkorrelrige suiwer sandsteen. Ortokwartsiet aan die Hibberdene kus is dikwels grofkorrelrig en konglomerate kom voor. Ten suide van Hibberdene word hierdie formasie gekorreleer met veldspatiese sandsteen van die Shelley Beach Formasie met 'n dikte van ongeveer 40 meter. (Kingsley, 1978).

Volgens die klassifikasie van litologiese assosiasies (Krumbein en Sloss, 1963) kan die sandsteen van die Natal Groep in noordelike en sentraal Natal beskryf word aan die arkoos en rooilaag assosiasie terwyl die suidelike voorkomste verteenwoordig word deur die kwarts-araniet assosiasie.

3.2 LITOLOGIE

Sandsteen van die Natal Groep soos dit in die onderskeie formasies (litostratigrafiese eenhede) aangetref word, is op grond van litologiese eienskappe in vyf sandsteentipes geklassifiseer. Vir hierdie klassifikasie is gebruik gemaak van die kleur, korrelgrootte, tekstuur (geometriese aspekte van samestellende deeltjies van rots wat insluit grootte, vorm en rangskikking) en mineralogiese samestelling van die rotsmateriaal.

Die sandsteentipes wat op die wyse onderskei kan word is soos volg:

Sandsteentipe A. Lig rooibruin tot rooigrys, medium tot grofkorrelrige, homogeen, veldspatiese sandsteen.

Sandsteentipe B. Rooigrys tot liggrys, fyn tot mediumkorrelrige, homogeen, kwartsitiese sandsteen.

Sandsteentipe C. Rooigrys, medium tot baie grofkorrelrig, kruisgelaagd of met ineenstortingsstrukture (Eng. slump structures), veldspatiese sandsteen en arkoos.

Sandsteentipe D Rooigrys tot donkerrooi, fyn tot mediumkorrelrige, goedgelaagde, mikaryke veldspatiese sandsteen.

Sandsteentipe E. Donkerrooi, fynkorrelrige, goedgelaagde, mikaryke skalie.

Kleure is beskryf volgens die Munsell kleurkaart.

Verskeie toetse is in die laboratorium op hierdie onderskeie sandsteentipes uitgevoer om die ingenieursgeologiese eienskappe daarvan te bepaal. Die resultate hiervan word in hoofstuk 4 bespreek.

Die verskillende formasies in die Natal Groep is saamgestel uit hierdie sandsteentipes. Tabel 2 toon die teenwoordigheid van die sandsteentipes in die verskillende formasies.

Formasie	Sandsteentipes
Hibberdene	A
Inanda	A, C en D
Mlazi	C en E
Mkunya	B
Eshowe	A en C

Tabel 2: Teenwoordigheid van sandsteentipes A tot E in die vyf formasies van die Natal Groep .

3.3 MINERALOGIE

Petrografiese studies is op verteenwoordigende rotsmonsters uitgevoer om die teenwoordigheid van samestellende minerale op 'n persentasiebasis te bepaal. 'n Aantal sandsteenmonsters van elke tipe is ondersoek en die gemiddelde is bepaal.

Tabel 3 toon die gemiddelde persentasie teenwoordigheid van die minerale in sandsteentipes A tot E. Die afsettingsomgewing het egter 'n rol gespeel in die presiese sandsteentipe wat afgeset is.

Die persentasie voorkoms van minerale in die verskillende sandsteentipes wat in Tabel 3 voorkom is die gemiddelde persentasie bereken uit analyses op vier slypplaatjies van elke sandsteentipe. Die gedetailleerde beskrywing van elke sandsteentipe is van 'n verteenwoordigende monster van elke tipe gemaak.

Mineraal	<u>Persentasie voorkoms in sandsteentipes</u>				
	A	B	C	D	E
Kwarts	74	79	67	66	67
Albiet-oligoklaas	10	7	17	10	-
Ortoklaas	3	4	4	4	-
Mikrolien	5	5	6	5	-
Dolomiet/Chert	4	-	2	9	-
Biotiet/Muskowiet	3	4	3	4	27
Hematiet	1	1	1	2	6

Tabel 3: Mineraalsamestelling van sandsteentipes A tot E.

Petrografiese studies het aangedui dat die verskillende sandsteentipes uit dieselfde minerale, maar met verskillende hoeveelhede van elk, bestaan. Hierdie gevolgtrekking was te wagte aangesien die sedimente waaruit die Natal Groep bestaan vanaf een brongebied afkomstig is.

Sandsteentipe A

Hierdie sandsteen se rooi kleur word veroorsaak deur 'n ylverspreide stof van hematiet in die grondmassa van fynkorrelrige silika. Die monster bestaan hoofsaaklik uit mediumkorrelrige half-afgeronde gedeeltelik hergekristalliseerde en gesilisifiseerde kwarts en verspreide chert waarvan sommige (omtrent die helfte) golwende uitdowings weens drukspanning vertoon, mindere vars alkaliveldspaat (albiet-oligoklaas, ortoklaas, mikrolien,

mikropertiet), verspreide draderige en plaatjies muskowitz en chloriet, tremoliet-aktinoliet en epidoot hier en daar, dolomiet en kalsiet op plekkies, en korreltjies hematiet en ilmeniet. Die minerale met benaderde persentasies tussen hakies is soos volg aanwesig: kwarts en chert en fynkorrelrige silika (77), muskowitz en serisiet (4), tremoliet-aktinoliet (3), albit-oligoklaas (3), ortoklaas (2), mikroklien (2), epidoot (2), chloriet (2), kalsiet (1), dolomiet (2), ilmeniet (1), hematiet (1).

Sandsteentipe B

Hierdie sandsteen bestaan uit mediumkorrelrige gerekristalliseerde en gesilisifiseerde kwarts, gedeeltelik onder drukspanning, verspreide korrels chert, meesal vars alkaliveldspaat (mikroklien, ortoklaas), plaatjies en draderige muskowitz, tremoliet-aktinoliet hier en daar, kalsiet op plekkies, korreltjies hematiet en ilmeniet, en 'n bietjie ylverspreide stof van mangaan wat die perserige kleur van die monster veroorsaak. Die benaderde persentasies tussen hakies is van die minerale is soos volg: kwarts en chert en silisifisering (79), mikroklien (6), muskowitz (4), ortoklaas (3), tremoliet-aktinoliet (3), kalsiet (3), hematiet (1), ilmeniet (1).

Sandsteentipe C

Hierdie sandsteen wys gedeeltelik 'n konglomeratiese rangskikking van afgeronde aggregate van slijksteen en gesilisifiseerde sandsteen en kwartsstukkies, saam met gerekristalliseerde en gesilisifiseerde kwarts, gedeeltelik onder drukspanning, verspreide chert, tussenkorrelrige fynkorrelrige kwarts en draderige serisiet, plaatjies muskowitz en chloriet, vars ortoklaas en mikroklien, ilmeniet en hematiet hier en daar, en op plekkies kalsiet.

Benaderde persentasies: kwarts en chert (84), ortoklaas (4), mikroklien (4), muskowitz (4), kalsiet (1), chloriet (1), ilmeniet (1), hematiet (1).

Sandsteentipe D

Hierdie sandsteen bestaan uit gerekristalliseerde kwarts, gedeeltelik onder drukspanning, 'n sement van fynkorrelrige kwarts, verspreide chert, meesal vars ortoklaas en mikroklien en enkele korrels mikropegmatiet, verspreide ilmeniet en hematiet, en plaatjies muskowitz. Benaderde persentasies: kwarts en chert (76), ortoklaas (7), mikroklien (7), muskowitz (7), ilmeniet (2), hematiet (1).

Sandsteentipe E

Dit is 'n ysterhoudende kleierige sandsteen, wat bestaan uit 'n grondmassa van illiet en hematiet, waarin talryke stukkie fynkorrelrige tot mediumkorrelrige kwarts asook lensies chert en yster-vrye sandsteen aanwesig is, met plaatjies biotiet en muskowitz, en verspreide korreltjies ilmeniet. Benaderde persentasies: kwarts en chert (67), illiet en muskowitz (16), biotiet (11), hematiet (5), ilmeniet (1).

Sandsteentipe A bevat soms witgekleurde knolle wat in die rotsmateriaal voorkom en vinniger (na rooibruin) verweer as die omliggende minerale. 'n Analise van hierdie knolle het getoon dat dit uit dolomiet met kleiner hoeveelhede kalsiet en limoniet (Peters, 1985) bestaan.

HOOFSTUK 4. ROTSMATERIAALEIENSKAPPE

In hierdie hoofstuk word die ingenieursgeologiese eienskappe van rotsmateriaal wat in die laboratorium getoets is, bespreek. Rotsmateriaal kan gedefinieer word as intakte rots en is deel van die groter rotsmassa. Ideale rotsmateriaalmonsters bevat geen sigbare diskontinuiteite nie sodat die inherente eienskappe van die materiaal bepaal kan word.

4.1 STERKTE

Die belangrikste ingenieursgeologiese eienskap van rots is seker die sterkte daarvan. In rotsmeganika word daar tussen verskillende soorte sterktes onderskei, naamlik eenassige druksterkte, drie-assige sterkte, skuifsterkte en treksterkte. 'n Minimum van vyf van elk van hierdie toetse is op die elk van vyf sandsteen-tipes wat onderskei is, uitgevoer.

4.1.1 Eenassige druksterkte en puntlas sterkte-indeks

Die eenassige druksterkte van rotsmateriaal kan direk deur middel van die eenassige druksterktetoets of indirek deur middel van die puntlas sterktetoets bepaal word. Hierdie toetse word soos volg uitgevoer:

Die Eenassige druksterktetoets (EADS)

(a) Apparaat en metode

Hierdie toetsmetode bepaal die eenassige druksterkte van 'n rotsmonster met bepaalde vorm (NX grootte boorkerne in hierdie geval) onder eenassige belasting. Hierdie toetsmetode word voorgeskryf

deur die International Society for Rock Mechanics (ISRM, 1979).

'n Geskikte toetsmasjien word gebruik vir toepassing en meting van aksiale belasting op die rotsmonster. Die toetsmasjien moet oor genoegsame kapasiteit beskik om deurlopend 'n las met konstante spanningstoename toe te pas sodat die monster binne 5 tot 10 minute van belasting, swig. Alternatiewelik moet die spannings-toename binne die grense van 0,5 - 1,0 MPa per sekonde wees. Die drukplate van die toetsmasjien moet parallel wees. Die styfheid van die apparaat moet van so 'n aard wees dat dit nie die resultate merkbaar beïnvloed nie. Staal entstukke in die vorm van skywe word weerskante van die monster geplaas. Die diameter van hierdie entstukke moet tussen D en $D+2\text{mm}$ wees waar D die diameter van die monster is. Een van die twee entstukke moet 'n sferiese kopstuk van bepaalde ontwerp bevat. Hierdie entstuk moet bo-op die monster geplaas word. Die monster met kopstukke moet dan in die middel van die plate van die toetsmasjien geplaas word.

Die toetsmonster moet 'n silindriese vorm met 'n hoogte tot diameter verhouding van 2,5 - 3,0 en 'n diameter van nie minder as N -grootte kern (plus-minus 54,5mm) hê. Die diameter van die monster moet minstens tienmaal die diameter van die grootste korrel (of kristal) in die monster wees.

Die ente van die rotsmonster moet vlakgeslyp wees tot 0,02mm parallel.

Die kante van die monster moet glad en sonder onreëlmatighede wees.

Die gebruik van bedekkingsmateriale op die entvlakke word nie toegelaat nie.

Die maksimum las wat op die monster toegepas word, word in Newton gemeet.

Die eenassige druksterkte van 'n monster word bereken deur die maksimum las waarby die monster geswig het, te deel deur die oorspronklike deursnee- oppervlakte van die monster.

(b) Resultate

Toetse is in beide die laboratoria van die Geologiese Opname en die van die Nasionale Navorsings Instituut vir Meganiese Ingenieurswese (NNIMI) van die WNNR uitgevoer.

Tabel 4 toon die klassifikasie van verweringsgraad wat gebruik is by beskrywing van die sandsteenmonsters. Data oor sandsteenmonsters is afkomstig van die Mvumase en Sunbury damterreine van 'n voorgestelde pomp-opgaarskema op die Laer Tugelarivier (EVKOM, 1983 en Geertsema, 1983).

Al die toetse is by benadering loodreg op die gelaagdheid uitgevoer en resultate van sandsteenmonsters wat op nate geswig het, is buite rekening gelaat.

Sandsteentipes A tot D waarvan die formasie, verweringsgraad en korrelgrootte bekend is, is getoets en die resultate word in Tabel 5 weergegee.

DIAGNOSTIESE EIGENSAP. BESKRYWING	VERSPREIDING VAN VERKLEURING VANAF DISKONTINUITSVLAK	TOESTAND VAN DISKONTI- NUITSVLAK.	KENMERKE VAN KERNOPPERVLAK	OORSPRONKLIKE TEKSTUUR	TOESTAND VAN KORRELBINDING
ONVERWEER	GEEN	DIG OF EFFENS VERKLEUR	ONVERANDER	BEHOU	DIG
EFFENS VERWEER	20% VAN SPASIËR- ING (BEIDE KANTE)	VERKLEUR MOONT- LIK DUN VULLIG	DEELS VERKLEUR	BEHOU	DIG
MATIG VERWEER	20% VAN SPASIËR- ING (BEIDE KANTE)	VERKLEUR MOONT- LIK DIK VULLIG	DEELS TOT VOLLE VERKLEURING	BEHOU	DEELS VERSWAK
HOOGS VERWEER	DWARSDEUR	-	BROS EN MOONT- LIK INGEVREET	GROTENDEELS BEHOU	DEELS GESKEI
TOTAAL VERWEER	DWARSDEUR	-	LYK SOOS GROND	DEELS BEHOU	HEELTEMAAL GESKEI

TABEL 4 KLASSIFIKASIE VAN VERWERING VIR BOORKERNBESKRYWING (A.E.G. (1976))

FORMASIE	SANDSTEENTYPE	VERWERING	KORRELGROOTTE	EENASSIGE DRUKSTERKTE (MPa)			Stand Afw.	Aantal Toetse
				Gemiddeld	Minimum	Maksimum		
ESHOWE	A	ONVERWEERD	FYN	175	175	175	0	1
ESHOWE	A	ONVERWEERD	MEDIUM	172,5	124	195	24,5	8
ESHOWE	A	ONVERWEERD	GROF	146	123	189	23,3	6
ESHOWE	A	EFFENS VERWEERD	GROF	104	103	105	1,4	2
ESHOWE	A	MATIG VERWEERD	GROF	96,5	95	98	2,1	2
ESHOWE	B	ONVERWEERD	FYN	165	165	165	0	1
ESHOWE	B	ONVERWEERD	MEDIUM	213	184	248	28,1	4
ESHOWE	B	ONVERWEERD	GROF	227	227	227	0	1
ESHOWE	C	ONVERWEERD	FYN	206	186	226	28,3	2
ESHOWE	C	ONVERWEERD	MEDIUM	209	179	261	28,5	6
MKUNYA	B	ONVERWEERD	FYN	218	218	218	0	1
MKUNYA	B	ONVERWEERD	MEDIUM	241	206	311	39,7	7
MLAZI	A	ONVERWEERD	MEDIUM	155	125	176	27,0	3
MLAZI	A	ONVERWEERD	GROF	174	129	247	38,8	9
MLAZI	A	EFFENS VERWEERD	GROF	148	148	148	0	1
MLAZI	B	ONVERWEERD	FYN	322	322	322	0	1
MLAZI	B	ONVERWEERD	MEDIUM	208	183	233	35,4	2
MLAZI	B	ONVERWEERD	GROF	203	202	204	1,4	2
MLAZI	C	ONVERWEERD	MEDIUM	222	222	222	0	1
MLAZI	D	ONVERWEERD	FYN	171	171	171	0	1

TABLE 5 EENASSIGE DRUKSTUKKE VAN SANDSTEENTIPES VAN DIE ESHOWE, MKUNYA EN MLAZI FORMASIES

Onverweerde sandsteentipes A - E soos beskryf in paragraaf 3.2 is vir eenassige druksterkte getoets en resultate word in Tabel 6 uiteengesit.

<u>Sandsteentipe</u>	<u>Eenassige druksterkte (MPa)</u>				
	<u>Gem.</u>	<u>Min.</u>	<u>Maks.</u>	<u>Standaard- afwyking</u>	<u>Aantal Monsters Getoets</u>
A	208,9	148,0	313,4	57,0	11
B	210,0	143,9	323,2	53,2	14
C	211,0	144,0	287,7	49,2	13
D	219,0	171,0	285,9	47,6	13
E	75,6	64,9	83,3	7,9	4

Tabel 6 Eenassige druksterktes van sandsteentipes A tot E.
(onverweerd)

Klassifikasie

Die Klassifikasie wat deur Deere en Miller vir die sterkte van die intakte rots ontwikkel is, word in die veld van rotsmeganika gebruik om rotsmateriaal te klassifiseer (Deere en Miller 1966). Tabel 7 toon die klassifikasie.

Beskrywing van sterkte	Eenassige druksterkte (MPa)	Voorbeeld van Rotstipes
Baie laag	1 - 25	Kryt
Laag	25 - 50	Steenkool
Medium	50 - 100	Sandsteen
Hoog	100 - 200	Graniet
Baie hoog	> 200	Kwartsiet

Tabel 7: Klassifikasie van intakte rotssterkte (Deere en Miller, 1966).

c. Gevolgtrekking.

Die sterkte van onverweerde sandsteen wissel tussen 143,9MPa en 323,2MPa met gemiddeldes van 209, 210, 211 en 219 onderskeidelik vir sandsteentipes A, B, C en D (Tabel 6). Die gemiddelde eenassige druksterkte van die onderskeie sandsteentipes wissel dus nie veel nie en alle tipes kan as rots met baie hoë sterkte geklassifiseer word.

Sandsteentipe E, wat as 'n skalie beskryf kan word, het 'n minimum EADS van 64,9 MPa en 'n maksimum EADS van 83,3 MPa. Die gemiddelde sterkte van 75,6 MPa word as medium sterk geklassifiseer.

Puntlas sterkte-indeks (PLSI)

Die puntlas sterkte-toets is ontwerp as 'n indekstoets vir sterkte

klassifikasie van rotsmateriaal en kan met eenassige druksterkte gekorreleer word. Hierdie toets wat deur Brock (1970) ontwerp is en later deur Broch en Franklin (1972) verbeter is, is 'n vinnige en goedkoop manier om die sterkte van rots te bepaal.

(a) Apparaat en metode

Met hierdie toets word die puntlas sterkte-indeks ($I_s(50)$) van rotsmonsters en die sterkte anisotropie indeks ($I_a(50)$), wat die verhouding van puntlas sterkte in die rigtings wat die grootste en die kleinste waardes gee, bepaal.

Rotsmonsters in die vorm van boorkerne, gesaagde blokke of onvoorbereide stukke rots word gebruik en 'n gekonsentreerde las word deur twee sferies afgeronde koniese drukkegels toegepas. Geen spesiale monstervoorbereiding word vereis nie. Die toets kan uitgevoer word met 'n draagbare toetsapparaat.

Die toetsapparaat beskik oor 'n belastingsstelsel bestaande uit 'n belastingraam, hidrouliese pomp, twee sferies afgeronde drukkegels asook 'n stelsel vir die meting van die krag (P) wat vereis word om die monster te laat swig. Die deursnee van die monster moet ook gemeet word.

Die belastingsstelsel moet 'n opening tussen die drukkegels hê sodat die vereiste grootte rotsmonsters daarin kan pas. 'n Apparaat met verstelbare opening 15 - 100 mm tussen die kegels word gebruik.

Die belastingskapasiteit moet voldoende wees om die sterkste monsters te kan laat swig.

Die apparaat moet so ontwerp en gebou word dat dit nie permanent verwronge raak met herhaalde toepassing van die maksimum belasting nie. Die belastingsisteen moet die las aksiaal vanaf beide steunpunte toepas sonder dat die monster gly of skeef draai. Standaard steunpunte word gebruik. Die steunpunte bestaan uit 60° kegels en 5 mm radius sferiese koppe wat tangensiaal ontmoet. Hierdie steunpunte moet van 'n harde staal soos wolfram wees sodat dit nie gedurende die toets beskadig word nie.

Die meting van die belasting vind plaas deur middel van 'n hidrouliese drukmeter wat gekalibreer is om die krag (P) by swigting van die monster te meet. Meting van die krag moet binne 5 per sent van P of akkurater wees, onafhanklik van die grootte en sterkte van die monster wat getoets word. Die sisteem moet ook weerstandbiedend wees vir hidrouliese skokke en vibrasie, sodat lesings akkuraat bly met herhaalde toetse. Swigting van die monster vind gewoonlik vinnig plaas en 'n naald wat die maksimumlas aandui is noodsaaklik sodat die lesing geneem kan word nadat die toets voltooi is .

Die grootte of deursnee (D) van die toetsmonster moet tot $\pm 2\%$ D akkuraat gemeet word .

Die puntlasapparaat moet gekalibreer word voordat dit gebruik kan word.

Die monsterlengte tot deursnee verhouding van boorkernmonsters moet groter as 1,0 wees.

Ten minste 10 toetse per monstertipe, en meer indien die monster heterogeen of anisotroop is, moet uitgevoer word. Anisotrope rotsmonsters moet parallel en normaal aan die anisotropie vlakke getoets word en die orientasie moet aangeteken word.

Die rotsmonster word in die opening tussen die steunpunte (of kake) geplaas waarna die las aanvanklik stadig toegepas word. Swigting moet na tussen 10 en 60 sekondes plaasvind en die las (P) by swigting moet geregistreer word.

Die nie-gekorrigeerde Puntlassterkte I_s word bereken deur

$$I_s = P/D^2$$

waar P = die las in kN

en D = die deursnee in meter

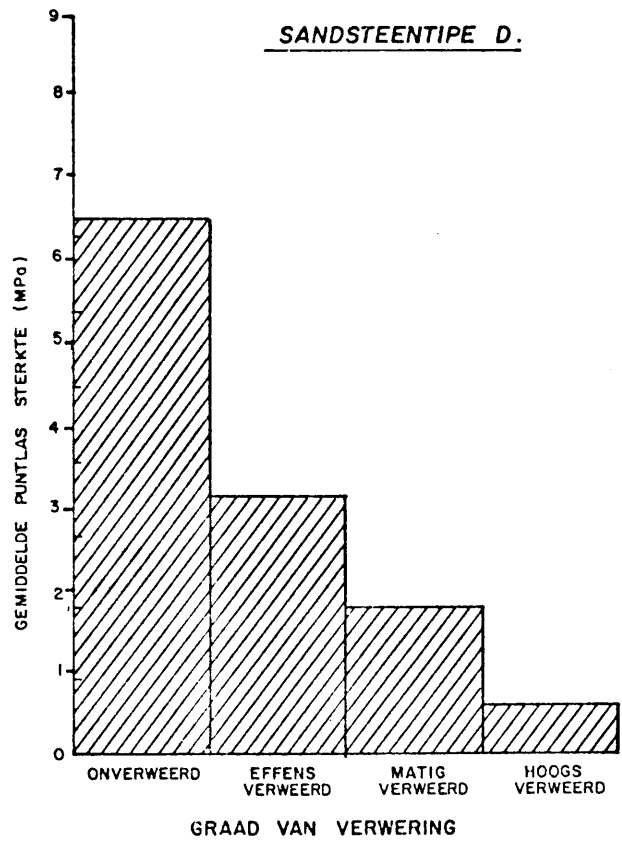
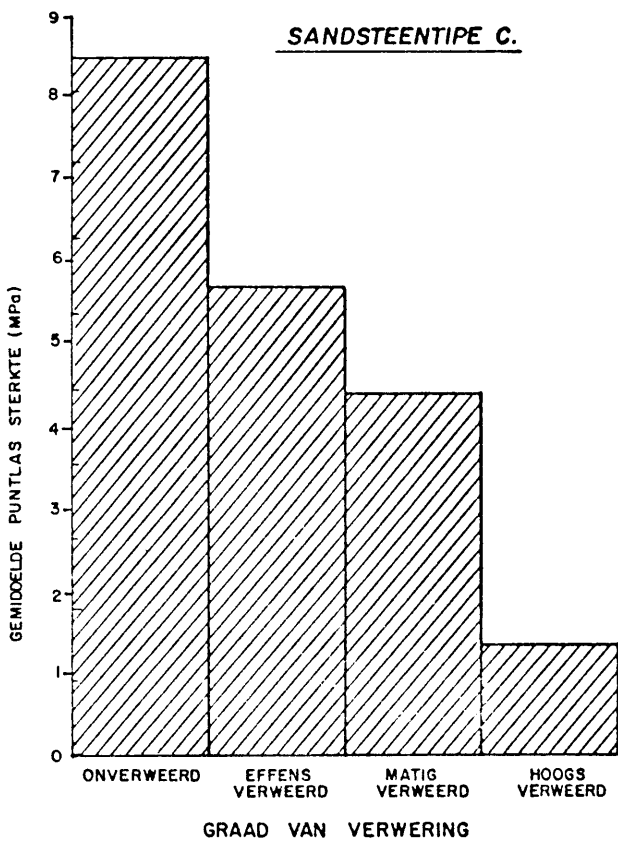
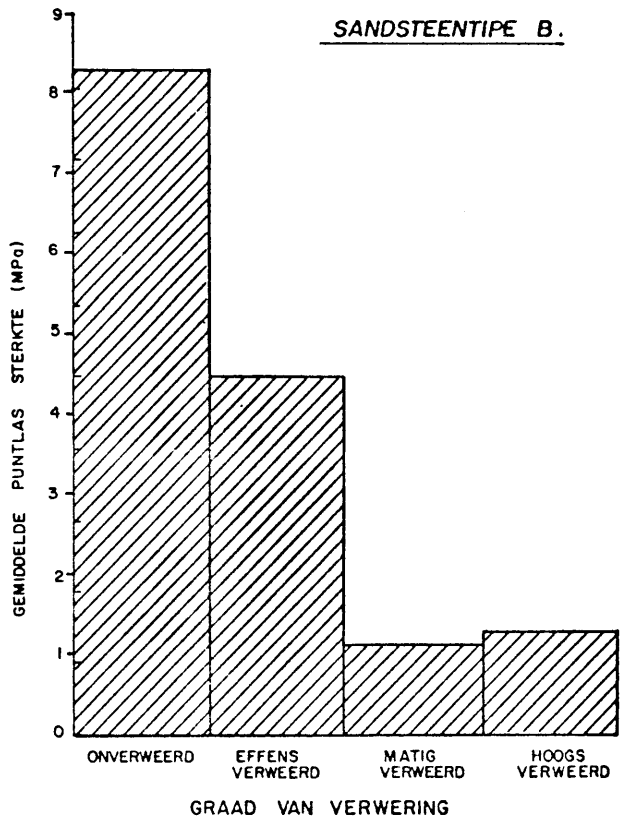
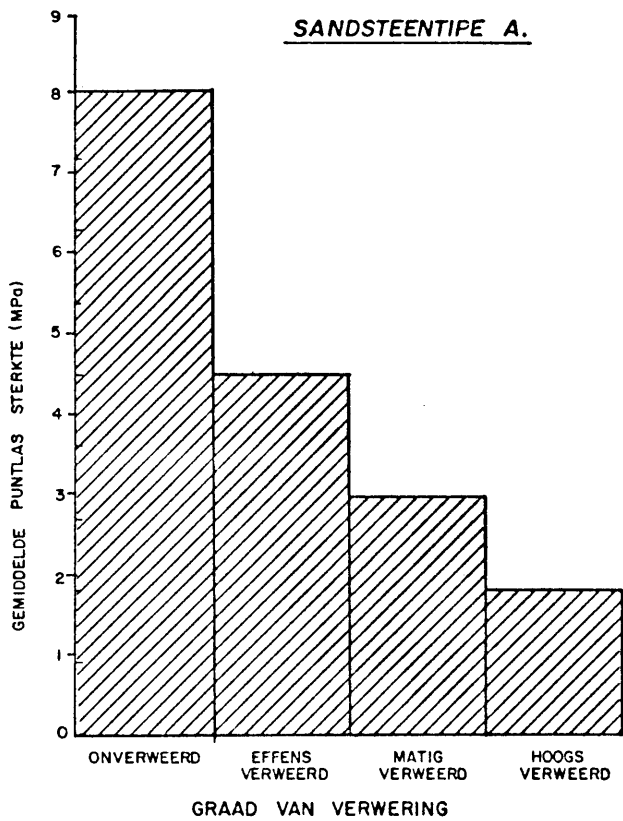
I_s varieër as 'n funksie van D by die diametrale toets en moet gekorrigeer word.

Die gekorrigeerde Puntlassterkte indeks $I_s(50)$ van 'n rotsmonsters word gedefinieër as die waarde van I_s gemeet by 'n diametrale toets met $D=50$ mm.

(b) Resultate

Puntlastoetse is op 2280 NX ($D=54,5$ mm) grootte boorkernmonsters wat van beide die Mvumase- en Sunburydamterreine afkomstig is, uitgevoer (Hierdie toetse is diametraal uitgevoer). Sandsteentipes A, B, C, D en E in verskillende grade van verwering behalwe totaal verweer is getoets. Die sandsteentipe, verwering, korrelgrootte, en Formasie van elke monster is aangeteken. Die puntlastoetsresultate is met behulp van die "Statistical Analysis Systems (SAS) rekenaarprogram verwerk en gegewens wat bereken is, sluit gemiddelde, minimum, maksimum, standaardafwyking, standaardfout van die gemiddelde en die variasie-koëffisient in.

Figuur 5 toon die verwantskap van die gemiddelde puntlas sterkte teenoor die graad van verwering in sandsteentipes A tot D. Die histogramme toon 'n liniêre afname in puntlas sterkte met toename in die graad van verwering.



FIGUUR 5. HISTOGRAMME WAT DIE VERWANTSKAP VAN GEMIDDELTE PUNTLAS STERKTE VAN SANDSTEENTIPES TEENOR DIE GRAAD VAN VERWERING TOON.

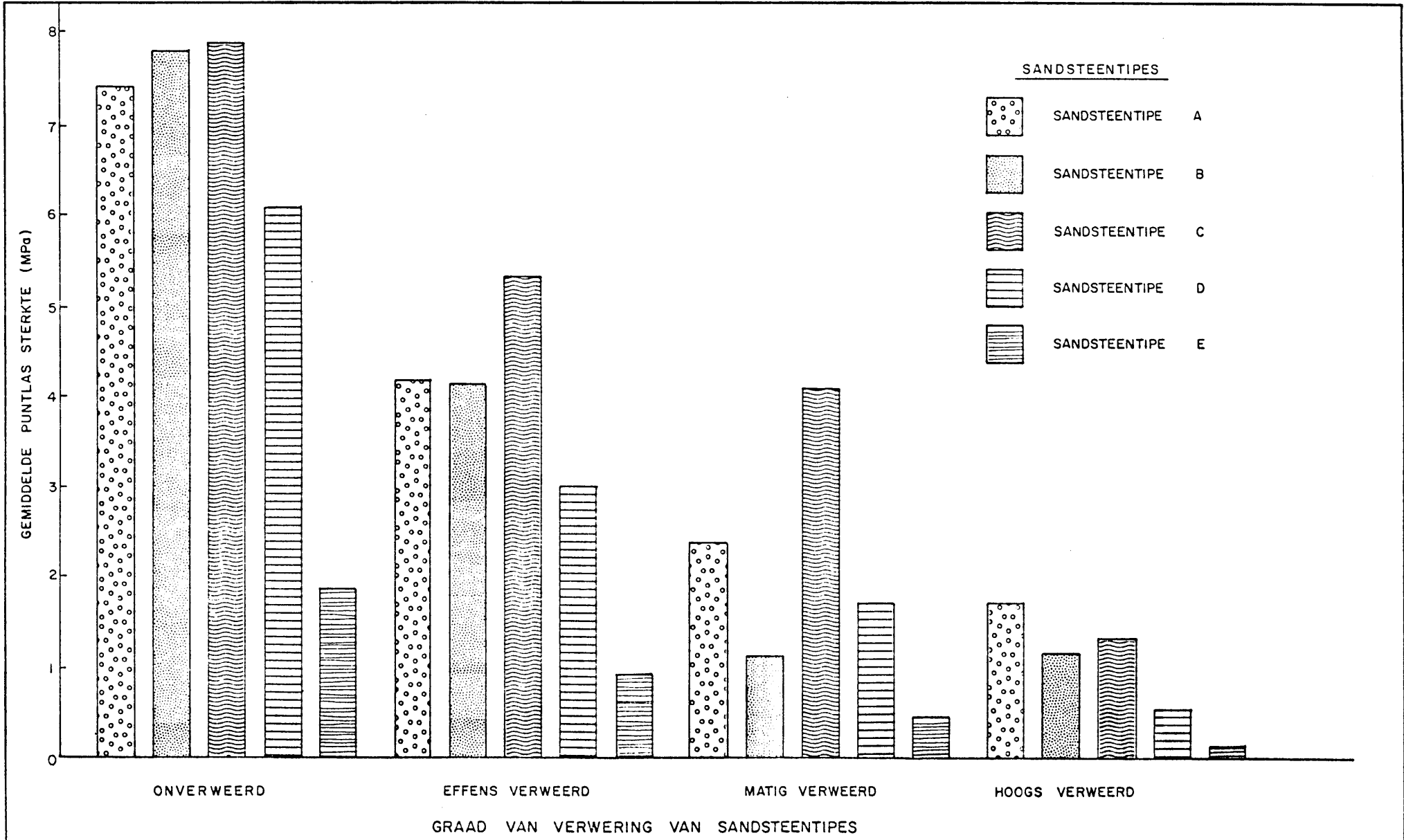
Figuur 6 toon die verwantskap van die gemiddelde puntlas sterkte teenoor verskillende verweringsgrade van sandsteentipes A tot E. Sandsteentipes A tot D besit ongeveer drie maal die sterkte van sandsteentipe E.

Puntlas sterkte van sandsteentipes van die vyf formasies, nl. Eshowe, Mkunya, Mlazi, Inanda en Hibberdene onderskeidelik word in tabelle 8, 9, 10, 11 en 12 gegee.

(c) Gevolgtrekking

Sandsteentipes B en C toon die hoogste sterktes. Dit blyk dat korrelgrootte geen invloed op die puntlas sterkte het nie. Die sterkte neem liniêr af met toename in graad van verwerking. Hierdie tendens is waarneembaar in al 5 die formasies van die Natalsandsteen.

Omdat dit uit tabelle 8 - 12 duidelik blyk dat die formasie en korrelgrootte nie 'n rol speel by die puntlas sterkte van die vyf sandsteentipes nie is 'n korrelasie getref tussen gemiddelde puntlas sterkte en die graad van verwerking. (Tabel 13). Die gegewens word in Figuur 5 uiteengesit. 'n Gevolgtrekking wat hieruit gemaak kan word is dat die sterkte met ongeveer die helfte afneem met elke graad wat die verwerking toeneem. Dit bewys dat die beskrywing van verweringsgraad volgens Tabel 4 'n betroubare aanduiding van die sterkte van Natalsandsteen voorsien. 'n Korrelasie word ook getref tussen die sterktes van die onderskeie sandsteentipes en die graad van verwerking Tabel 14. Die sterkte van sandsteentipes A B en C in die onverweerde toestand is ongeveer dieselfde. Sandsteentipe C blyk egter effens sterker te wees in die onverweerde toestand en behou ook 'n hoër sterkte in die effens en matig verweerde toestande.



FIGUUR 6 : KOLOMDIAGRAM WAT DIE VERWANTSAP VAN GEMIDDELTE PUNT LAS STERKTE' TEENOR DIE GRAAD VAN VERWERING VAN SANDSTEENTIPES A TOT E TOON.

SANDSTEENBESKRYWINGS			STATISTIESE GEGEWENS							
SANDSTEENTYPE	VERWERINGSGRAAD	KORRELGROOTTE	GEMIDDELDE PLSI (MPa)	MINIMUM PLSI (MPa)	MAKSIMUM PLSI (MPa)	STANDAARD AFWYKING	STANDAARD FCUT VAN DIE GEMIDDELDE	VARIANSIE KOEFFISIËNT	AANTAL MONSTERS GETOETS	
A	ONVERWEERD	FYN	8,528	3,853	12,083	1,880	0,247	22,06	58	
		MEDIUM	8,268	4,593	12,719	1,789	0,181	21,64	97	
		GROF	7,564	0,833	13,708	2,592	0,312	34,27	69	
	EFFENS VERWEERD	FYN	4,958	1,817	7,791	2,672	1,336	53,91	4	
		MEDIUM	5,400	3,286	8,375	1,696	0,489	31,41	12	
		GROF	4,229	1,490	10,708	1,948	0,320	46,06	37	
	MATIG VERWEERD	FYN	2,470	2,307	2,633	0,231	0,163	9,35	2	
		MEDIUM	2,597	2,208	2,917	0,359	0,207	13,83	3	
		GROF	2,740	1,163	8,458	1,767	0,456	64,52	15	
	HOOGS VERWEERD	FYN	1,898	1,898	1,898	-	-	-	1	
		GROF	1,910	0,755	3,083	0,764	0,220	40,02	12	
	B	ONVERWEERD	FYN	9,780	3,270	16,000	2,694	0,476	27,55	32
			MEDIUM	8,957	3,579	14,500	2,574	0,347	28,74	55
			GROF	9,723	5,531	16,762	3,084	0,689	31,71	20
		EFFENS VERWEERD	FYN	3,853	3,853	3,853	-	-	-	1
ONVERWEERD		FYN	8,934	4,000	16,000	2,004	0,249	22,43	65	
		MEDIUM	8,735	4,401	13,417	1,815	0,155	20,77	136	
	GROF	8,484	4,063	12,375	1,925	0,364	22,70	28		
C	EFFENS VERWEERD	FYN	5,206	5,206	5,206	-	-	-	1	
		MEDIUM	5,824	3,031	7,574	21,00	0,939	36,07	5	
		GROF	7,208	7,208	7,208	-	-	-	1	
	MATIG VERWEERD	GROF	4,250	4,250	4,250	-	-	-	1	
D	ONVERWEERD	FYN	7,190	0,667	14,000	2,094	0,234	29,17	80	
		MEDIUM	6,788	2,722	14,000	2,279	0,416	33,58	30	
		GROF	7,710	2,878	12,541	6,833	4,831	88,62	2	
	EFFENS VERWEERD	FYN	3,747	0,265	6,675	2,535	1,133	67,65	5	
		MEDIUM	5,958	5,250	6,667	1,001	0,708	16,81	2	
	MATIG VERWEERD	FYN	2,080	0,875	3,287	1,705	1,205	81,95	2	

TABEL 6: PUNTLAS STERKTEINDEKS (PLSI) VAN SANDSTEENTIPES VAN DIE ESHCWE FORMASIE.

SANDSTEENBESKRYWINGS			STATISTIESE GEGEWENS						
SANDSTEENTYPE	VERWERINGSGRAAD	KORRELGROOTTE	GEMIDDELDE	MINIMUM	MAKSIMUM	STANDAARD	STANDAARD FOUT VAN	VARIANSIE	AANTAL MONSTERS
			PLSI (MPa)	PLSI (MPa)	PLSI (MPa)	AFWYKING	DIE GEMIDDELDE	KOEFFISIEN	GETOETS
A	ONVERWEERD	FYN	5,776	3,578	10,514	3,209	1,604	55,56	4
		MEDIUM	8,609	4,263	12,147	2,072	0,574	24,07	13
		GROF	6,828	1,797	9,411	2,583	0,976	37,83	7
	EFFENS VERWEERD	MEDIUM	7,819	7,819	7,819	-	-	-	1
	MATIG VERWEERD	GROF	4,593	4,593	4,593	-	-	-	1
B	ONVERWEERD	FYN	7,544	0,804	19,291	2,531	0,294	33,55	74
		MEDIUM	7,944	3,578	14,801	2,213	0,184	27,86	144
		GROF	7,713	4,400	11,494	1,966	0,303	25,49	42
	EFFENS VERWEERD	MEDIUM	6,849	6,627	7,003	0,197	0,114	2,87	3
		GROF	4,368	4,144	4,593	0,317	0,224	7,27	2
	MATIG VERWEERD	MEDIUM	1,500	1,500	1,500	-	-	-	1
HOOGS VERWEERD	GROF	1,166	1,166	1,166	-	-	-	1	
C	ONVERWEERD	FYN	5,722	4,126	7,175	1,465	0,660	25,79	5
		MEDIUM	9,235	7,083	11,79	1,755	0,663	19,01	7
		GROF	5,770	5,770	5,770	-	-	-	1
D	ONVERWEERD	FYN	7,469	5,205	11,375	1,923	0,679	25,75	8
		MEDIUM	6,882	1,078	12,147	4,555	1,721	66,20	7
	EFFENS VERWEERD	FYN	1,188	0,918	1,458	0,381	0,270	32,13	2
	MATIG VERWEERD	MEDIUM	1,166	1,166	1,166	-	-	-	1
E	ONVERWEERD	FYN	1,447	0,564	2,448	0,734	0,328	50,75	5
	EFFENS VERWEERD	FYN	0,755	0,755	0,755	0	0	0	2

TABEL 9: PUNTLAS STERKTEINDEKS (PLSI) VAN SANDSTEENTIPES VAN DIE MKUNYA FORMASIE.

SANDSTEENBESKRYWINGS			STATISTIESE GEGEWENS							
SANDSTEENTYPE	VERWERINGSGRAAD	KORRELGROOTTE	GEMIDDELDE PLSI (MPa)	MINIMUM PLSI (MPa)	MAKSIMUM PLSI (MPa)	STANDAARD AFWYKING	STANDAARD FOUT VAN DIE GEMIDDELDE	VARIANSIE KOEFFISIËNT	AANTAL MONSTERS GETOETS	
A	ONVERWEERD	FYN	7,952	4,307	12,583	3,075	0,821	38,67	14	
		MEDIUM	7,705	2,482	11,820	2,385	0,377	30,96	40	
		GROF	6,507	1,571	11,708	2,168	0,338	33,32	41	
	EFFENS VERWEERD	FYN	5,862	2,715	9,708	3,548	2,048	60,52	3	
		MEDIUM	5,690	2,919	7,583	1,601	0,533	28,14	9	
		GROF	4,238	1,500	7,696	1,846	0,532	43,55	12	
	MATIG VERWEERD	FYN	2,732	2,708	2,756	0,034	0,024	1,25	2	
		GROF	2,633	1,775	3,205	0,756	0,436	28,17	3	
	HOOGS VERWEERD	GROF	0,101	0,101	0,101	-	-	-	1	
	B	ONVERWEERD	FYN	8,426	3,578	13,780	2,335	0,373	27,71	39
			MEDIUM	7,566	2,448	14,760	2,255	0,220	29,81	105
			GROF	6,346	3,441	11,780	1,808	0,301	28,49	36
EFFENS VERWEERD		MEDIUM	4,626	1,900	7,492	2,423	1,083	52,38	5	
		GROF	7,291	7,291	7,291	-	-	-	1	
MATIG VERWEERD		MEDIUM	0,918	0,918	0,918	-	-	-	1	
C		ONVERWEERD	FYN	7,414	4,000	11,820	1,681	0,247	22,68	46
			MEDIUM	7,819	2,482	12,791	1,964	0,177	25,11	122
			GROF	6,762	2,482	10,189	1,963	0,392	29,04	25
	EFFENS VERWEERD	MEDIUM	5,721	3,735	7,615	1,140	0,360	19,92	10	
	MATIG VERWEERD	GROF	3,940	3,940	3,940	-	-	-	1	
	HOOGS VERWEERD	MEDIUM	1,898	1,898	1,898	-	-	-	1	
D	ONVERWEERD	FYN	5,205	1,163	10,146	2,097	0,327	40,30	41	
		MEDIUM	6,708	0,591	11,125	2,665	0,628	39,73	18	
		GROF	4,852	1,530	9,375	3,377	1,688	69,61	4	
	EFFENS VERWEERD	FYN	2,602	1,898	3,450	0,696	0,311	26,74	5	
		MEDIUM	3,020	1,352	4,265	1,217	0,460	40,30	7	

TABEL 10: PLUNTLAS STERKTEINDEKS (PLSI) VAN SANDSTEENTYPES VAN DIE MLAZI FORMASIE.

SANDSTEENBESKRYWINGS			STATISTIESE GEGEWENS						
SANDSTEENTYPE	VERWERINGSGRAAD	KORRELGROOTTE	GEMIDDELDE PLSI (MPa)	MINIMUM PLSI (MPa)	MAKSIMUM PLSI (MPa)	STANDAARD AFWYKING	STANDAARD FOUT VAN DIE GEMIDDELDE	VARIANSIE KOEFFISIËNT	AANTAL MONSTERS GETOETS
A	ONVERWEERD	FYN	7,414	2,209	11,467	2,133	0,294	28,90	53
		MEDIUM	6,278	0,811	9,949	1,962	9,322	31,30	35
		GROF	6,130	2,750	11,319	1,825	0,205	29,77	79
	EFFENS VERWEERD	FYN	2,527	1,089	3,301	0,926	0,414	36,63	5
		MEDIUM	3,600	1,085	4,867	1,075	0,324	29,86	11
		GROF	3,483	0,428	6,346	1,335	0,223	38,32	36
MATIG VERWEERD	FYN	2,299	0,811	1,918	0,588	0,339	39,741	3	
	GROF	1,480	0,257	3,024	0,885	0,309	59,952	8	
B	ONVERWEERD	FYN	6,532	2,192	12,449	2,598	0,671	39,77	15
		MEDIUM	6,656	2,421	12,450	2,495	0,360	37,48	48
		GROF	5,399	1,445	10,497	2,186	0,429	40,49	26
	EFFENS VERWEERD	FYN	1,627	1,627	-	-	-	-	1
		MEDIUM	3,395	1,366	6,624	2,827	1,632	83,26	3
		GROF	3,758	1,627	6,624	2,578	1,489	68,61	3
MATIG VERWEERD	MEDIUM	0,811	0,811	0,811	-	-	-	1	
	GROF	1,089	0,811	1,366	0,392	0,277	36,05	2	
C	ONVERWEERD	FYN	6,610	3,301	9,167	1,476	0,308	22,33	23
		MEDIUM	6,564	3,579	9,820	1,537	0,240	23,42	41
		GROF	6,199	2,750	11,127	2,266	0,463	36,56	24
	EFFENS VERWEERD	FYN	6,611	3,301	9,166	1,476	0,308	22,33	23
		MEDIUM	2,424	1,640	3,301	0,834	0,482	34,42	3
D	ONVERWEERD	FYN	4,442	0,257	9,401	1,791	0,226	40,33	63
		MEDIUM	5,537	2,421	10,223	2,487	0,750	44,92	11
		GROF	3,856	2,195	5,240	1,541	0,890	39,97	3
		FYN	2,553	0,811	3,990	0,932	0,311	36,49	9
	MATIG VERWEERD	MEDIUM	3,270	3,270	3,270	-	-	-	1
		GROF	1,918	1,918	1,918	-	-	-	1
		FYN	2,195	2,195	2,195	-	-	-	1
		MEDIUM	1,078	1,0781	1,078	-	-	-	1
E	MATIG VERWEERD	FYN	0,257	0,257	0,257	-	-	-	1

TABEL 11: PUNTAS STERKTEINDEKS (PLSI) VAN SANDSTEENTIPES VAN DIE INANDA FORMASIE.

SANDSTEENBESKRYWING			STATISTIESE GEWENS						
SANDSTEENTYPE	VERWERINGSGRAAD	KORRELGROOTTE	GEMIDDELDE PLSI (MPa)	MINIMUM PLSI (MPa)	MAKSIMUM PLSI (MPa)	STANDAARD AFWYKING	STANDAARD FOUT VAN DIE GEMIDDELDE	VARIANSIE KOEFFISIËNT	AANTAL MONSTERS GETOETS
<u>HIBBERDENE FORMASIE</u>									
B	ONVERWEERD	FYN	3,852	3,852	3,852	-	-	-	1
		GROF	4,948	4,948	4,948	-	-	-	1
	EFFENSVERWEERD	GROF	2,991	2,482	3,304	0,292	0,110	9,78	7
<u>ESHOWE FORMASIE (VERVOLG)</u>									
E	ONVERWEERD	FYN	2,586	0,918	6,667	2,201	0,635	85,09	12
		MEDIUM	3,286	3,286	3,286	-	-	-	1
	EFFENS VERWEERD	FYN	1,192	0,224	2,958	0,802	0,222	67,29	13
	HOOGS VERWEERD	FYN	0,138	0,020	0,257	0,167	0,118	120,97	2
<u>MLAZI FORMASIE (VERVOLG)</u>									
E	ONVERWEERD	FYN	1,115	0,265	1,939	0,519	0,156	46,52	11
		MEDIUM	1,408	1,408	1,408	-	-	-	1
	EFFENS VERWEERD	FYN	0,686	0,265	1,285	0,330	0,095	48,21	12
	MATIG VERWEERD	FYN	0,224	0,224	0,224	-	-	-	1
		GROF	0,959	0,959	0,959	-	-	-	1

TABEL 12: PUNTLAS STERKTEINDEKS (PLSI) VAN SANDSTEENTIPES VAN DIE HIBBERDENE, MLAZI EN ESHOWE FORMASIES

SANDSTEENBESKRYWING		STATISTIESE GEGEWENS						
SANDSTEENTYPE	VERWERINGSGRAAD	GEMIDDELDE PLSI (MPa)	MINIMUM PLSI (MPa)	MAKSIMUM PLSI (MPa)	STANDAARD AFWYKING	STANDAARD FOUT VAN DIE GEMIDDELDE	VARIANSIE KOEFFISIENT	AANTAL MONSTERS GETOETS
A	ONVERWEERD	7,42	0,81	13,70	2,28	0,10	30,71	510
	EFFENS VERWEERD	4,20	0,43	10,70	1,83	0,16	44,34	130
	MATIG VERWEERD	2,38	0,26	8,46	1,37	0,23	57,67	37
	HOOGS VERWEERD	1,73	0,10	3,08	0,84	0,22	48,52	15
B	ONVERWEERD	7,75	0,80	19,29	2,53	0,10	32,68	638
	EFFENS VERWEERD	1,18	1,37	7,49	2,04	0,40	49,39	26
	MATIG VERWEERD	1,08	0,81	1,50	0,33	0,15	7,85	5
	HOOGS VERWEERD	1,17	1,17	1,17	-	-	-	1
C	ONVERWEERD	7,91	2,48	16,00	2,06	0,09	26,01	525
	EFFENS VERWEERD	5,30	1,64	7,62	1,81	0,41	34,17	20
	MATIG VERWEERD	4,10	3,94	4,25	0,22	0,16	5,35	2
	HOOGS VERWEERD	1,37	1,08	1,90	0,46	0,27	33,65	3
D	ONVERWEERD	6,02	0,26	14,00	2,50	0,15	41,49	267
	EFFENS VERWEERD	2,98	0,27	6,68	1,56	0,28	52,31	32
	MATIG VERWEERD	1,72	0,86	3,28	1,38	0,45	58,94	5
	HOOGS VERWEERD	0,53	0,53	0,53	-	-	-	1
E	ONVERWEERD	1,84	0,27	6,67	1,59	0,29	86,54	30
	EFFENS VERWEERD	0,94	0,22	2,95	0,64	0,12	68,29	27
	MATIG VERWEERD	0,48	0,22	0,96	0,42	0,24	86,51	3
	HOOGS VERWEERD	0,14	0,02	0,26	0,17	0,11	120,98	2

TABEL 14: PUNTLAS STERKTEINDEKS (PLSI) VAN SANDSTEENTIPES A TOT E VAN DIE GROEP NATAL SANDSTEEN.

Tabel 15 toon h klassifikasie van die sterktes van sandsteentipes teenoor graad van verwerking op grond van puntlassterkte.

Graad van verwerking	Sandsteentipe	Klassifikasie
Onverweer	A B C en D	Hoog
	E	Laag
Effens verweer	A B en D	Medium
	C	Hoog
	E	Baie laag
Matig verweer	D	Hoog
	A en C	Medium
	B	Laag
	E	Baie laag
Hoogs verweer	A B en C	Laag
	D en E	Baie laag

Tabel 15: Klassifikasie van sandsteentipe se sterktes teenoor graad van verwerking.

Eenassige druksterktewaardes kan van Putlas sterkte bereken word met behulp van h formule wat deur Broch en Franklin, (1972) voorgestel is naamlik:

$$c = 24 I_s (50)$$

waar c = eenassige druksterkte
 en $I_s (50)$ = puntlassterkte gekorrigeer na 50 mm deursnee kern.

Hoek en Brown (1980) stel die volgende formule voor, naamlik:

$$c = (14 + 0,175 D) I_s$$

waar c = eenassige druksterkte

D = deursnee van kern

en I_s = die puntlasindeks (bereken $I_s = P/D^2$)

Hierdie formule maak ook voorsiening vir die grootte kern wat gebruik word en maak die omslagtige berekening van $I_s(50)$ onnodig.

Vir die doel van vergelyking tussen puntlas sterkte en eenassige druksterkte is alle puntlaswaardes met behulp van die formule soos voorgestel deur Hoek en Brown (1980) bereken. Die waardes moet as binne 5 persent korrek beskou word.

Die vergelyking tussen die puntlassterkte en die eenassige druksterkte is gedoen om vas te stel hoe die Natalsandsteen met ander gesteentes vergelyk indien die formule soos voorgestel deur Broch en Franklin (1972) toegepas word.

Tabel 16 toon hierdie vergelyking.

Sandsteentipe	PLSI MPa	Aantal	EADS 'MPa	Aantal	Aanpassings- faktor
A	7,42	510	209	11	28,16
B	7,75	638	210	14	27,06
C	7,87	525	211	15	26,79
D	6,0	267	219	13	36,5
E	1,83	30	75	4	40,9

Tabel 16: Verwantskap tussen gemiddelde puntlassterkte (PLSI) en gemiddelde eenassige druksterkte (EADS) van onverweerde sandsteentipes.

Sandsteentipe A, B en C toon 'n redelik konstante verband tussen EADS en PLSI. Die aanpassingsfaktor is ongeveer 27 in plaas van 24 soos voorgestel deur Broch en Franklin (1972). Vir sandsteentipes D en E is hierdie aanpassingsfaktor heelwat groter en dit kan toegeskryf word aan die feit dat die puntlastoets parallel aan die struktuur (gelaagdheid) in die rots uitgevoer is. Sandsteentipes A, B en C is massief en kruisgelaagd sodat struktuur nie 'n groot rol speel in die meting van aksiale of diametrale puntlaststerktes nie.

Om die verband tussen die aksiale (A) en diametrale (D) puntlaststerktes te bepaal is puntlastoetse wat aksiaal en diametraal op aangrensende monsters uitgevoer en die resultate vir die verskillende sandsteentipes vergelyk (Tabel 17).

Sandsteentipe	Verwering	Korrelasie koëffisiënt tussen PLSI(A) en PLSI(D)	N
A	Onverweer	0,58	65
	Effens verweer	0,54	14
	Matig verweer	0,06	5
	Hoogs verweer	0,90	2
B	Onverweer	0,49	27
C	Onverweer	0,61	63
D	Onverweer	0,10	68

Tabel 17: Verband tussen PLSI (A) en PLSI (D) van sandsteentipes A tot E.

'n Goeie korrelasie tussen die aksiale en diametrale puntlassterkte word vir sandsteentipe A, B en C aangetref. Hierdie resultaat is te wagte aangesien genoemde sandsteentipes relatief homogeen is en geen of baie min struktuur besit. 'n Swak korrelasie tussen genoemde eienskappe word vir sandsteentipe D aangetref. Die rede hiervoor is dat dié sandsteentipe gelaagd is en dus lae puntlassterkte waardes parallel aan die gelaagdheid oplwer.

4.1.2 Drie-assige druksterkte.

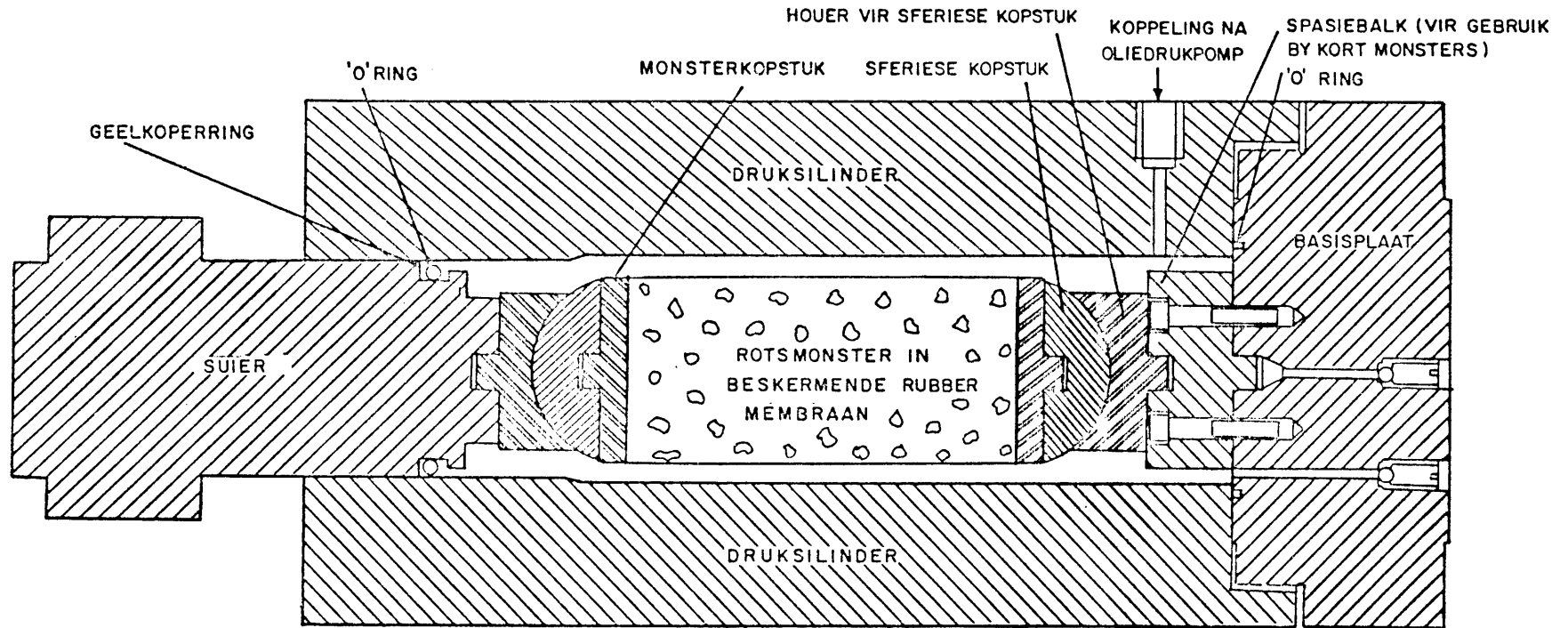
Die drie-assige druksterkte toets word met behulp van 'n drie-assige sel (Hoek-sel) uitgevoer. Die kohesie en wrywingshoek word onder 'n drie-assige spanningstoestand bepaal.

(a) Toetsmetode en apparaat

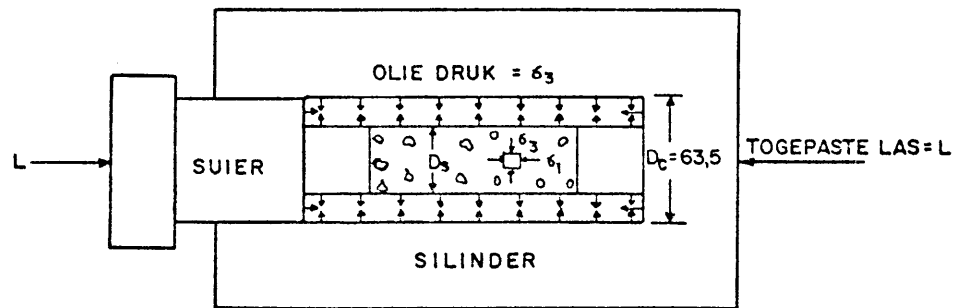
Die toets word gebruik om die sterkte van silindriese rotsmonsters onder drie-assige belastingtoestande te meet. Hierdie toets voorsien die waardes vir die Mohr hulkromme, waaruit die interne wrywingshoek en kohesie bepaal kan word (ISRM, 1978, Brown, 1981 en Vogler 1985).

Die apparaat bestaan uit drie hoofdele, nl. 'n drie-assige sel, 'n belastingsstelsel vir die aksiale grootste hoofspanning en 'n belastingsstelsel vir die diametrale kleinste hoofspanning.

Die drie-assige sel (Figuur 7) bestaan uit 'n druksilinder met 'n basisplaat waarop die entstuk van 'n rotsmonster pas. In die druksilinderwand is 'n opening waardeur die kleinste hoofspanning deur middel van hidrouliese druk op die monster toegepas kan word. Aan die bokant van die druksilinder is 'n digpassende belastingsilinder waarmee die grootste hoofspanning op die rotsmonster toegepas word.



WNNR DRIE - ASSIGE SEL IN DETAIL



BEGINSEL VAN TOETS

$$\sigma_1 = \frac{L - \frac{\pi}{4} (D_c^2 - D_s^2) \sigma_3}{\frac{\pi}{4} D_s^2}$$

WAAR σ_1 = AKSIALE SPANNING
 σ_3 = OLIEDRUK = INSLUITSPANNING
 L = TOTALE TOEGEPASTE LAS
 D_c = SILINDERHOLTE DEURSNEE
 D_s = MONSTER DEURSNEE

FORMULE

FIGUUR: 7. WNNR DRIE-ASSIGE SEL

Hierdie drie-assige sel pas in 'n eenassige drukpers soortgelyk aan die wat in paragraaf 3.1.1 bespreek word (eenassige druktoets).

Die monster word op dieselfde wyse voorberei as monsters vir eenassige druktoetse. Die monster word in 'n geskikte buigbare rubber (latex) omhulsel geplaas en die ente dig deur middel van O-ringe geseël. Hierdie omhulsel verhoed dat hidrouliese vloeistof die monster binnedring.

Die drie-assige sel word in posisie geplaas sodat die rotsmonster ko-aksiaal in posisie is. Die aksiale en diametrale belastings word gelyktydig toegepas, die aksiale las effens groter as die diametrale las en stelselmatig verhoog, tot by die voorafbepaalde diametrale laswaarde. Die las moet binne 2 persent van die voorgeskrewe waarde gehou word. Die aksiale las op die monster word dan verder stelselmatig verhoog sodat die monster binne 5 tot 15 minute swig. Die maksimum aksiale las en die ooreenstemmende diametriale las word noteer.

Die drie-assige druksterkte van die monster kan bereken word deur die maksimum aksiale las te deel deur die oorspronklike dwars deursnee-oppervlakte van die monster.

Die diametrale inperkingsdruk kan teenoor die ooreenstemmende aksiale druksterkte uitgeteken word. Deur die parameters m (helling van die lyn) en b (afsnit op die Y-as) te gebruik kan die interne wrywingshoek (ϕ) en die skynbare kohesie (c) bereken word met behulp van die volgende formule (Vreede, 1985)

$$\phi = \arcsin \frac{m - 1}{m + 1} ; c = b \frac{1 - \sin \phi}{2 \cos \phi} \quad \text{----- 1}$$

Hierdie vergelykings kan verder vereenvoudig word sodat

$$c = \frac{b}{\sqrt{2} m} \quad \text{----- 2}$$

Die aksiale spanning σ_1 , kan berken word deur

$$= L - \frac{\pi}{4} (Dc^2 - Ds^2) \sigma_3 \quad \text{----- 3}$$

$$\frac{\pi/4}{Ds^2}$$

- waar σ_1 = aksiale spanning
 σ_3 = insluitspanning
 L = totale toegepaste las
 Dc = Silinderholte deursnee
 Ds = Monsterdeursnee

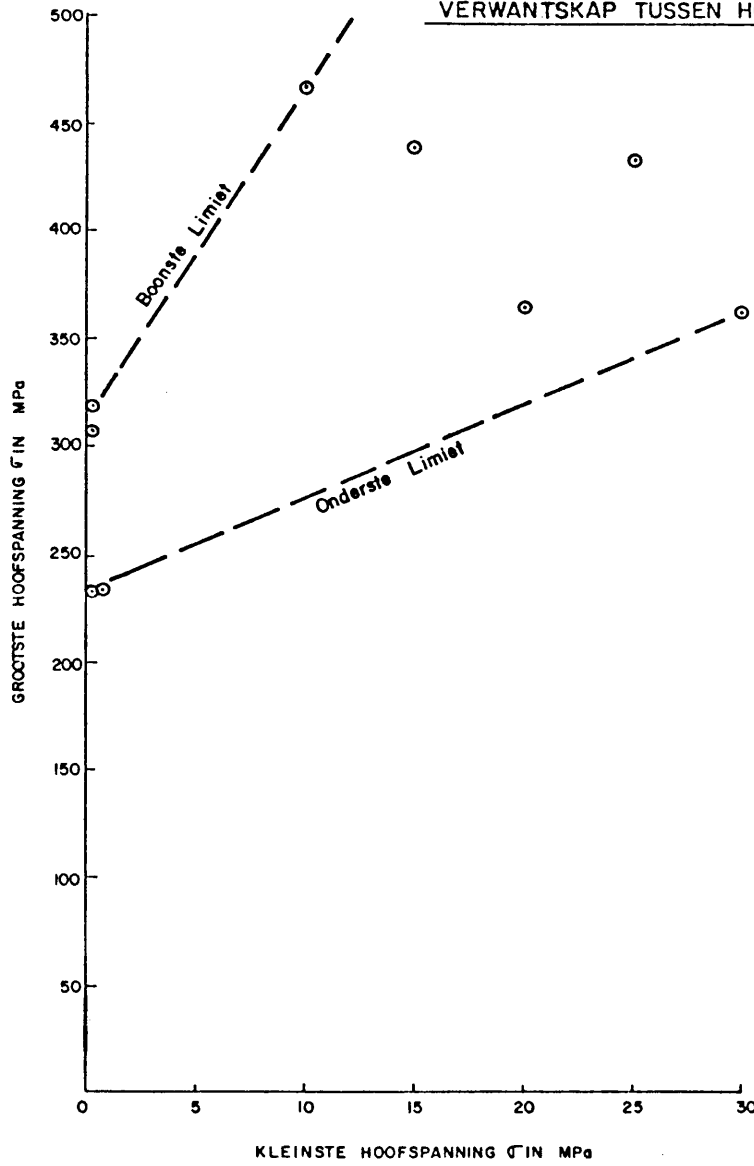
(b) Resultate.

Vyf uitgesoekte sandsteenmonsters van elke sandsteentipe A, B, C, D en E is op genoemde metode getoets om die wrywingshoek (ϕ) en die kohesie (c) daarvan te bepaal. (Hoek, en Brown, (1977).

Vir elke sandsteentipe is die grootste hoofspanning teen die kleinste hoofspanning grafies geteken (Fig 8 - Fig 12).

Die verspreiding van punte op bogenoemde assestelsel lê baie wyd, sodat dit baie moeilik is om 'n enkele lyn deur hierdie punte te trek en die kohesie en wrywingshoek daaruit te bereken.

VERWANTSKAP TUSSEN HOOFSPANNINGS BY SWIGTING



$$M_o = \frac{358-230}{30} = \frac{128}{30} = 4,267$$

$$M_b = \frac{464-313}{10} = \frac{151}{10} = 15,1$$

$$\theta = \text{ARC SIN } \frac{M-1}{M+1}$$

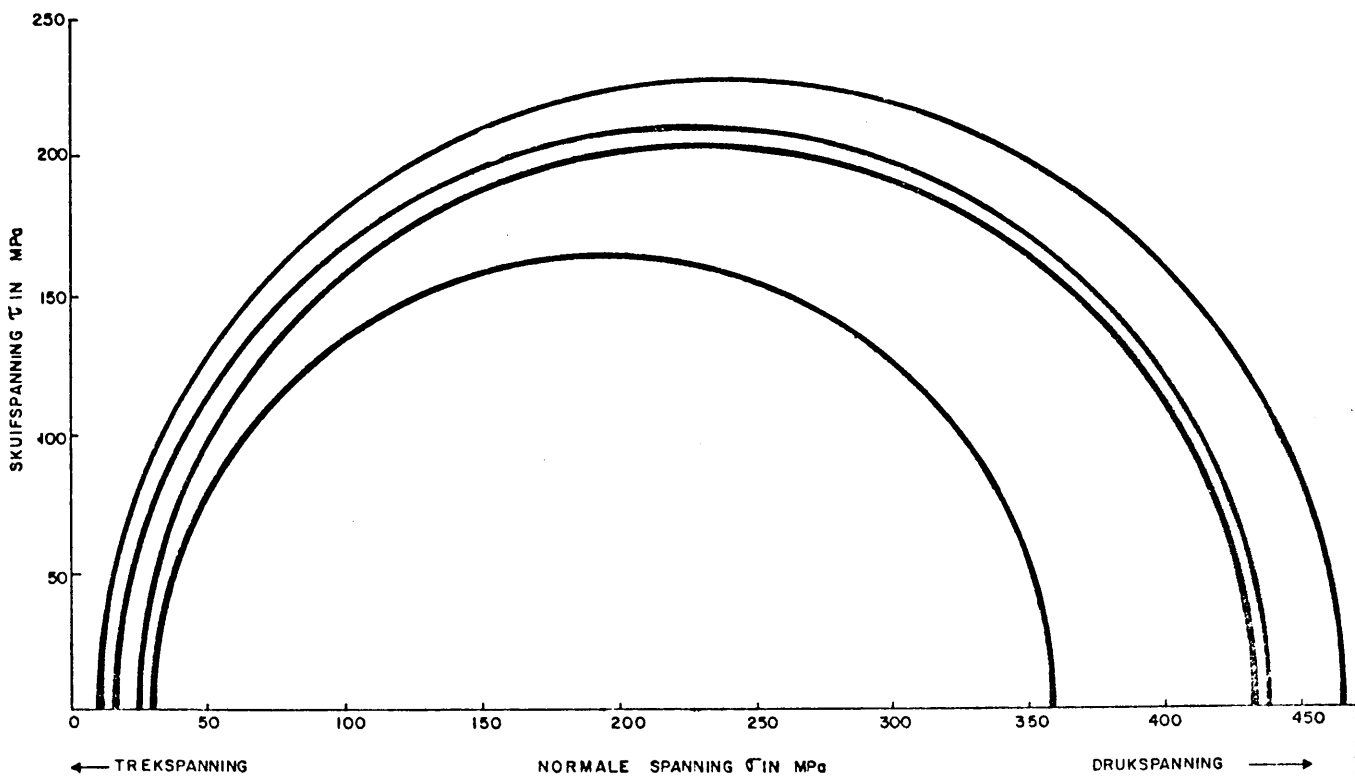
$$C = \frac{b}{2\sqrt{m}}$$

$$\theta_o = 38,3^\circ$$

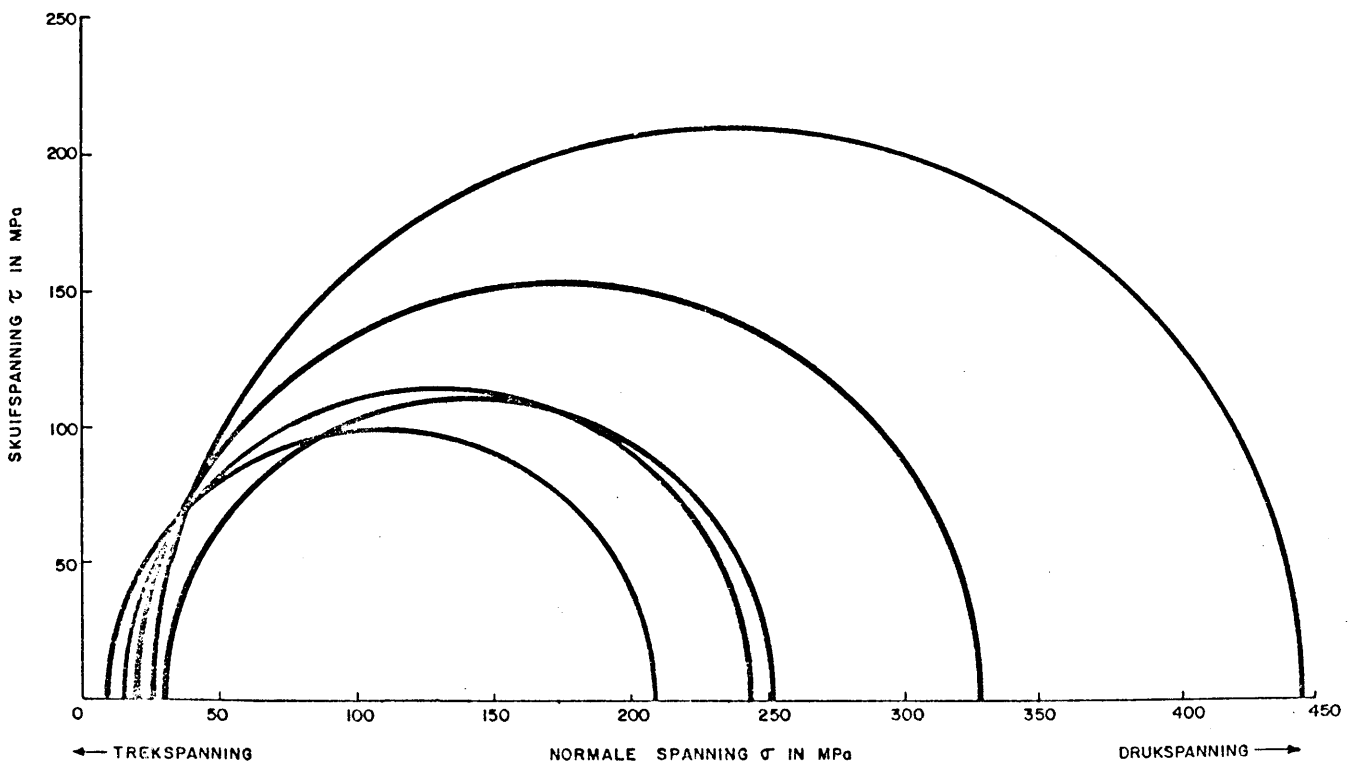
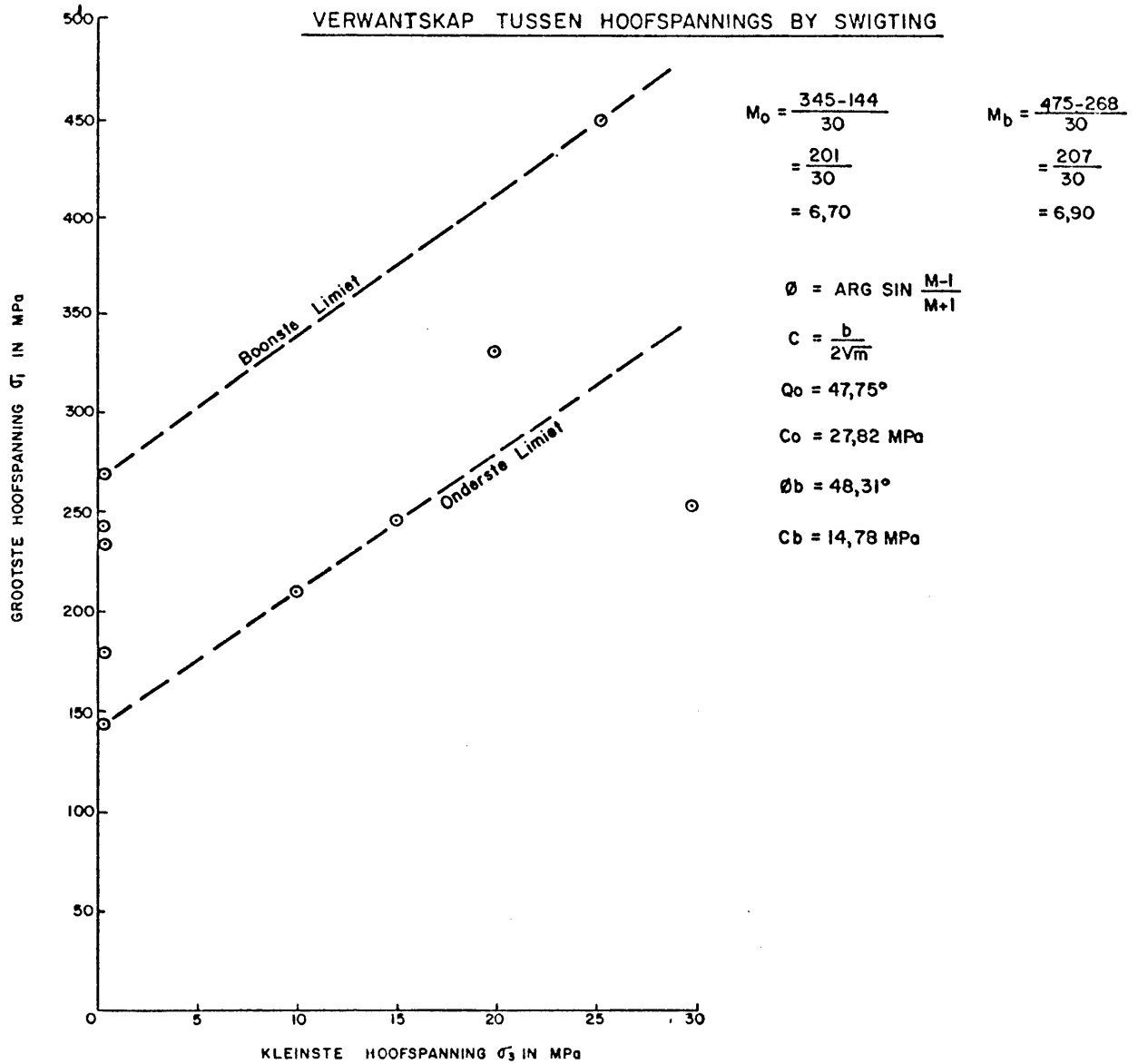
$$C_o = 55,67 \text{ MPa}$$

$$\theta_b = 61,13$$

$$C_b = 40,3 \text{ MPa}$$

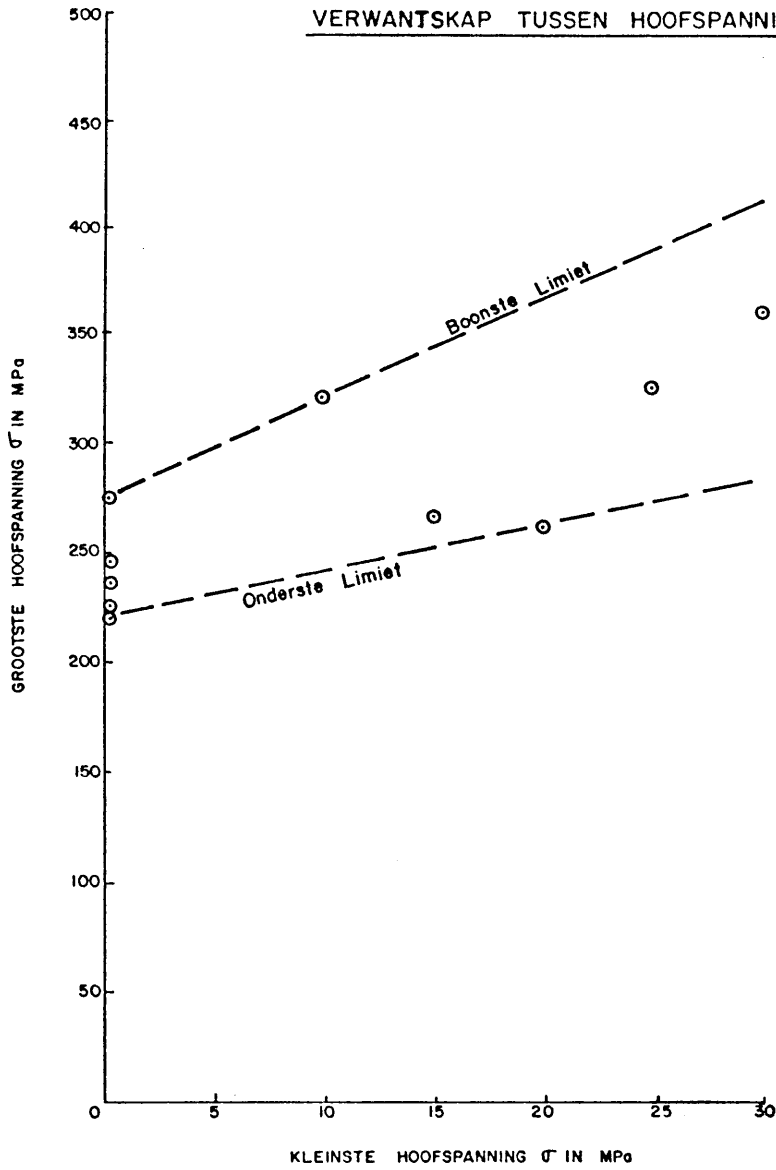


FIGUUR 8. GRAFIESE VOORSTELLING VAN SPANNINGTOESTANDE VIR SWIGTING VAN INTAKTE ROTSMATERIAAL SANDSTEENTYPE A



FIGUUR 9. GRAFIESE VOORSTELLING VAN SPANNINGTOESTANDE VIR SWIGTING VAN INTAKTE ROTSMATERIAAL SANDSTENE B

VERWANTSKAP TUSSEN HOOFSPANNINGS BY SWIGTING



$$M_o = \frac{282 - 219}{30} = \frac{63}{30} = 2,1$$

$$M_b = \frac{410 - 245}{30} = \frac{165}{30} = 5,5$$

$$\theta = \text{ARC SIN } \frac{M - 1}{M + 1}$$

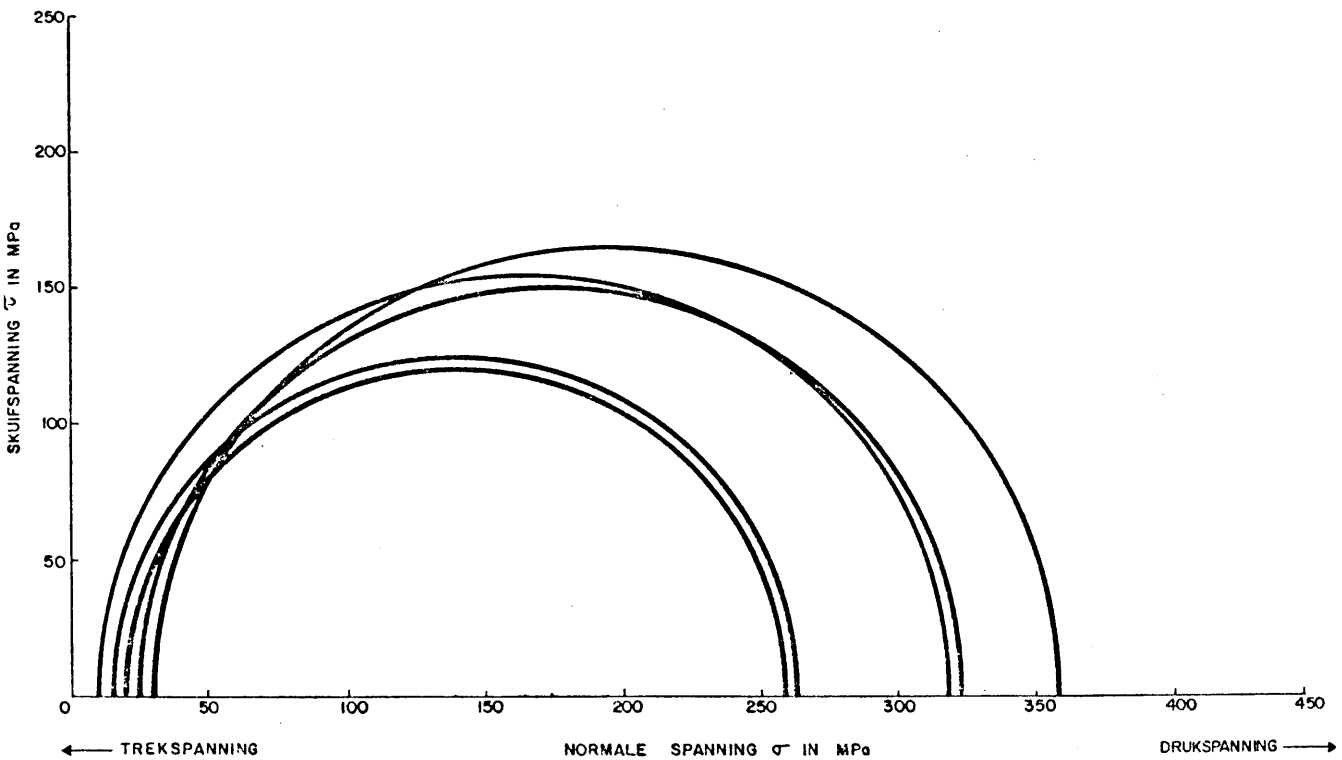
$$C = \frac{b}{2\sqrt{m}}$$

$$\theta_o = 20,78^\circ$$

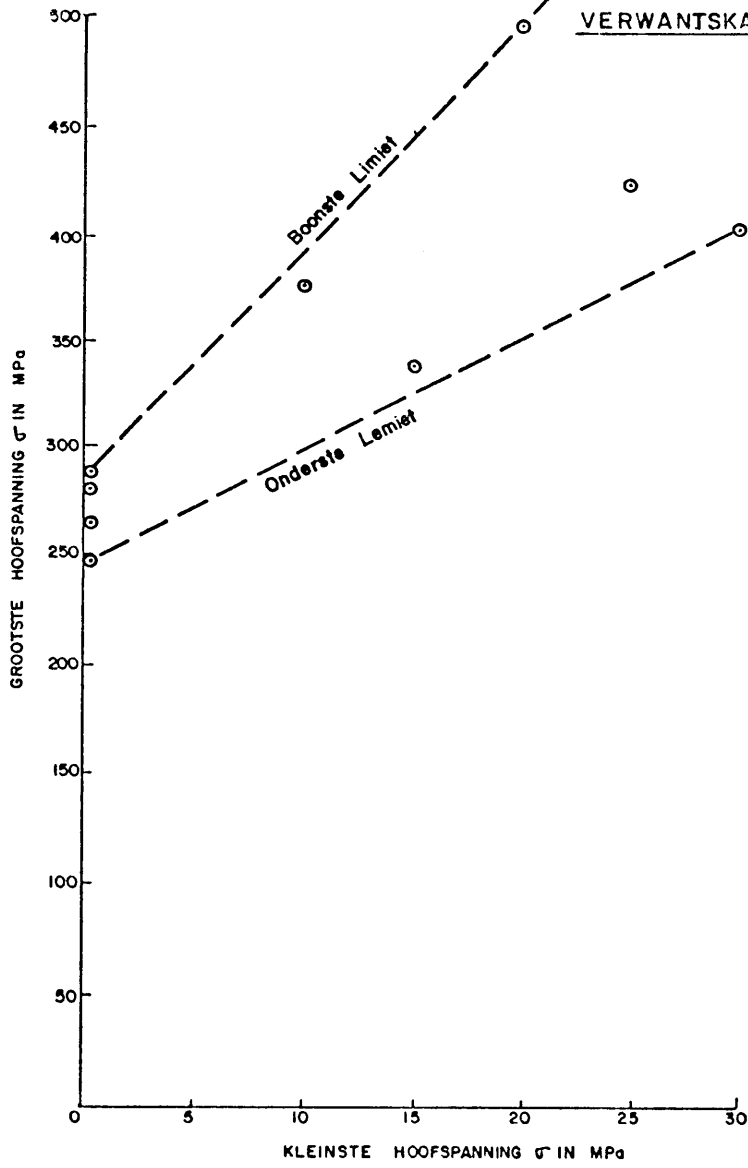
$$C_o = 75,6 \text{ MPa}$$

$$\theta_b = 47,5^\circ$$

$$C_b = 58,8 \text{ MPa}$$



IGUUR 10. GRAFIESE VOORSTELLING VAN SPANNINGTOESTANDE VIR SWIGTING VAN INTAKTE ROOSMATERIAAL SANDSTEENTIPES C.



VERWANTSKAP TUSSEN HOOFSPANNINGS BY SWIGTING.

$$M_0 = \frac{402-248}{30} = \frac{154}{30} = 5,13$$

$$M_b = \frac{495-286}{20} = \frac{209}{20} = 10,45$$

$$\phi = \text{ARG SIN } \frac{M-1}{M+1}$$

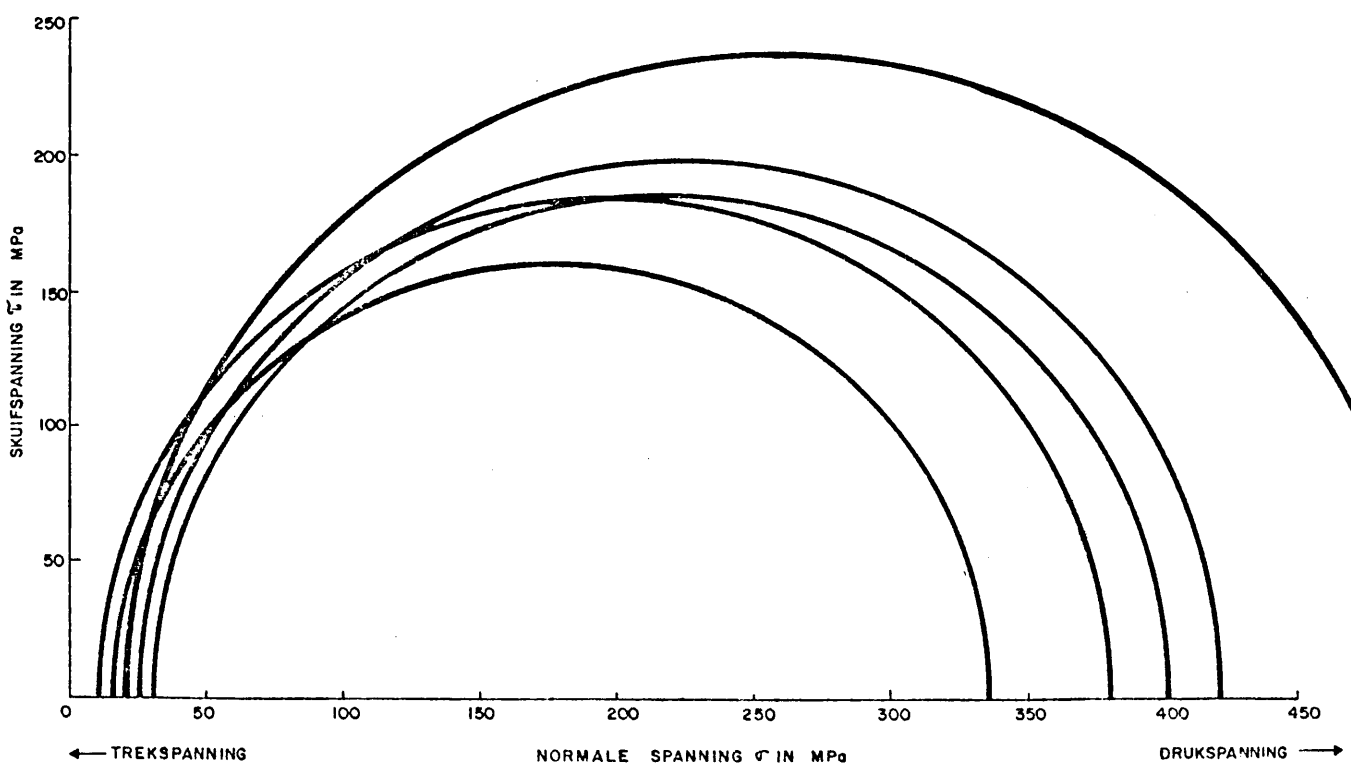
$$C = \frac{b}{2\sqrt{m}}$$

$$\phi_0 = 42,4^\circ$$

$$C_0 = 54,7 \text{ MPa}$$

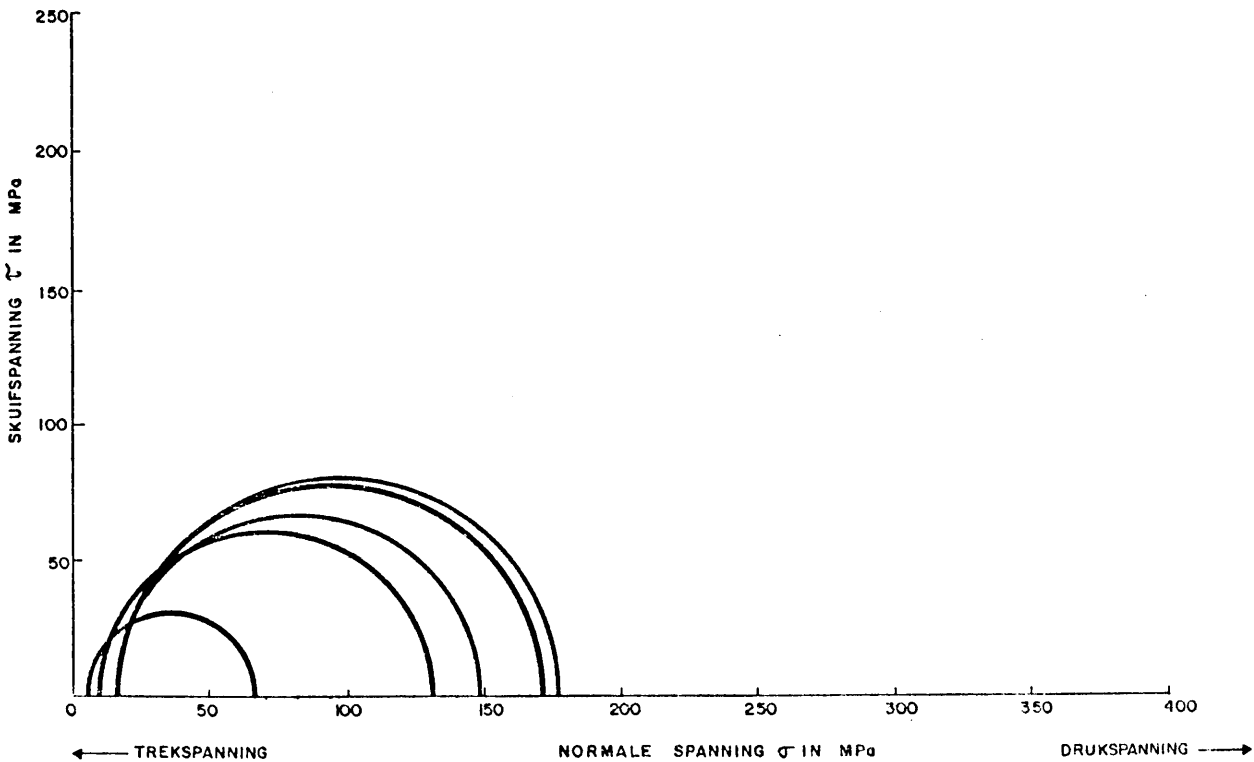
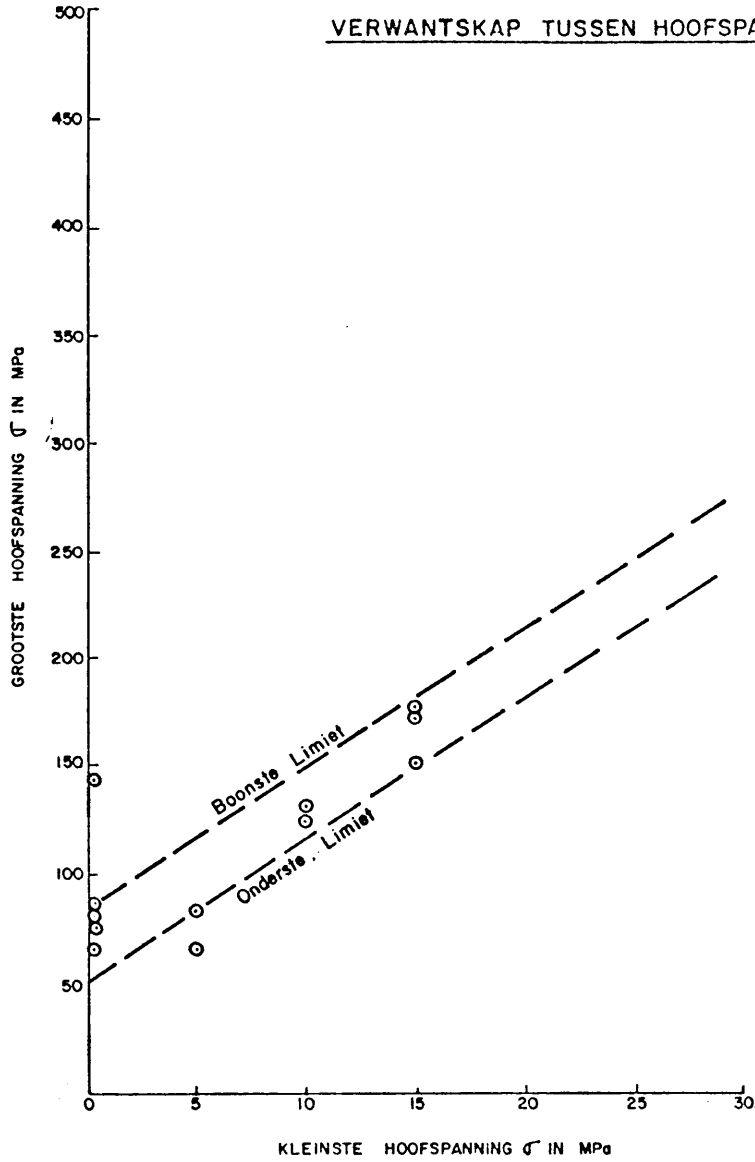
$$\phi_b = 55,6^\circ$$

$$C_b = 13,7 \text{ MPa}$$



FIGUUR II. GRAFIESE VOORSTELLING VAN SPANNINGTOESTANDE VIR SWIGTING VAN INTAKTE ROTSMATERIAAL SANDSTEENTIPES D

VERWANTSKAP TUSSEN HOOFSPANNINGS BY SWIGTING



FIGUUR 12. GRAFIESE VOORSTELLING VAN SPANNINGTOESTANDE VIR SWIGTING VAN INTAKTE ROTSMATERIAAL SANDSTEENTIPES

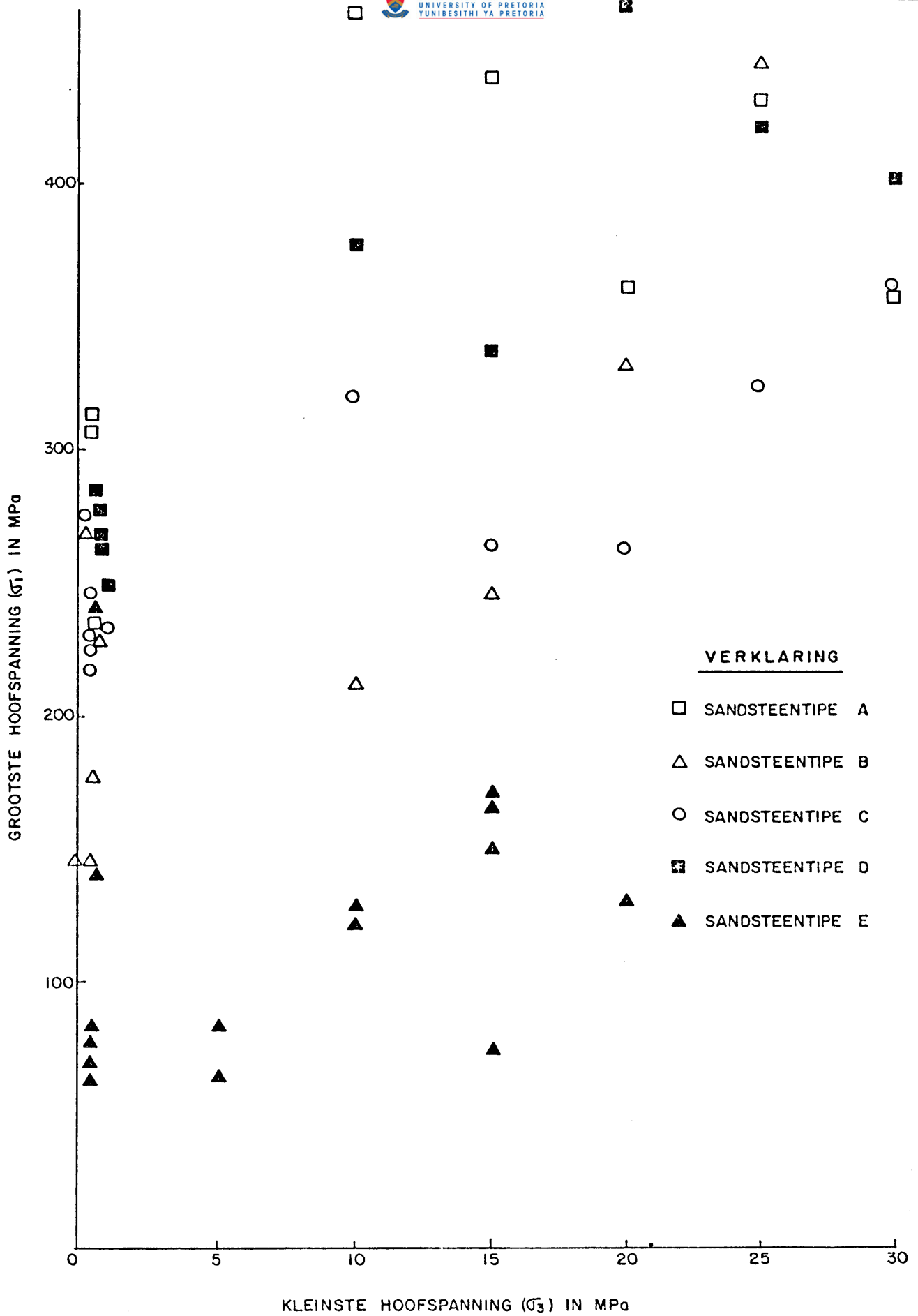
Twee lyne naamlik 'n boonste limietlyn en 'n onderste limietlyn is onderskeidelik deur die boonste en onderste stel waardes getrek om 'n hulkromme te verkry waarbinne al die punte lê en die kohesie en wrywingshoeke vir die boonste en onderste limiete is daaruit bereken.

Figuur 13 is 'n gekombineerde voorstelling van hierdie data. Hieruit kan gesien word dat slegs sandsteentipe E 'n liniêre toename toon van die grootste hoofspanning, 'n verskynsel wat onder ideale toestande altyd verwag word.

Die rede vir die goeie korrelasie is die feit dat sandsteentipe E 'n relatief lae sterkte het en daarom die enigste monsters is wat behoorlik deur die toetsapparaat wat gebruik is getoets kan word. Die maksimum klein hoofspanning wat toegepas kan word is 30 MPa. Vir grootste hoofspannings van 200 MPa en hoër is 'n kleinste hoofspanning van 30 MPa onbeduidend. Dit is ook die rede vir die swak korrelasie wat op die Mohr diagramme (Fig. 8 - 12) getoon word.

Die resultate van toetse op sandsteentipes A tot E word in Tabel 18 uiteengesit.

Sand- steen- tipe	Interne Wrywingshoek (grade)			Kohesie (MPa)		
	Onderste	Boonste	Gemiddelde	Onderste	Boonste	Gemiddelde
	Limiete			Limiete		
A	38,3	61,13	49,7	40,3	55,67	47,9
B	47,75	48,31	48,0	14,78	27,82	21,3
C	20,78	47,5	34,2	58,8	75,6	67,2
D	42,4	55,6	49,0	13,7	54,7	34,2
E	47,6	45,6	46,6	16,9	9,68	13,3



FIGUUR 13. VERWANTSKAP TUSSEN HOOFSPANNINGS BY SWIGTING VIR SANDSTEENTIPES A TOT E.

(c) Gevolgtrekking

Interne wrywingshoeke vir sandsteentipes A tot D is onderskeidelik $49,7^\circ$; $48,0^\circ$; $34,2^\circ$ en $49,0^\circ$. Dié vir sandsteentipe C is besonder laag. Die rede hiervoor is dat die syfer beïnvloed word deur 'n lae waarde wat eksperimenteel vir die grootste hoofspanning by 'n kleinste hoofspanning van 20 MPa (Figuur 10) bepaal is. Indien hierdie waarde geïgnoreer word, is die interne wrywingshoek vir sandsteentipe C gelyk aan $47,5^\circ$. Hierdie waardes vir die interne wrywingshoek stem ooreen met die bepaling vir rotsmateriaal van tipiese Suid-Afrikaanse gesteentes. Die vir sandsteen is 45° tot 50° (Bieniawski en Robertson, 1973). Die vir sandsteentipe E (skalie) is as $46,6^\circ$ bepaal wat besonder hoog is. Dit vergelyk egter ook goed met die van Bieniawski en Robertson vir skalie van tussen 40° en 65° .

Die kohesie vir sandsteentipe A tot D is bepaal as 47,9; 21,3; 67,2 en 34,2 MPa onderskeidelik. Die vir sandsteentipe E is bepaal as 13,3 MPa. Die waardes vir tipes A - D is baie hoër as die waardes van onderskeidelik 17 en 8 MPa vir sandsteen en skalie wat Bieniawski en Robertson (1973) aangee. Die rede hiervoor is waarskynlik dat die Natalsandsteen goed gesementeer is.

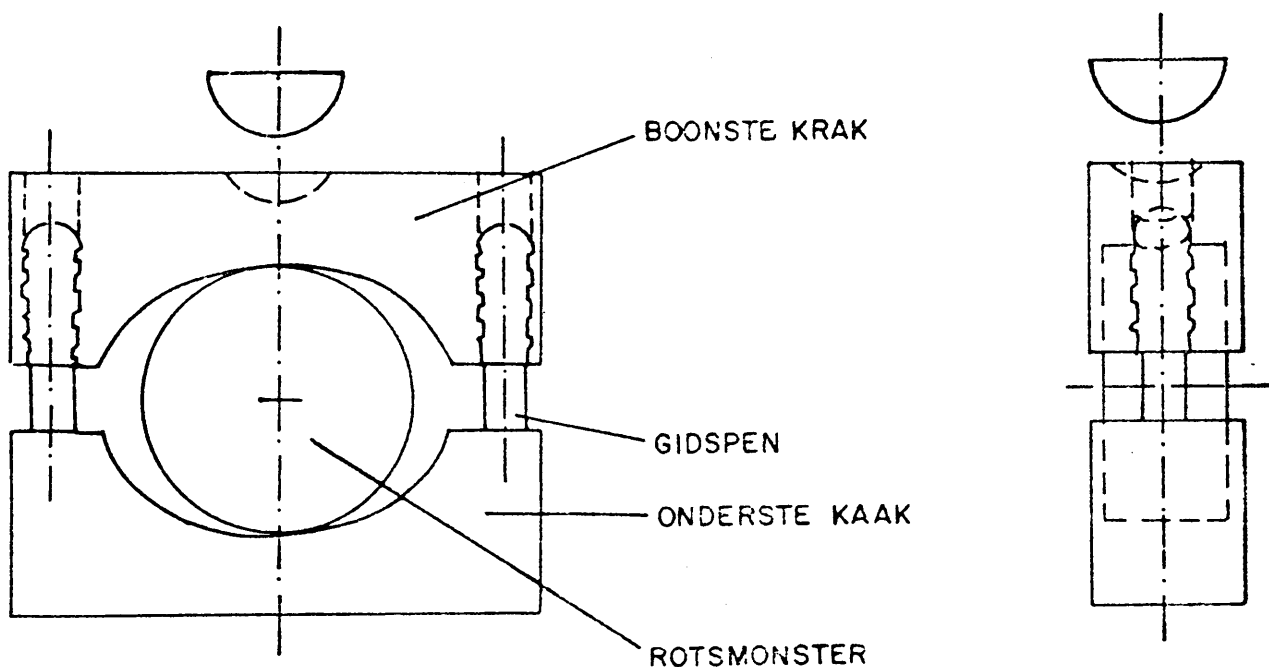
4.1.3 Treksterkte

Die treksterkte van rotsmateriaal kan op twee maniere bepaal word, nl. (a) deur direkte trektoets of (b) deur die indirekte metode waar 'n skyfie van die rots aan diametrale drukspanning onderwerp word sodat dit as gevolg van interne trekspanning swig (Braziliaanse treksterkte toets).

(a) Toetsmetode en apparaat

Hierdie toets is ontwerp om die eenassige treksterkte van 'n voorbereide rotsmonsters indirek deur middel van die Brasiliaanse toets te meet (SRM, 1977 en Vogler, 1985). Die beginsel van die toets word gebaseer op die eksperimentele waarneming dat meeste rotsmonsters in 'n eenassige spanningstoestand swig as gevolg van trekspanning wat in die monster opbou. Die kleinste hoofspanning is trekspanning en die grootste hoofspanning is drukspanning.

Die apparaat bestaan uit twee kake wat so ontwerp is dat dit 'n skyfvormige rotsmonster wat diametraal in die apparaat geplaas word op teenoorgestelde kante raak en sodat die boogkontak ongeveer 10° sal wees by swigting. Die apparaat word in Figuur 14 getoon.



Figuur 14: Apparaat vir die Brasiliaanse treksterktetoets.

Die kritiese dimensies van die apparaat is die radius van die boog, die opening en die lengte van die gidspen koppelling, die twee geboë kake en die wydte van die kake. Die spesifikasies is soos volg:

Die radius van die kake = 1,5 keer die monsterdeursnee.

Die wydte van die kake = 1,1 keer die monsterdeursnee.

h Drukpers soortgelyk aan wat in paragraaf 4.1.1 beskryf is, word benodig.

Die monsters word voorberei deur dit tot die vereiste grootte te saag. Silindriese oppervlakke moet geen onreëlmatighede soos gereedskapmerke bevat nie. Al die kante word plat, asook reghoekig en parallel tot $0,25^\circ$ akkuraat geslyp word. Die monsteroriëntasie en die voginhoud van die monster (indien enige) word bepaal.

Die omtrek van die monster word bedek met h laag maskeerband en dan haaks in die apparaat geplaas sodat die rotasie-as van die monster ooreenstem met dié van die apparaat. Eenvormige belasting word konstant op die monster toegepas. h Lastempo van 200 N/s word aanbeveel. Waar die toetsapparaat toegerus is met h las-vervormingsmeter, kan h rekord gedurende die toets geneem word. Onder normale omstandighede word tien toetse per monstertipe aanbeveel.

Die treksterkte σ_t van h monster word deur die volgende formule bereken:

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi Dt} \quad (\text{MPa})$$

waar P = die las by swigting in Newton

D = die deursnee van die monster in mm.

t = die dikte van die monster in mm.

Hierdie formule kan ook geskryf word as:

$$\sigma_t = 0,636P/Dt \text{ (MPa)}.$$

(b) Resultate

Nege uitgesoekte onverweerde monsters van sandsteentipes A, B, C en D is deur middel van die Brasiliaanse treksterkte toets ondersoek.

'n Beskrywing van die monster asook die resultate van die treksterketoets word in tabel 19 weergegee. Die gemiddelde treksterkte van sandsteentipes A, B, C en D word in Tabel 20 vergelyk met die eenassige druksterktes van dieselfde sandsteentipes om 'n korrelasie tussen genoemde twee eienskappe te probeer vind. Literatuur maak melding van 'n faktor 10 tussen die twee eienskappe, met ander woorde die druksterkte is gewoonlik 10 keer groter as die treksterkte.

Sandsteentipe	Gemiddeld		
	Druksterkte (MPa)	Treksterkte (MPa)	Faktor
A	209	11,26	18,6
B	210	17,90	11,7
C	211	12,22	17,3
D	219	14,61	15,0

Tabel 20: Vergelyking tussen die eenassige druksterkte en die treksterkte van sandsteentipes A, B, C en D.

MONSTER NR.	KLEUR	MINERAAL SAMESTELLING	KORREL-GROOTTE	DEURSNEE (mm)	LENGTE (mm)	LAS BY SWIGTING (kN)	TREKSTERKTE VAN MONSTER	GEMIDDELD VAN GROEP	GEMIDDELD VAN SANDSTEENTYPE
A 1	ROOIBRUIN	VELDSPATIES	MEDIUM	54,9	27,1	25,9	11,08		
A 2	MET WIT	SANDSTEEN		54,8	26,9	28,2	12,18	11,10	
A 3	VLEKKE			54,8	26,6	23,0	10,04		
A 4	ROOIBRUIN	VELDSPATIES		54,8	27,0	27,4	11,79		
A 5	MET WIT		MEDIUM	54,8	27,0	25,7	11,06	11,08	11,26
A 6	VLEKKE	SANDSTEEN		54,8	23,9	23,9	10,40		
A 7	ROOIBRUIN	VELDSPATIES		54,8	27,1	28,8	12,35		
A 8	MET WIT	SANDSTEEN	MEDIUM	54,8	27,2	29,7	12,68	11,60	
A 9	VLEKKE			55,0	26,8	22,6	9,76		
B 1		KWARTSITIESE		54,7	27,0	35,2			
B 2	BLOUGRYS	SANDSTEEN	GROF	54,8	27,1	43,3	18,56	17,41	
B 3				54,9	26,9	42,9	18,49		
B 4				54,4	27,1	46,5	20,08		
B 5	ROOIBRUIN	KWARTSITIESE	FYN	54,4	26,9	44,5	19,36	19,79	17,90
B 6		SANDSTEEN		54,4	27,0	46,0	19,94		
B 7				54,8	27,0	39,1	16,82		
B 8	WIT	KWARTSITIESE	FYN	54,7	26,9	35,1	15,19	16,50	
B 9		SANDSTEEN		54,5	26,6	39,1	17,49		
C 1	ROOIBRUIN	VELDSPATIESE		54,7	27,2	31,5	13,48		
C 2	GRYS	SANDSTEEN	MEDIUM	54,7	26,7	26,5	11,55	12,97	
C 3				54,7	27,1	32,3	13,87		
C 4				54,7	27,2	22,5	9,63		
C 5	ROOIBRUIN	VELDSPATIESE	GROF	54,7	27,1	25,5	10,95	10,81	12,22
C 6		SANDSTEEN		54,8	26,6	27,1	11,84		
C 7				54,6	27,7	31,8	13,38		
C 8	ROOIBRUIN	VELDSPATIESE	MEDIUM	54,9	26,9	32,0	13,79	12,89	
C 9		SANDSTEEN		54,7	27,0	26,7	11,51		
D 1		VELDSPATIESE		54,7	27,2	28,2	12,07		
D 2	ROOIBRUIN	MIKARYKE	MEDIUM	54,6	27,1	28,4	12,22	13,00	
D 3		SANDSTEEN		54,7	27,0	34,4	14,83		
D 4		KWARTSITIESE		54,7	26,9	47,6	20,83		
D 5	ROOIBRUIN	MIKARYKE	FYN	54,8	27,1	44,1	18,90	19,72	14,61
D 6		SANDSTEEN		54,8	26,9	45,0	19,43		
D 7				54,7	27,1	23,2	9,96		
D 8	ROOIBRUIN	VELDSPATIESE	GROF	54,8	26,7	25,0	10,88	11,17	
D 9		SANDSTEEN		54,7	27,1	29,5	12,67		

TABEL 19: TREKSTERKTES VAN SANDSTEENTIPES A, B, C EN D.

'n Gemiddelde verhouding van 15,65:1 tussen die eenassige druksterkte en die treksterkte is in die geval van die Natalsandsteen gevind.

4.1.4 Skuifsterkte

Bepaling van die direkte skuifsterkte op kunsmatige snyvlakke in die laboratorium met behulp van 'n skuifkas.

(a) Toetsmetode en apparaat

Hierdie toets is ontwerp om die piek en residuele direkte skuifsterkte as 'n funksie van die normaalspanning op die skuifvlak te bepaal. Die resultate van die toets word byvoorbeeld gebruik in die limiet-ewewig analise vir die bepaling van hellingstabiliteit asook stabiliteitsanalises van damfondamente.

Die inklinasie van die toetsmonster met betrekking tot die rotsmassa en die oriëntasie daarvan in die toetsapparaat word gewoonlik so gekies dat die skuifvlak en die vlak van swakheid in die rotsmateriaal saamval. Genoemde vlakke van swakheid kan die volgende wees, naamlik: laagvlakke, naatvlakke, skisteusheid of splytvlakke of op die tussenvlak tussen grond en rots of beton en rots.

'n Skuifsterktebepaling moet verkieslik bestaan uit 'n minimum van vyf toetse op dieselfde toetsvlak waar elke toets aan verskillende maar konstante normaalspannings onderwerp word.

Toerusting om die monster te sny, soos 'n groot-deursnee kernboor, rotssae, hamers en beitels asook apparaat om die helling, hellingrigting, ruheid en ander eienskappe van die toetsvlak te meet

word benodig. Binddraad om die monster bymekaar te hou asok materiale om die monster teen meganiese beskadiging en verandering in waterinhoud gedurende die sny en vervoer na die laboratorium te bewaar, soos byvoorbeeld beskermende verpakking en waks word gewoonlik vereis.

Monsterhouers wat uitmekaar gehaal kan word om die monster in te monteer, en deel van die toetsapparaat uitmaak word gebind asook 'n bindmiddel (hars, sement, ens.) met die nodige mengapparaat.

Normale belasting word toegepas deur hidrouliese drukpers of meganiese dooie gewig sisteem, wat so ontwerp is dat die las uniform oor die oppervlakte wat getoets moet word versprei sal wees. Die resultante krag moet loodreg en deur die middelpunt van die toetsvlak wees. Die sisteem moet deur 'n groter afstand kan beweeg as die uitsetting of konsolidasie wat verwag kan word en moet in staat wees om die normale belasting binne 2 persent van die gekose waarde deur die toets te verseker.

Die skuifkrag word toegepas deur 'n hidrouliese domkrag of 'n rataangedrewe meganiese sisteem wat so ontwerp is dat die las eweredig langs die een half aansig van die monster versprei is, met die resultante toegepaste skuifkrag in die skuifvlak. Die apparaat moet so ontwerp wees dat 'n skuifbeweging van meer as 10 persent van die monsterlengte kan plaasvind. Die apparaat moet rollers en kabels of 'n soortgelyke lae-wrywingsisteem behels om te verseker dat die skuifweerstand van die apparaat minder is as 1 persent van die maksimum skuifkrag wat tydens die toets toegepas word.

Die Toetsapparaat bestaan uit 'n skuiflas wat in Fig. 15 getoon word:

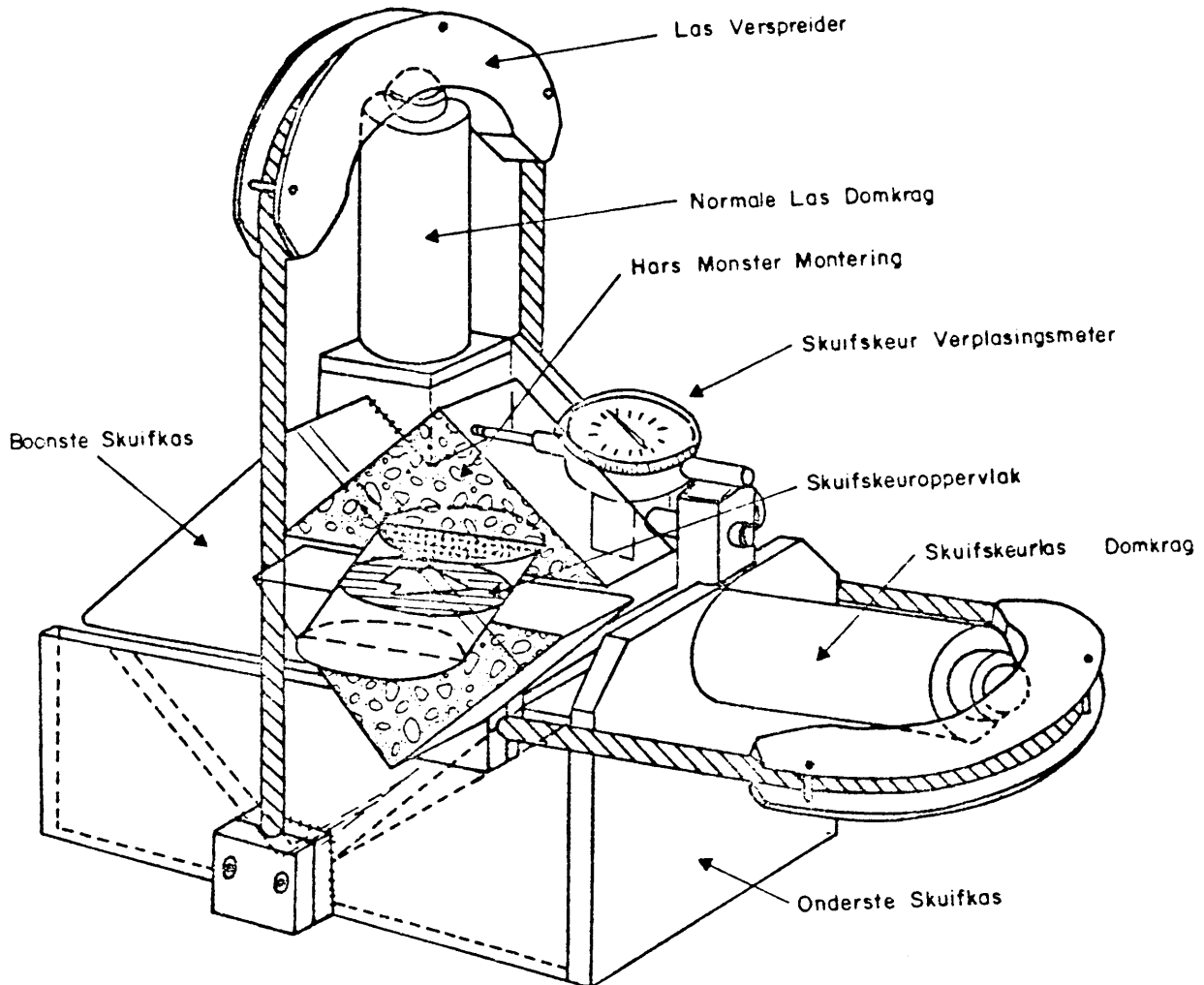


Fig. 15: Tekening van die Robertson skuifkas (Hoek en Bray, 1977).

Ander toerusting wat benodig word is gekalibreerde meters wat, onafhanklik van die toegepaste skuif- en normaalkragte, met 'n akkuraatheid van ± 2 persent van die maksimum kragte wat gedurende die toets bereik is, kan meet en apparaat om die skuif, normale en laterale verplasing te meet, soos 'n verlengingsmeter of 'n elektriese oorvormer. Hierdie meters kan opgestel word soos in Fig 15. Die skuifverplasing meetstelsel moet oor 'n afstand van minstens 10 persent van die monsterlengte en met meer as 0,1 mm akkuraat kan meet. Die normale en laterale verplasing meetstelsel moet oor 'n afstand van 20 mm en beter as 0,05mm akkuraat kan meet.

Die vlak waarvan die skuifsterkte bepaal moet word, word gekies en die helling, hellingsrigting en ander geologiese eienskappe aangeteken. Die oppervlak wat getoets moet word, moet verkieslik vierkantig en 'n minimum oppervlakte van 2 500 mm², beslaan. Die integriteit van die monster moet bewaar word deur dit met draad of band vas te bind sodat dit in posisie kan bly tot onmiddellik voor die toets. Nadat die beskermende verpakking met die uitsondering van die binddraad waarmee die monster aanmekaar gehou word, verwyder is, word die monster in die gietvorm geplaas sodat die vlak wat getoets moet word die korrekte posisie en oriëntasie aanneem. Die hars of sement word in die gietvorm gegiet en gelaat om te stol. Die monster word omgedraai en op dieselfde wyse behandel. Ten minste 5 mm van die monster aan weerskante van die skeurvlak moet nie met hars bedek wees nie. Die binddraad word verwyder en die monster word dan aan die toets onderwerp.

Die doel van die skuifsterktoets is om waardes te bepaal vir die piek en residuele direkte skuifsterktes van die vlak wat getoets word. Die skuiflas kan met inkrementele toegepas word maar word gewoonlik aaneenlopend en op 'n wyse toegepas dat kontrole oor die skuifverplasing behou word.

Ongeveer 10 stelle lesings behoort geneem te word voordat die pieksterkte bereik word. Die skuifverplasingstempo behoort minder as 0,1 mm per minuut te wees in die 10 minute periode voordat 'n stel lesings geneem word. Hierdie tempo kan verhoog word tot nie meer as 0,5 mm per minuut tussen stelle lesings nie maar die pieksterkte moet geregistreer word.

Nadat die pieksterkte bereik is, moet lesings met inkremente van 0,5 tot 5 mm skuifverplasing geneem word om die las- vervormingskurve voldoende te definieer.

Die skuifverplasingstempo moet 0,02 tot 0,2 mm per minuut in 'n 10 minute periode wees voordat 'n stel lesings geneem kan word en kan verhoog word tot nie meer as 1 mm per minuut tussen stelle lesings.

Die residuele sterkte kan bepaal word wanneer die monster by konstante normaal spanning geskuifskuur word en ten minste 4 opeenvolgende stelle lesings geneem word wat minder as 5 persent variasie in skuifskuursterkte oor 'n skuifskuurafstand van 10 mm toon.

Grafieke van die piek en residuele skuifsterktes teenoor normale spanning word geteken. Vanaf hierdie grafieke kan o_a , o_b , o_r , C' en C verkry word (Figuur 16).

waar o_r = residuele interne wrywingshoek

o_a = interne wrywingshoek met spanning

o_b = interne wrywingshoek met spanning

C' = kohesie van die pieksterkte kurwe

C = skynbare kohesie by spanningsvlak wat ooreenstem met o_b

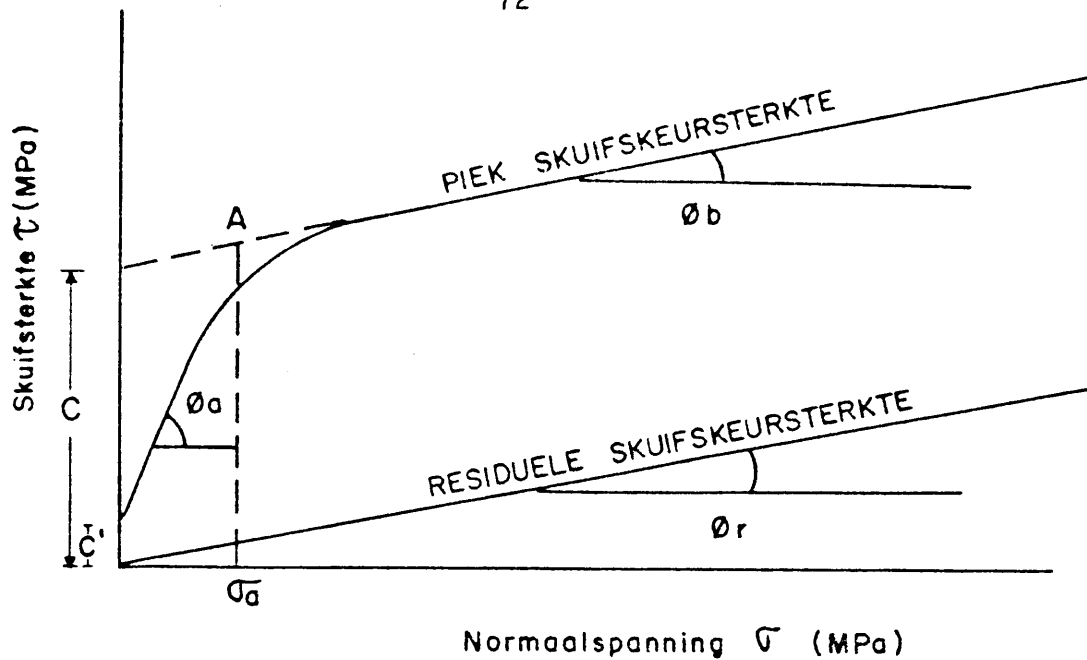


FIG. 16 : GRAFIEK VAN SKUIFSTERKTE TEENOR NORMAAL - SPANNING.

(b) Resultate

Vyf monsters van elke sandsteentipe A, B, C en D is geselekteer, min of meer parallel oor die gelaagdheid (waar teenwoordig) gesaag en in die Robertson skuifkas getoets. Die skuifspanning is gemeet vir normaalspannings van 500, 100 en 1500 kPa. Die kohesie (c) en basiese wrywingshoek (o) is grafies bepaal. Resultate word in Tabel 21 opgesom.

(c) Gevolgtrekkings

Die gemiddelde basiese wrywingshoeke vir sandsteentipe A tot E is onderskeidelik $38,7^\circ$; $36,2^\circ$; $37,7^\circ$; $30,9^\circ$ en $36,6^\circ$. Hierdie waardes kan as redelik tot swak geklassifiseer word.

Die gemiddelde skynbare kohesie vir sandsteentipes A tot E is as 105,4; 80,6; 117,0; 149,4 en 142,3 kPa onderskeidelik bepaal. Hierdie waardes kan as redelik tot swak geklassifiseer word behalwe die vir sandsteentipe B wat baie swak is.

Sandsteentipe	Basiese wrywingshoek (ϕ) Gemiddelde	Skynbare Kohesie (c) kPa Gemiddelde	
A1	38,1	40	
A2	35,9	175	
A3	45,9	120	105,4
A4	34,8	192	
A5	38,7	110	
B1	44,0	30	
B2	33,4	150	
B3	34,7	43	80,6
B4	32,9	20	
B5	35,8	160	
C1	40,4	165	
C2	38,7	65	
C3	31,0	210	117
C4	37,8	40	
C5	40,4	105	
D1	35,6	50	
D2	36,3	140	
D3	27,5	212	149,4
D4	29,5	140	
D5	25,6	205	
E1	41,2	30	
E2	35,0	215	
E3	40,4	160	142,3
E4	30,8	140	
E5	35,9	165	

Tabel 21: Kohesie (c) en basiese wrywingshoek (ϕ) van sandsteentipes A, B, C, D, en E soos bepaal deur middel van die Robertson skuifkas.

Bepaling van die direkte skuifsterkte van rotsmateriaalplaatjies

(a) Toetsmetode en apparaat

Hierdie toets is ontwerp as 'n relatief goedkoop en eenvoudige metode om die direkte skuifsterkte van intakte rotsmonsters te bepaal (VOGLER, 1985). 'n Dubbel skeuraksie word gebruik wat gebaseer is op die liniêre ponsbeginsel. Aangesien meeste monsters anisotroop is, moet laagvlakke of ander strukturele eienskappe gekies word as basis vir oriëntasie van die voorbereide monsters. Deur die oriëntasie van die laagvlakke te varieer kan die effek van anisotropie op die skuifsterkte bepaal word.

Die toetsapparaat bestaan hoofsaaklik uit die volgende (Die nommers dui op onderdele in Figuur 17).

Twee staalblokkies (5) wat op 'n basisplaat (6) gemonteer is, elke blok met een snykant (7).

'n Pons (2) met twee snykante (7) wat deur middel van twee pennetjies (4) gelei word.

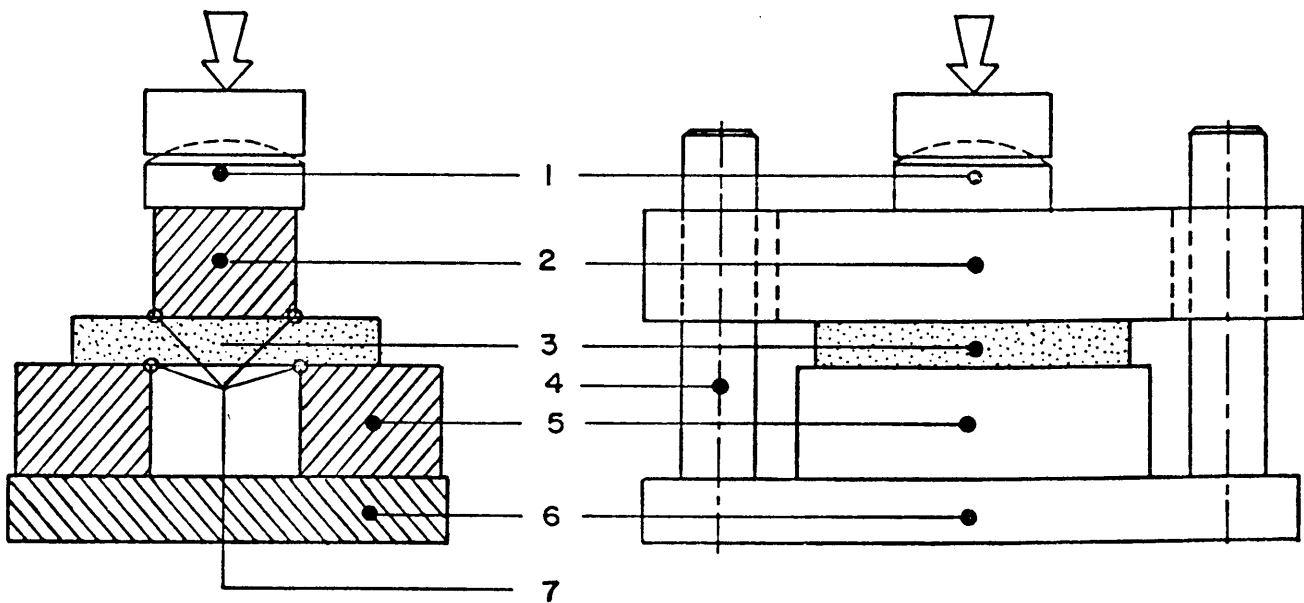
'n Sferiese drukplaat (1).

'n Mikrometer om die deursnee en dikte van die monsters te bepaal.

'n Geskikte belastingsapparaat soos beskryf in paragraaf

3.1.1.

Die monsters wat getoets word, is in die vorm van plaatjies (Figuur 18). Die dikte van hierdie plaatjies moet tussen 5 en 10 mm wees. Die boonste sowel as die onderste vlakke van hierdie plaatjies word tot 0,05 mm akkuraat asook haaks en parallel tot 1° akkuraat afgeslyp word. Die kante wat die lengte van die skuifvlakke bepaal moet binne 1° parallel wees.



- 1: Sferiese drukplaat
- 2: Pons
- 3: Monster
- 4: Gidspennetjies
- 5: Staalblokies
- 6: Basisplaat
- 7: Snykante

FIG. 17 : BELASTINGSRAAM VIR DIREKTE SKUIFSTERKTE TOETS.

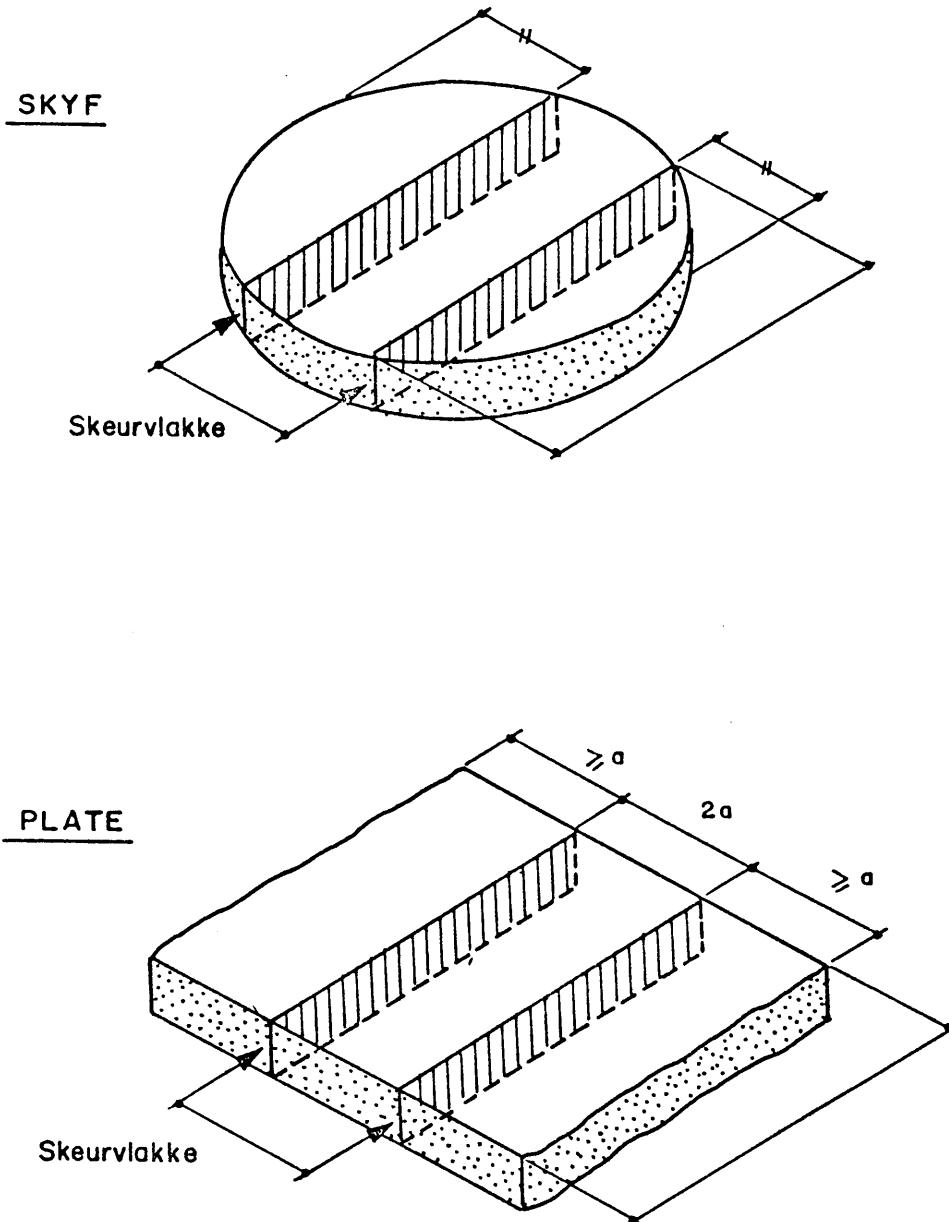


FIG. 18 : BASIESE VORM VAN TOETSMONSTERS VIR DIE DIREKTE SKUIFTOETS.

Die gemiddelde dikte van elke monster word deur middel van 'n vernier-mikrometer bepaal deur die waarde te neem van ten minste 4 ewewydig gespasiëerde metings.

Die deursnee van elke skyf word bepaal deur die gemiddelde te neem van twee deursneemetings 90° vanaf mekaar.

Belasting op die monster word aanhoudend en teen 'n konstante tempo toegepas word sodat swigting binne 1 tot 5 minute plaasvind.

Die maksimum las op die monster word noteer.

Berekening van direkte skeursterkte (SHI) in MPa geskied soos volg (Stance, 1980):

$$SHI = \frac{F}{4t} \sqrt{D^2/4 - a^2}$$

F = swiglas (N)

D = deursnee van monster (mm)

t = gemiddelde dikte van monster (mm)

a = deursnee van pons (mm)

(b) Resultate

Nege monsters van sandsteentipes A, B, C en D is beskryf, voorberei en op genoemde wyse getoets om die skuifsterkte daarvan te bepaal. Tabel 22 toon die monsterbeskrywings asook resultate van die toetse wat behaal is.

(c) Gevolgtrekking

Die gemiddelde direkte skuifsterkte van sandsteentipe A tot D is

MONSTER NR.	KLEUR	MINERAAL SAMESTELLING	KORREL-GROOTTE	DEURSNEE (mm)	LENGTE (mm)	LAS BY SWIGTING (kN)	SKUIFSTERKTE VAN MONSTER	GEMIDDELD VAN GROEP	GEMIDDELD VAN SANDSTEENTYPE
1	ROOIBRUIN	VELDSPATIES	MEDIUM	54,7	8,2	24,6	30,83		
A 2	WIT GEVLEK	SANDSTEEN		54,8	8,4	28,9	35,28	30,56	
3				54,7	8,2	20,4	25,57		
4	ROOIBRUIN			54,7	8,4	29,0	35,48		
A 5	GEEL	VELDSPATIESE	MEDIUM	54,8	8,3	25,1	31,01	36,88	32,18
6	GEVLEK	SANDSTEEN		54,8	8,2	35,3	44,14		
7	ROOIBRUIN			54,8	8,3	20,0	25,94		
A 8	GEEL	VELDSPATIESE	MEDIUM	54,7	8,1	22,3	28,29	29,10	
9	GEVLEK	SANDSTEEN		54,7	8,3	26,7	33,06		
1		KWARTSITIESE		54,8	8,3	28,3	34,96		
B 2	BLOUGRYS	SANDSTEEN	GROF	54,7	8,3	34,0	42,10	40,11	
3				54,8	8,2	34,6	43,26		
4				54,6	8,6	33,6	40,53		
B 5	ROOIBRUIN	KWARTSITIESE	FYN	54,4	8,5	35,3	42,98	43,36	39,30
6		SANDSTEEN		54,4	8,6	38,7	46,57		
7				54,5	8,4	23,4	28,76		
B 8	WIT	KWARTSITIESE	FYN	54,5	8,5	28,6	34,74	34,43	
9		SANDSTEEN		54,6	8,6	33,2	39,77		
1	ROOIBRUIN	VELDSPATIESE		54,7	8,5	30,7			
C 2	GRYS	SANDSTEEN	FYN	54,7	8,6	31,7	37,88	36,12	
3				54,6	8,6	27,8	33,30		
4				54,6	8,7	37,5	44,40		
C 5	ROOIBRUIN	VELDSPATIESE	MEDIUM	54,8	8,8	28,0	32,62	36,03	34,73
6		SANDSTEEN		54,7	8,6	26,0	31,07		
7				54,8	8,6	23,9	28,49		
C 8	ROOIBRUIN	VELDSPATIESE	GROF	54,7	8,7	33,6	39,69	32,05	
9		SANDSTEEN		54,8	8,8	24,0	27,96		
1				54,6	8,3	24,7	30,56		
D 2	ROOIBRUIN	VELDSPATIESE	GROF	54,7	8,2	23,0	28,83	31,15	
3		SANDSTEEN		54,7	8,2	27,1	33,96		
4				54,8	8,6	29,3	34,93		
D 5	ROOIBRUIN	VELDSPATIESE	FYN	54,8	8,3	33,4	41,26	34,23	33,06
6		SANDSTEEN		54,7	8,3	21,4	26,50		
7				54,8	8,4	31,3	38,21		
D 8	ROOIBRUIN	VELDSPATIESE	MEDIUM	54,7	8,3	26,8	33,18	33,80	
9		SANDSTEEN		54,8	8,2	24,7	30,88		

TABEL 22: SKUIFSTERKTE VAN SANDSTEENTIPES A, B, C EN D.

32,18; 39,30; 34,73 en 33,06 MPa. 'n Korrelasie tussen die eenassige druksterkte en die skuifsterkte gee faktore van 6,5; 5,3; 6,0 en 6,6 vir sandsteentipes A, B, C en D onderskeidelik. Vir die Natalsandsteen as geheel, is die eenassige druksterkte gemiddeld 'n faktor 6,10 hoër as die direkte skuifsterkte.

4.2 VERVORMINGSEIENSKAPPE

Die vervormingseienskappe wat ondersoek is, is die Elastisiteitsmodulus of Young se Modulus en die Poissonsverhouding. Die mate van vervormbaarheid in die belastingrigting word die Elastisiteitsmodulus Young se modulus (E) genoem. Vir meeste rotstipes is die spannings-vervormingskurwe nie liniêr nie en is die bogenoemde modulus dus nie konstant nie, maar is dit afhanklik van die spanning en metode waarop dit bepaal word. (NNIMI, 1985). Om hierdie rede word die term "Vervormingsmodulus" gebruik en die metode waarvolgens dit bepaal is, moet altyd gegee word, byvoorbeeld: tan 50% EADS of tan 10% van vervorming. Die simbool "E" wat universeel gebruik word, word behou.

Die verhouding van vervorming in 'n loodregte rigting teenoor die vervorming in die belastingrigting word gedefinieër as die Poissonsverhouding. Die term "Transversale vervormingsverhouding" word om dieselfde rede as hierbo genoem, gebruik. Die metode waarop dit bepaal word, moet altyd aangedui word, byvoorbeeld; tan 50% EADS ens. Die simbool wat universeel hiervoor gebruik word is "v".

4.2.1 Vervormingsmodulus en Poissonsverhouding.

(a) Toetsmetode en apparaat

Hierdie toets is ontwerp om die vervormingseienskappe van die rots te bepaal. Vervormingsmetings word gedurende die eenassige druktoets (EADS) gemaak.

Dieselfde apparaat en metode as vir die eenassige druktoets word gebruik. (Verwys na paragraaf 4.1.1).

Elektriese weerstand vervormingsmeters (Eng. strain gauges) word gebruik. Die meetlengte moet ten minste 10 mm wees of die lengte wat die deursnee van tien korrels in die monster dek, watter een ook al die grootste is.

'n Oorvormer wat geskik is om 'n sein proporsioneel aan die las wat deur die pers toegepas word te voorsien, asook 'n geskikte rekenaar, ontvangs en verwerkingseenheid met stipper, word gebruik.

Vir die bepaling van die vervormingsmodulus word twee vervormingsmeters, diametraal en aksiaal om vervorming in beide rigting te meet, op die monster aangebring.

Indien die transversale vervormings verhouding (Poissonsverhouding) ook gemeet moet word, word vervormingsmeters, aan weerskante van die monster diametraal teenoorgesteld aangebring om vervorming in 'n diametrale rigting te meet. Indien die vervormingsmodulus asook die transversale vervormings verhouding bepaal moet word kan van roset rekstrokies gebruik gemaak word, maar korreksies moet vir die transversale sensitiwiteit van die rekstrokies aangebring word.

Aksiale vervorming (E_a) asook diametrale vervorming (E_d) kan direk vanaf vervormingsmetings verkry word of dit kan soos volg bereken word:

$$E_a = \frac{\Delta l}{l_0}$$

waar l_0 = oorspronklike aksiale lengte
 Δl = verskil in aksiaal gemete lengte

$$E_d = \frac{\Delta d}{d_0}$$

Waar d_0 = oorspronklike deursnee van monster
 Δd = verandering in deursnee van die monster.

In die geval waar vervorming op die omtrek gemeet word, is die omtrek $c = \pi d$, dus is die verandering in omtrek $\Delta c = \pi \Delta d$. Gevolglik is die vervorming op die omtrek E_c verwant aan die deursnee vervorming E_d , deurdat

$$E_c = \frac{\Delta c}{c_0} = \frac{\Delta d}{d_0}$$

sodat $E_c = E_d$

waar c_0 en d_0 oorspronklike monster omtrek en deursnee verteenwoordig:

Die drukspanning op die monster, word bereken deur die druklas P op die monster te deel deur die oorspronklike deursnee-oppervlak A_0 .

$$\text{dus } \sigma = P/A_0$$

Figuur 19 is 'n tipiese grafiek van aksiale spanning teenoor aksiale en diametrale vervorming: Die kurwes toon die gedrag van rotsmateriaal vanaf nul spanning tot by die breeksterkte. Hierdie kurwes gee die beste beskrywing van die vervormingsgedrag van rots wat nie-liniêre spannings-vervormingseienskappe by lae en hoë spanningsvlakke vertoon.

Young se modulus E (aksiaal) van 'n rotsmonsters kan op een van verskeie metodes bereken word, naamlik:

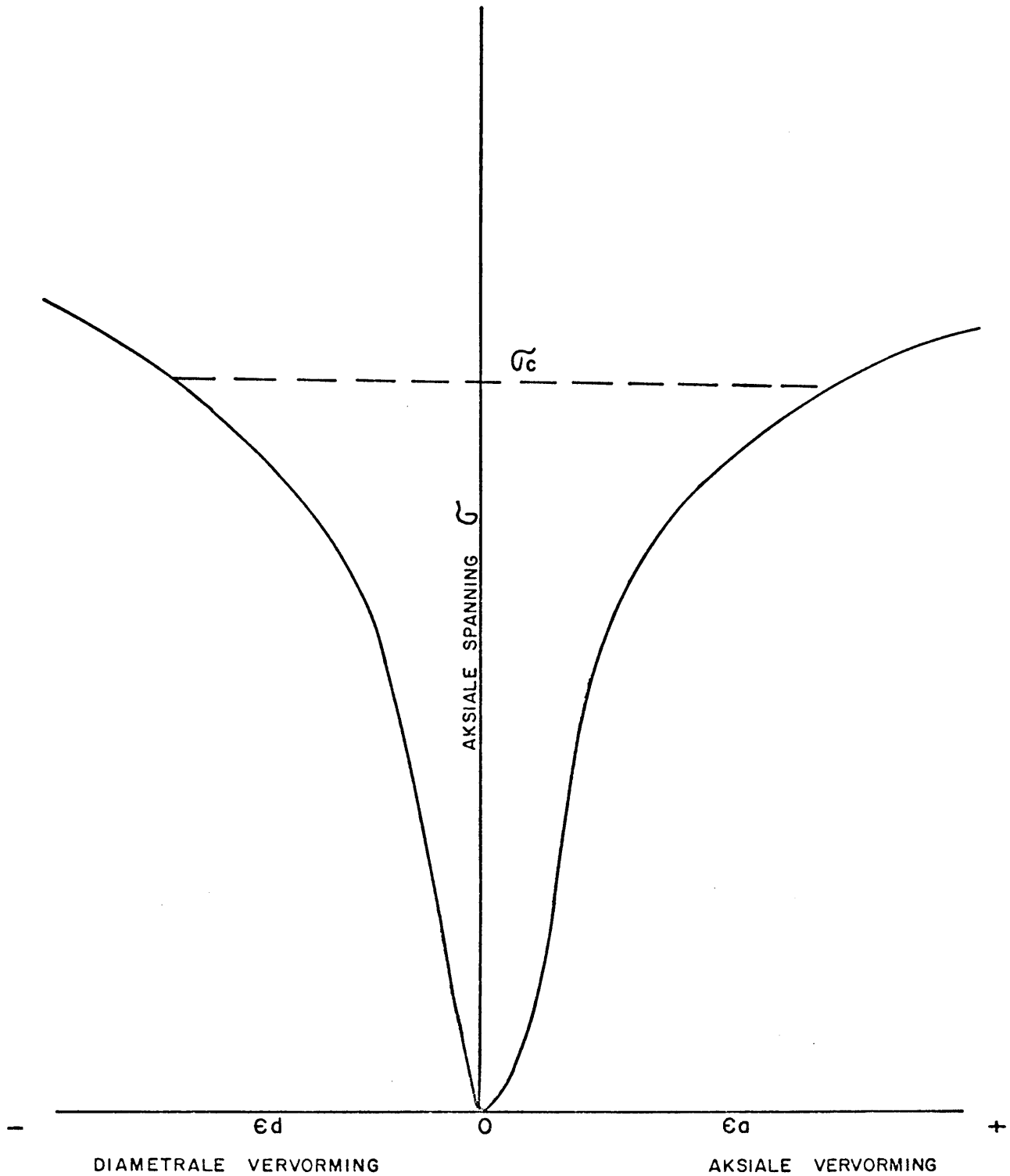
1. Die tangensmodulus, (E_t), wat gemeet word by 'n spanningsvlak wat 'n bepaalde persentasie van die finale sterkte is. (Figuur 20a). Dit word gewoonlik geneem by 'n spanningsvlak gelyk aan 50 persent van die eenassige druksterkte.
2. Die gemiddelde Young se modulus, (E_{av}), wat bepaal word uit die gemiddelde hellings van die "reguit" gedeelte van die aksiale spanningsvervormings kurwe (Figuur 20b).
3. Die Sekansmodulus, (E_s), wat gewoonlik gemeet word van nul spanning (oorsprong) tot by 'n bepaalde persentasie van die uiteindelijke sterkte (Figuur 20c), gewoonlik by 50 persent.

Die eenheid waarin die modulus van vervormbaarheid uitgedruk word is Gigapascal ($GPa = 10^9 Pa$).

Die Poissonsverhouding, kan uit die volgende verhouding bereken word, naamlik:

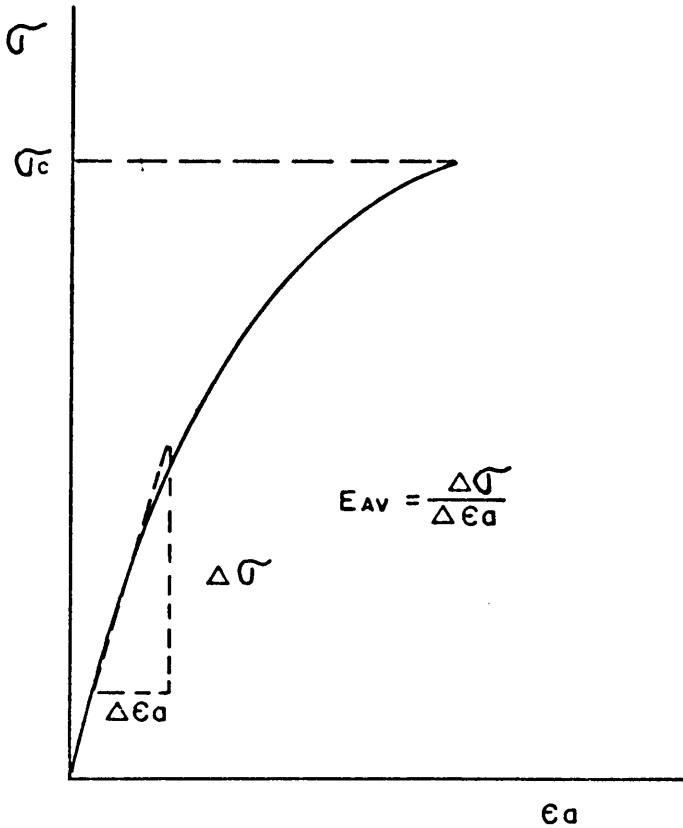
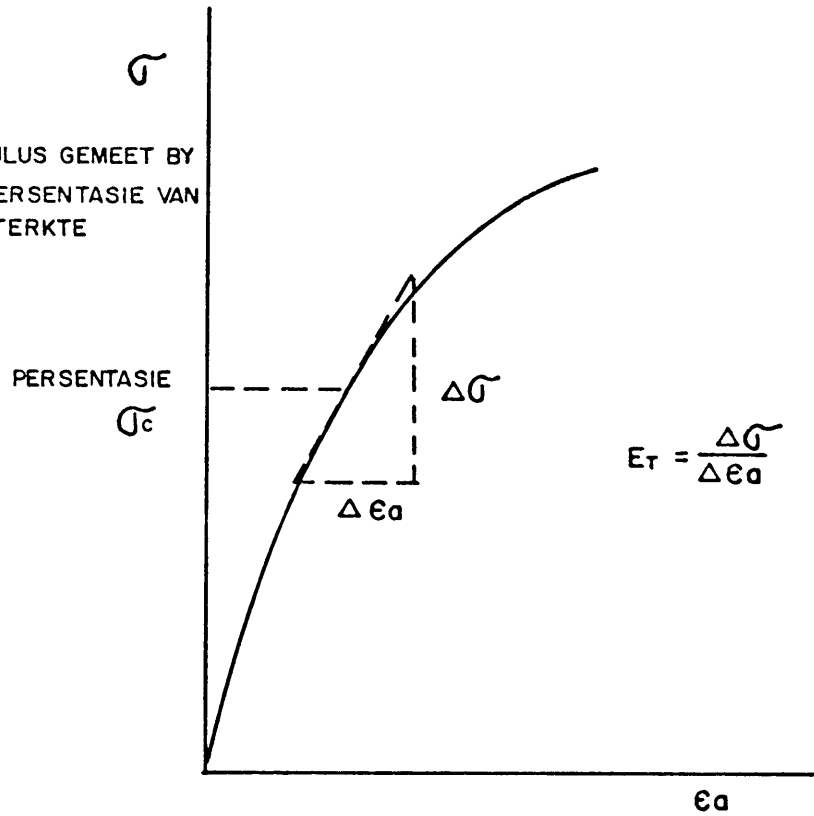
$$= \frac{\text{helling van aksiale spannings-vervormingskurwe}}{\text{helling van die diametrale spannings-vervormingskurwe}}$$

$$= \frac{E}{\text{helling van diametrale kurwe}}$$

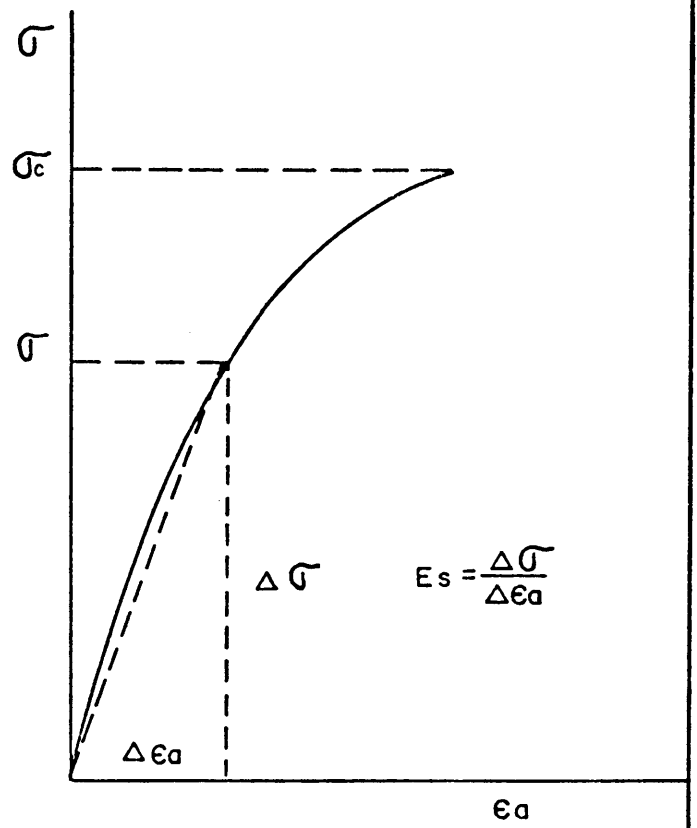


FIGUUR 19 : GRAFIESE VOORSTELLING VAN AKSIALE EN DIAMETRALE SPANNINGS-
-VERVORMINGS KURWES.

(a) TANGENSMODULUS GEMEET BY 'N BEPAALDE PERSENTASIE VAN DIE FINALE STERKTE



(b) GEMIDDELTE MODULUS VAN LINIËRE GEDEELTE VAN KURWE



(c) SEKANSMODULUS TOT 'N VASTE PERSENTASIE VAN DIE EADS

FIGUUR 20 : BEREKENINGS METODES VAN YOUNG SE MODULUS UIT AKSIALE SPANNINGS-VERVORMINGSKURWES.

SANDSTEENBESKRYWING		STERKTE			VERVORMINGSEIENSKAPPE															
SANDSTEEN TIPE	KLEUR	MINERALOGIESE SAMESTELLING	KORREL- GROOTE	EADS MPa	VERVORMINGSEIENSKAPPE BY SPANNING (MPa)								VERVORMINGSEIENSKAPPE BY PERSENTASIE EADS (MPa)							
					TAN 100		TAN 200		SEC 100		SEC 200		TAN 10		TAN 50		SEC 10		SEC 50	
					E	V	E	V	E	V	E	V	E	V	E	V	E	V	E	V
A																				
1	GRYSWIT	VELDSPATIES	FYN	231,15	4,57	0,256	39,3	0,943	36,3	0,124	40,3	0,274	23,1	0,065	46,4	0,303	29,4	0,039	37,4	0,141
2	GRYSWIT	VELDSPATIES	FYN	231,1	72,5	0,172	64,2	0,295	68,2	0,126	69,1	0,173	62,0	0,098	71,8	0,184	61,0	0,085	68,7	0,132
3	ROOIBRUIN	VELDSPATIES	FYN	95,7	35,2	0,404	-	-	27,4	0,180	-	-	16,6	0,039	31,4	0,205	20,0	0,034	23,1	0,095
4	VAALROOI	VELDSPATIES	GROF	305,0	68,4	0,190	68,4	0,331	61,1	0,138	64,8	0,188	53,3	0,123	69,8	0,242	54,9	0,103	63,6	0,162
5	DONKER GRYS	VELDSPATIES	GROF	313,4	66,5	0,171	67,0	0,265	61,9	0,127	64,7	0,167	58,3	0,107	68,2	0,214	58,4	0,095	64,0	0,149
B																				
1	LIGGRYS	KWARTSITIES	MEDIUM	143,9	42,0	0,389	-	-	31,0	0,149	-	-	22,6	0,055	40,0	0,260	20,1	0,026	28,2	0,106
2	VAALGRYS	KWARTSITIES	GROF	267,6	66,5	0,153	62,3	0,276	64,1	0,124	64,9	0,164	61,3	0,122	68,1	0,186	61,6	0,098	64,8	0,135
3	VAALROOI	KWARTSITIES	GROF	240,8	69,4	0,150	65,5	0,276	67,1	0,124	67,8	0,162	64,3	0,112	70,4	0,171	65,6	0,099	67,4	0,130
4	VAALROOI	KWARTSITIES	FYN	232,8	58,7	0,228	55,1	0,912	51,1	0,135	54,4	0,273	45,3	0,095	58,5	0,260	43,2	0,075	52,1	0,148
5	VAALROOI	KWARTSITIES	GROF	176,8	65,0	0,237	-	-	59,8	0,147	-	-	54,5	0,104	65,2	0,217	51,9	0,085	59,3	0,139
C																				
1	VAALROOI	VELDSPATIES	FYN	275,7	64,8	0,157	65,4	0,253	59,2	0,107	62,2	0,150	56,4	0,094	66,5	0,189	55,2	0,073	60,8	0,122
2	VAALROOI	VELDSPATIES	FYN	218,8	67,4	0,181	64,2	0,276	63,6	0,131	65,6	0,178	60,1	0,105	68,8	0,196	62,1	0,088	63,9	0,135
3	VAALROOI	VELDSPATIES	FYN	244,7	54,1	0,224	51,1	0,493	43,9	0,139	48,5	0,220	37,7	0,103	54,7	0,237	35,5	0,087	45,5	0,154
4	VAALROOI	VELDSPATIES	FYN	223,9	47,9	0,209	41,3	0,744	43,7	0,127	45,2	0,240	39,7	0,091	47,8	0,228	40,8	0,073	44,1	0,136
5	VAALROOI	VELDSPATIES	MEDIUM	235,3	57,1	0,187	50,1	0,422	47,0	0,097	51,3	0,174	40,0	0,61	57,6	0,212	37,5	0,025	48,3	0,110
D																				
1	VAALROOI	MIKARYK	FYN	266,3	58,9	0,128	59,5	0,323	56,1	0,099	60,2	0,177	54,4	0,100	63,7	0,209	55,6	0,090	59,4	0,139
2	VAALROOI	MIKARYK	MEDIUM	262,0	64,6	0,175	62,1	0,315	60,5	0,126	62,4	0,178	57,1	0,104	65,7	0,206	57,3	0,094	60,7	0,128
3	VAALROOI	MIKARYK	FYN	278,3	63,0	0,031	61,8	0,040	58,9	0,026	61,0	0,030	56,6	0,025	64,1	0,036	56,2	0,023	60,1	0,027
4	VAALROOI	MIKARYK	FYN	247,7	59,3	0,162	56,1	0,281	54,4	0,110	56,7	0,161	50,6	0,081	60,1	0,190	51,8	0,074	55,3	0,121
5	VAALROOI	MIKARYK	FYN	285,9	50,6	0,104	60,2	0,322	50,8	0,103	55,5	0,167	43,8	0,068	62,2	0,235	45,2	0,058	53,6	0,130
E																				
1	DONKERROOI	MIKARYK	FYN	74,8	-	-	-	-	-	-	-	-	2,9	0,100	7,5	0,371	-	-	-	-
2	DONKERROOI	MIKARYK	FYN	143,3	25,4	0,284	-	-	-	-	-	-	17,0	0,058	24,8	0,190	15,2	0,046	17,9	0,097
3	DONKERROOI	MIKARYK	FYN	64,9	-	-	-	-	-	-	-	-	2,2	0,039	3,7	0,246	2,4	0,016	2,8	0,100
4	DONKERROOI	MIKARYK	FYN	83,3	-	-	-	-	-	-	-	-	3,5	0,086	5,2	0,239	-	-	-	-
5	DONKERROOI	MIKARYK	FYN	79,6	-	-	-	-	-	-	-	-	1,7	0,041	5,1	0,334	1,7	0,019	2,7	0,106

TABEL 23: VERVORMINGSEIENSKAPPE VAN SANDSTEENTIPES A, B, C, D EN E.

Die waarde van die Poissonsverhouding is positief.

(b) Resultate

Vyf verteenwoordigende rotsmonsters van die vyf sandsteentipes A, B, C, D en E wat geïdentifiseer is, is getoets om die vervormingsmodulus en die Poissonsverhouding daarvan te bepaal. Die resultate word in tabel 23 uiteengesit.

Tabel 24 is 'n opsomming van vervormingstoetsresultate.

Sandsteentipe	$E_{t_{50}}$ (GPa)	Poissonsverhouding
A	64,50	0,238
B	60,44	0,219
C	59,08	0,216
D	63,16	0,175
E	5,38	0,298

Tabel 24: Gemiddelde vervormingseienskappe van sandsteentipe A tot E ($E_{t_{50}}$ = Tangensmodulus by 50% EADS)

(c) Gevolgtrekkings

Die gemiddelde vervormingsmodulus (Tangensmodules by 50 persent van die eenassige druksterkte) van sandsteentipes A, B, C en D is onderskeidelik 64,5; 60,4; 59,08 en 63,16 GPa. Die gemiddelde waarde van die Natalsandsteen wat hieruit bereken is, is 61,8 GPa. Die gemiddelde Tangensmodulus by 50 persent van die eenassige druksterkte van sandsteentipe E (skalie) is 5,38 GPa.

VERKLARING

- SANDSTEENTYPE A
- △ SANDSTEENTYPE B
- SANDSTEENTYPE C
- SANDSTEENTYPE D
- ▲ SANDSTEENTYPE E

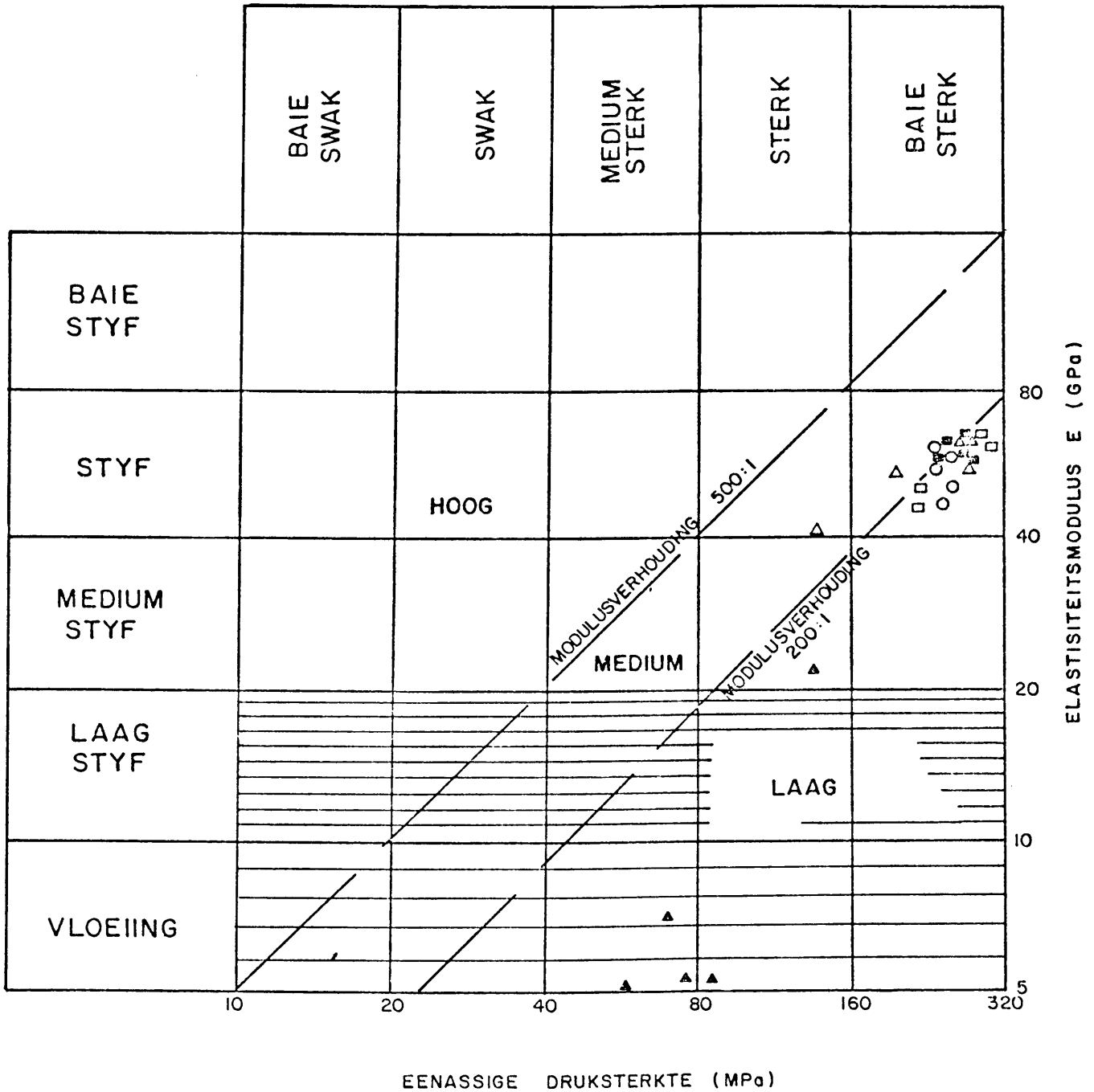


FIG. 21: KLASSIFIKASIE VAN ROTS OP GROND VAN EENASSIGE DRUKSTERKTE EN TANGENSMODULUS BY 50% STERKTE (DEERE EN MILLER, 1966).

Die Poissonsverhouding van sandsteentipes A tot D is 0,238; 0,219; 0,216 en 0,175 onderskeidelik by 'n tangensmodulus van 50 persent van die eenassige druksterkte. Die gemiddelde Poissonsverhouding van die Natalsandsteen is 0,212. Die van sandsteentipe E is effens hoër, naamlik 0,298.

Figuur 21 toon die verspreiding van sandsteentipes op grond van die verwandskap van eenassige druksterkte en Tangensmodulus by 50% sterkte (Deere en White, 1966).

'n Korrelasiefaktor tussen die gemiddelde eenassige druksterkte en die Tangensmodulus by 50 persent van die EADS is 291,5 met ander woorde die gemiddelde Tangensmodulus van die Natalsandsteen is ongeveer 300 maal die eenassige druksterkte. Dit is die sogenaamde Modulusverhouding - (Deere & Miller)

Sandsteentipes A, B, C en D groepeer saam in die klasse baie sterk en styf (uitgesonderd twee punte). 'n Modulus verhouding van 200 tot 1 wat as medium geklassifiseer kan word, is van toepassing.

Sandsteentipe E groepeer in die klasse medium sterk tot sterk en vloeiing op die tweeledige klassifikasie van Deere en Miller (1966). Die modulusverhouding kan as laag geklassifiseer word.

4.3 DUURSAAMHEID

Duursaamheid van sandsteen van die Natal Groep is deur middel van twee soorte toetse bepaal, nl. Die blusbaarheids indekstoets en die Etileenglikol weektoets.

Die Blusduursaamheids indekstoets

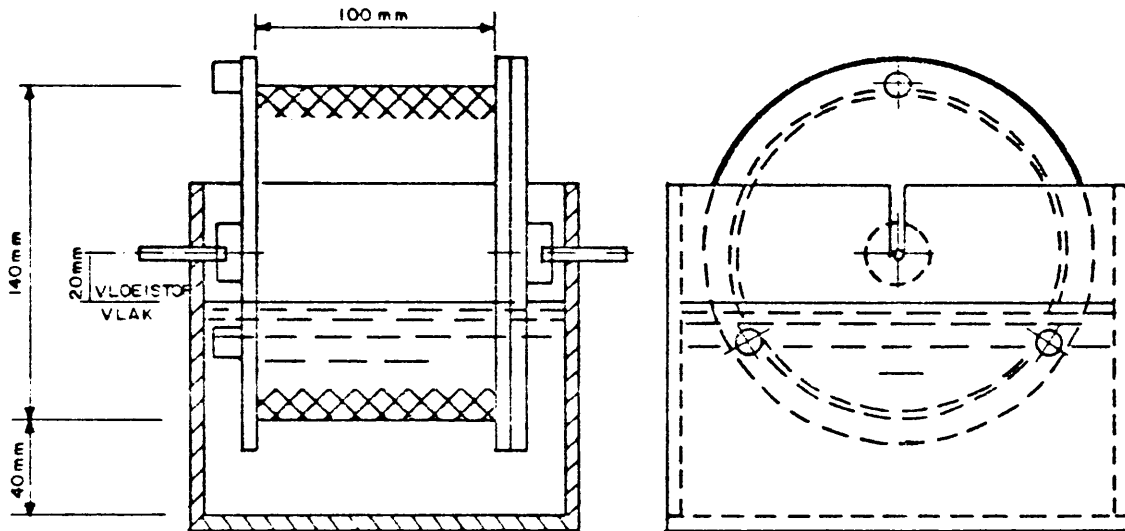
(a) Toetsmetode en apparaat

Hierdie toets is ontwerp om die weerstand of bestandheid van 'n rotsmonster teen verswakking en disintegrasie, wanneer dit aan twee standaard siklusse van benatting en uitdroging blootgestel word, te bepaal (ISRM, 1977).

Die apparaat bestaan hoofsaaklik uit die volgende:

- (i) 'n Silindriese drom vervaardig van 2,00 mm maas, met 'n lengte van 100 mm en 'n deursnee van 140 mm met 'n soliede basis. Die drom moet teen temperature van 105°C bestand wees. Die drom moet 'n soliede verwyderbare deksel bevat. Dit moet ook sterk genoeg wees en gedurende gebruik sy vorm behou.
- (ii) 'n Waterdigte trog waarin die drom pas en waaraan die drom deur middel van 'n as kan wentel. Blusvloeistof moet tot 20 mm onder die omwentelingsas in die trog kan staan. Wanneer die drom gemonteer is moet 'n spasie van 40 mm oop wees tussen die buitewand van die drom en die bodem van die trog.

Beginsels van die drom en trog samestelling word in Figuur 22 getoon.



Figuur 22: Skematiese voorstelling van die blusduursaamheids toetsapparaat.

- (iii) 'n Motoraangedrewe eenheid wat in staat is om die drom teen 20 omwentelinge per minuut te roteer en waarvan die spoed konstant gehou kan word binne 5 persent van 'n 10 minute periode.
- (iv) 'n Oond waarvan die temperatuur op 105° konstant gehou kan word vir ten minste 12 uur.
- (v) 'n Balans wat die massa van die drom en monsters binne 0,5g korrek kan bepaal.

'n Verteenwoordigende rotsmonster bestaande uit tien stukkies rots, elk met 'n massa van 40 tot 60 gram, sodat die totale massa van tussen 450 en 500 gram behoort, word geselekteer. Die maksimum korrelgrootte van die rotsmonster moet nie groter as 3 mm in deursnee wees nie. Die stukkies rots moet ongeveer kubies in vorm wees en die hoeke moet gedurende voorbereiding afgerond word.

Die rotsmonster word dan in 'n skoon drom geplaas en gedroog by konstante temperatuur van 105°C vir 'n tydperk van ongeveer 2 tot 6 uur. Die massa A van die drom plus die monster word dan bepaal. Die monster word dan afgekoel.

Die deksel word teruggeplaas, die drom in die trog gemonteer en met die motor gekoppel.

Die trog word dan met blusvloeistof gevul, gewoonlik kraanwater by 20°C, tot op 'n vlak 20 mm onder die drom-as. Die drom word dan vir 200 omwentelinge roteer vir 'n tydperk van 10 minute.

Die drom word dan van die trog verwyder, die deksel afgehaal en by 105°C gedroog totdat die massa konstant bly. Die massa B van die drom plus die behoue monster word dan bepaal.

Die proses word dan herhaal en die massa C van die drom plus die behoue monster word bepaal.

Die drom word skoongemaak en die massa D daarvan bepaal.

Die blusduursaamheids indeks (tweede siklus) word dan bereken as die persentasie van die finale tot die aanvanklike droë massas van die monster:

Blusduursaamheidsindeks $I_{d(2)}$

$$I_{d(2)} = \frac{C - D}{A - D} \times 100\%$$

(b) Resultate

Blusduursaamheidstoetse soos hierbo beskryf is uitgevoer op vier geselekteerde monsters van elke sandsteentipes van A tot D. Water is as blusvloeistof gebruik. Figuur 23 toon die resultate wat verkry is. Slegs meganiese afskuring van die monsters het plaasgevind en sandsteenbrokstukke het na die toets in die dromme oorgebly.

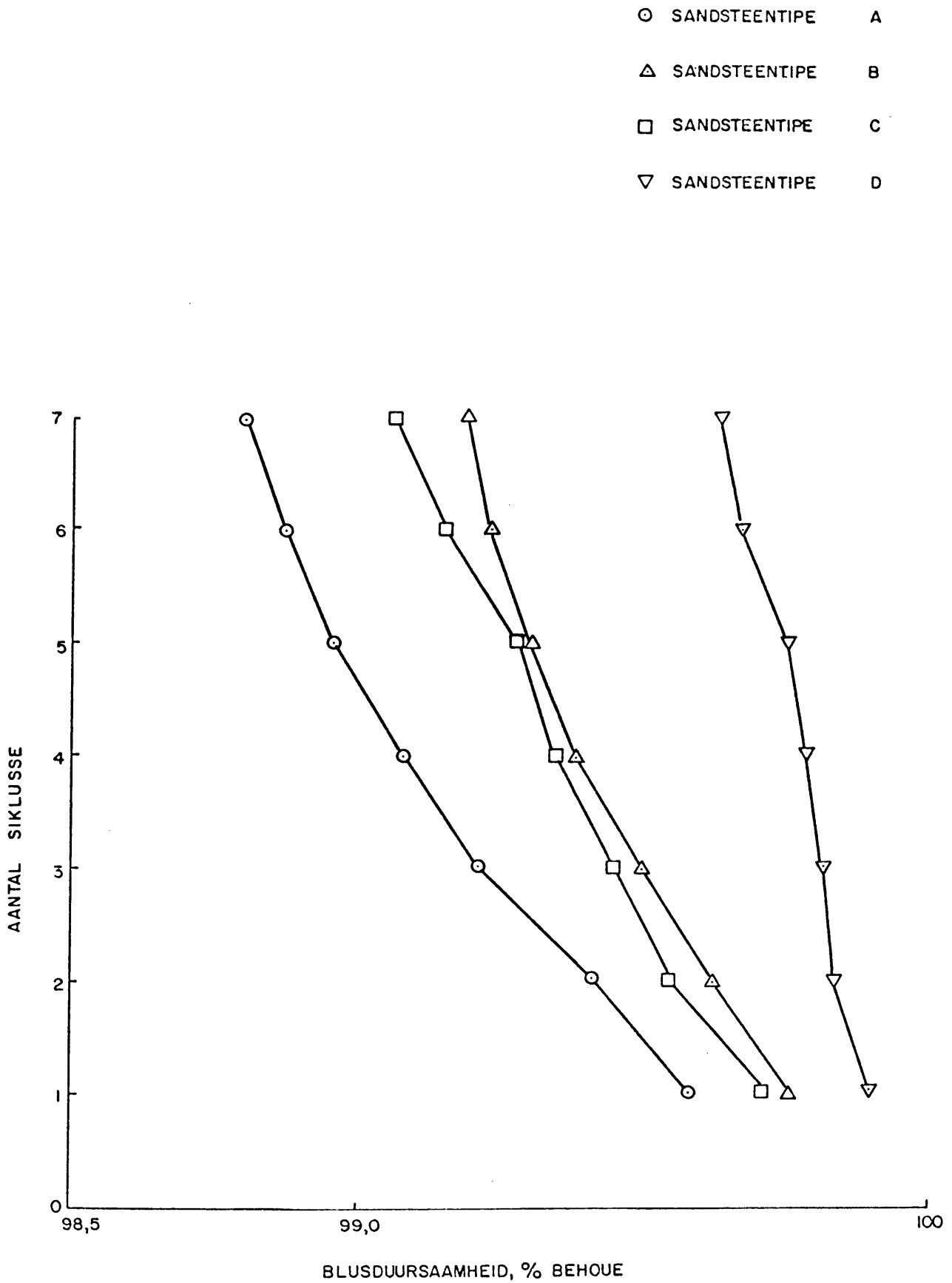
(c) Gevoltrekking

Die blusduursaamheid van sandsteentipes A tot D lê bo 98,5 persent. Volgens 'n klassifikasie wat deur Gamble (1971) opgestel is, val die blusduursaamheid $Id_{(2)}$ in die baie hoë, klas. Tabel 25 toon die klassifikasie van Gamble (1971).

Blusduursaamheid na twee siklusse $Id_{(2)}$ (persentasie)	Klas
0 - 30	Baie laag
30 - 60	Laag
60 - 85	Medium
85 - 95	Medium hoog
95 - 98	Hoog
98 - 100	Baie hoog

Tabel 25: Gamble se duursaamheidsklassifikasie.

Blusduursaamheidstoetse is ook op twee monsters van sandsteentipe E uitgevoer - een in water en die ander in etileenglikol as blusvloeistof. Die rede hiervoor was dat sandsteentipe E 'n skalie is en moontlik blusbaarheid kan toon.



FIGUUR 23 : DIE INVLOED VAN DIE AANTAL SIKLUSSE OP DIE BLUS - DUURSAAMHEID VAN SANDSTEENTIPES A TOT D.(BLUSVLOEISTOF IS WATER).

Figuur 24 toon die resultate van hierdie toets. Die blusduursaamheidsindeks in water (Iw_2) is 92,4 persent wat volgens Gamble as medium hoog geklassifiseer word, is heelwat laer as die blusduursaamheidsindeks in etileenglikol $Ig_{(2)} = 99,15$ persent wat as baie hoog geklassifiseer word. Hierdie tenders word voortgesit met 'n toename in die aantal siklusse, sodat na sewe siklusse die $Iw_{(2)}$, 72,3 persent en die $Ig_{(2)}$ 96,05 persent is. Sandsteentipe E is matig blusbaar in water. Nie een van die sandsteentipes toon 'n lae blusduursaamheid nie.

Die etileenglikol weektoets

(a) Toetsmetode en apparaat

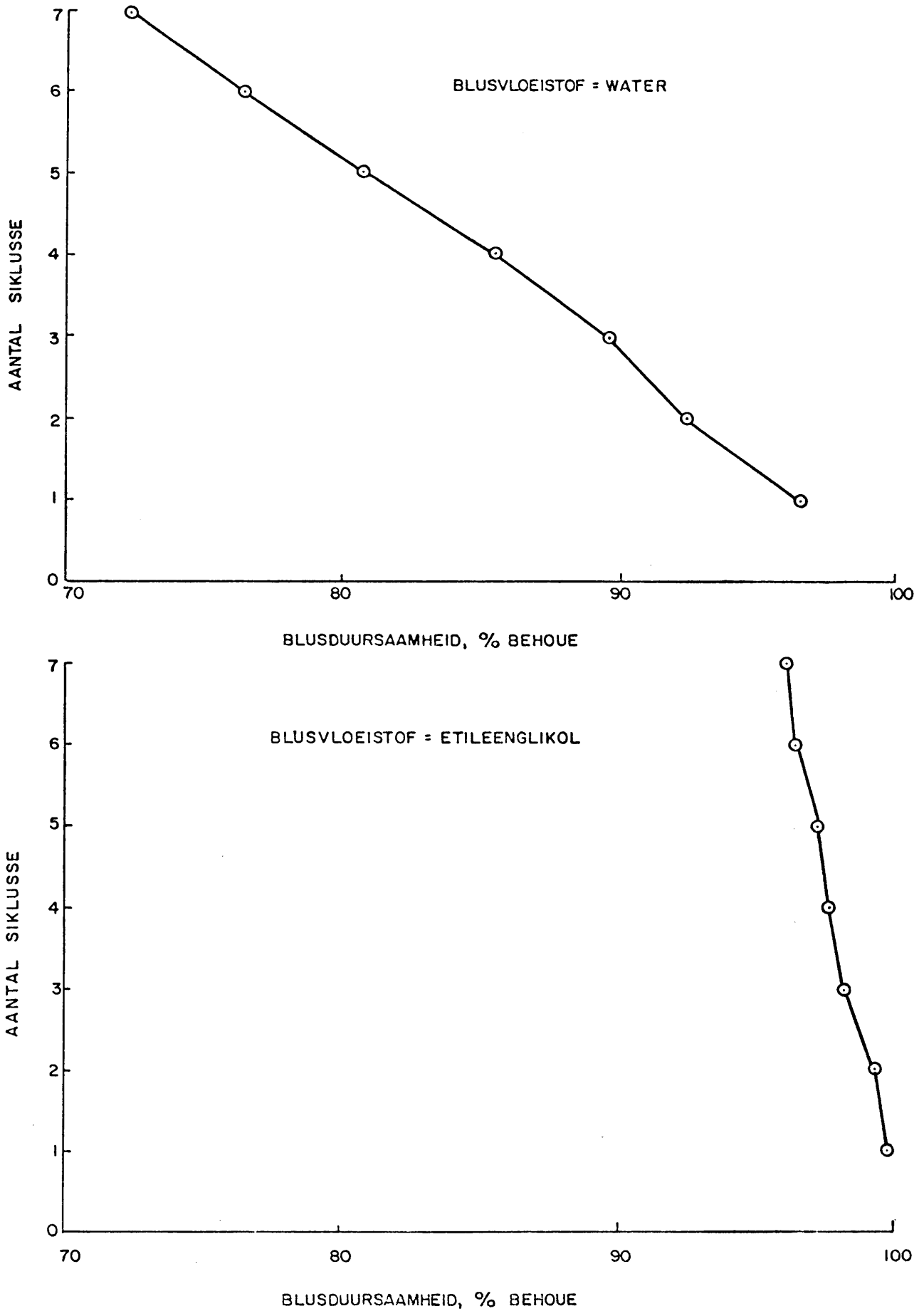
Die etileenglikoltoets is gebaseer op die beginsel dat hierdie middel met swelkleie van die smektietgroep reageer om organokleikomplekse te vorm wat 'n groter basis spasiëring as die kristalstruktuur van die oorspronklike klei het (Orr, 1979). Die disintegrering van die monster word veroorsaak deur die swelproses wat die kleie ondergaan.

Die apparaat wat benodig word is 'n glasbeker en etileenglikol.

Monsters word in 'n glasbeker geplaas en etileenglikol daaroor uitgegooi sodat dit totaal onderdompel is. Dit word dan so laat staan vir ongeveer een week.

(b) Resultate en gevolgtrekking

Rotsmonsters van al vyf sandsteentipes is getoets, maar daar is gevind dat die etileenglikol geen effek op die rots gehad het nie.



FIGUUR 24: DIE INVLOED VAN DIE BLUSVLOEISTOF OP DIE BLUS - DUURSAAMHEID VAN SANDSTEENTYPE E.

4.4 FISISESE EIENSKAPPE

4.4.1 Poreusheid

Poreusheid word gedefinieer as die verhouding van die volume van die tussenruimtes tot die totale volume van 'n rots en is dus 'n mate van

die kapasiteit van 'n rots om vloeistowwe of gas te absorbeer. Poreusheid word gewoonlik as 'n persentasie uitgedruk.

(a) Toetsmetode en apparaat

Verskeie metodes vir die bepaling van poreusheid gebaseer op Boyle se wet (beginsel van gasuitlegting) kan gebruik word.

'n Hoë-druk volumetriese verplasingpomp, 'n oond, 'n massameter asook 'n rotssaag word benodig.

Die toetsmetodes vir die uitvoering van hierdie toets word beskryf in ISRM (1977).

Minstens drie monsters (elk met massa \pm 50g) wat in die monsterkamer van die toetsapparaat pas, word geselekteer. Die massa van die houer waarin die monster pas word bepaal. Die monster word dan in genoemde houer geplaas, by 105° gedroog en die massa na afkoeling, bepaal (massa B). Die monster word in die drukpomp geplaas en die begindruk (gelyk aan atmosferiese druk) noteer. Die monster word onder druk geplaas en die druk aan die einde van die kompressiesiklus bepaal. Die proses word vir elke monster herhaal.

Poreusheid (n) word soos volg bereken:

$$\text{Poreusheid (n)} = \frac{B - G}{B} \times 100$$

waar G = volume van die korrels

B = massa van monster

(b) Resultate

Tien verteenwoordigende monsters van elke sandsteentipe A - D en vyf verteenwoordigende monsters van sandsteentipe E is getoets. Resultate word in tabel 26 uiteengesit.

Sandsteentipe	Poreusheid (Persentasie)			
	Gem.	Min.	Maks.	Standaardafwyking
A	2,54	1,58	4,68	1,19
B	1,76	0,77	2,44	0,51
C	1,98	1,41	2,85	0,39
D	1,70	,92	2,54	0,43
E	1,42	,07	2,94	1,51

Tabel 26: Poreusheid van sandsteentipes van die Natalsandsteen.

(c) Gevolgtrekkings

Die gemiddelde poreusheid vir sandsteentipes A tot E is 2,54; 1,76; 1,98; 1,70 en 1,42 persent onderskeidelik. Die gemiddelde poreusheid van die Natalsandsteen as geheel is 1,88 persent wat as laag beskou word.

4.4.2 Seismiese snelheid

(a) Toetsmetode en apparaat

Hierdie toets bepaal die voortplantingsnelheid van elastiese golwe in rotsmonsters in die laboratorium.

Die apparaat waarmee seismiese snelhede gemeet word bestaan uit 'n Pulsgenerator wat pulse kan opwek met pulswydtes 1 - 10s; en frekwensie van 100kHz-2MHz, pulsontvangers en 'n ossiloskoop.

'n Pulssender word aan een kant van 'n rotskern geheg en 'n ontvanger aan die ander kant. Pulse word deur die rotsmonsters gestuur en die snelheid waarmee die pulse deur die monster beweeg word bepaal.

Plus-snelhede kan gewoonlik direk van die ossiloskoop afgelees word, en indien die monsterlengte gemeet word, kan die seismiese snelheid in m/s bereken word.

Sandsteentipe	Seismiese snelheid (m/s)			
	Gem.	Min.	Maks.	Standaardafwykings
A	4264	3749	4837	312
B	4471	3964	5183	366
C	4371	3745	4783	379
D	4332	4106	4554	172

Tabel 27: Seismiese snelhede van sandsteentipes A tot D
(onverweerd)

(b) Resultate

Seismiese snelhede is vir nege verteenwoordigende rotsmonsters vir sandsteentipe A - D (onverweerd) bepaal. Tabel 27 toon die resultate.

(c) Gevolgtrekking

Seismiese snelhede van sandsteentipes A tot D is 4264, 4471, 4371 en 4332 m/s onderskeidelik. Dié vir die Natalsandsteen as geheel is 4360 m/s

4.4.3 Relatiewe digtheid

(a) Toetsmetode en apparaat

Die relatiewe digtheid van 'n rotsmonster is die verhouding van die massadigtheid tot die digtheid van water.

Die apparaat wat benodig word is 'n massameter (balans) en 'n beker met water.

Die massa van die monster word tot die naaste gram bepaal. Hierna word dit met was omhul en die massa weer bepaal sodat die massa was bekend is. Die monster met die waslaag word dan in die beker met water gedompel en die massa bepaal. (SABS metodes 844 en THM metode B14).

SANDSTEENTYPE	FORMASIE	RELATIEWE DIGTHEID (GEMIDDELDE)	AANTAL MONSTERS GETOETS	LABORATORIUM	VERWYSING
A	-	2,557	10		
B	-	2,601	10	GEOLOGIESE	FILMALTER, G.F.
C	-	2,642	10	OPNAME	(1988)
D	-	2,614	10		
E	-	2,659	5		
A, B, C en D	INANDA	2,570	2	NBNI	FORBES, J. ET. AL. (1985)
A, B, C en D	INANDA	2,640	8	HIPPO QUARRIES	COULL, W.P. (1985)
A, B, C en D	INANDA	2,653	5	D.L. WEBB AND	MEISSNER ROLOFF K. (1985)
B	MKUNYA	2,633	2	SOILS DESIGN LAB.	WISSING, R. (1985)

TABEL 28

RELATIEWE DIGTHEDE VAN SANDSTEENTIPES A TOT E ASOOK VAN DIE INANDA EN MKUNYA FORMASIES VAN DIE GROEP NATAL SANDSTEEN

Relatiewe digtheid (d) word soos volg bereken.

$$d = \frac{\text{Massadigtheid}}{\text{Digtheid van water}}$$

(b) Resultate en gevolgtrekking

Resultate van toetse wat by verskeie onafhanklike laboratorium uitgevoer is, word in tabel 28 opgesom. Tien toetse is op verteenwoordigende sandsteenmonster van tipes A tot D en vyf op sandsteentipe E uitgevoer. Die onderste gedeelte van tabel verteenwoordig resultate wat van die drie produserende groewe in die Natalsandsteen verkry is, nl. die Coedmore- en Verulamgroewe in die Inanda Formasie en die Sterkspruit aggregaatgroef in die Mkunya Formasie

Van sandsteentipe A tot E het A die laagste (2,587) relatiewe digtheid terwyl E die hoogste (2,614) relatiewe digtheid het.

Relatiewe digtheid in die Inanda Formasie wissel tussen 2,570 en 2,653 terwyl die van die Mkunya Formasie 2, 633 is.

Opmerking

Die Suid-Afrikaanse Vervoerdienste (Spoorwee) lê 'n minimum S.G. van 2,600 neer vir aggregaat vir die gebruik in beton sowel as ballas.

4.4.4 Digtheid

Digtheid (massadigtheid) kan gedefinieer word as die massa van die rots in verhouding tot die volume daarvan. Eenhede word gewoonlik gegee as kg m⁻³.

(a) Toetsmetode en apparaat

Digtheid kan maklik bereken word as die massa en die volume bepaal is.

'n Massameter waarmee die massa van rotsmonsters tot 0,1g akkuraat bepaal kan word en 'n skroef-mikrometer waarmee lengtes tot 0,1 mm akkuraat gemeet kan word, word benodig.

Die massa van geselekteerde rotsmateriaalmonsters word bepaal deur dit te weeg in kilogram. Die volume van monsters word bepaal deur die afmetings daarvan te neem en die volume te bereken in m³.

Die massadigtheid (D) word soos volg bereken.

$$D = \frac{M}{V} \quad \text{kg m}^{-3}$$

waar D = Digtheid

M = Massa

V = Volume

(b) Resultate en gevolgtrekking

Digthede vir sandsteentipes A, B, C, D en E is bepaal en word in tabel 29 uiteengesit.

Sandsteentipe	Digtheid kg/m ³			Aantal toetse uitgevoer
	Min.	Maks.	Gem.	
A	2560	2630	2602	10
B	2560	2630	2592	10
C	2560	2640	2603	10
D	2630	2650	2642	10
E	2550	2750	2659	10

Tabel 29: Digthede vir sandsteentipes A tot E

Die gemiddelde digtheid van Natalsandsteen is 2620kg m⁻³

4.5 AGGREGAATEIENSKAPPE

4.5.1 Aggregaatvergruisingswaarde

Die aggregaatvergruisingswaarde (AVW) is 'n aanduiding van die sterkte van die aggregaat. Twee belangrike faktore wat 'n rol by die sterkte van 'n aggregaat speel, is die hardheid van die individuele minerale in die rots asook die sterkte van die binding tussen hulle. Aggregaat word aan ruwe behandeling blootgestel tydens uitgrawing, vergruising en vermenging en in die beton self moet dit spanning, temperatuurverskille en slytasie weerstaan.

(a) Toetsmetode en apparaat

Die weerstand van rots teen opbreking en verkrummeling word deur middel van die aggregaatvergruisingstoets bepaal.

Die apparaat wat benodig word is die volgende, nl:

- (i) 'n Silindriese metaalmaat
- (ii) 'n Vergruisingsilinder (Fig. 25)
- (iii) 'n Stampstok, en
- (iv) 'n Druktoetsmasjien

'n Aggregaatmonster van ongeveer 6kg wat deur die 13,2 mm sif gaan en op die 9,8 mm sif agterbly word benodig. Monsters vir die nat toets word 24 uur in water geweek.

Die monster word in die vergruisingsilinder geplaas, vasgestamp en in die druktoetsmasjien geplaas. 'n Krag van 400 ± 5 kN word eweredig vir 10 minute daarop aangewend. Die materiaal word dan op die 2,36 mm sif gesif. Die proses word eenmaal herhaal. (SABS-metode 841).

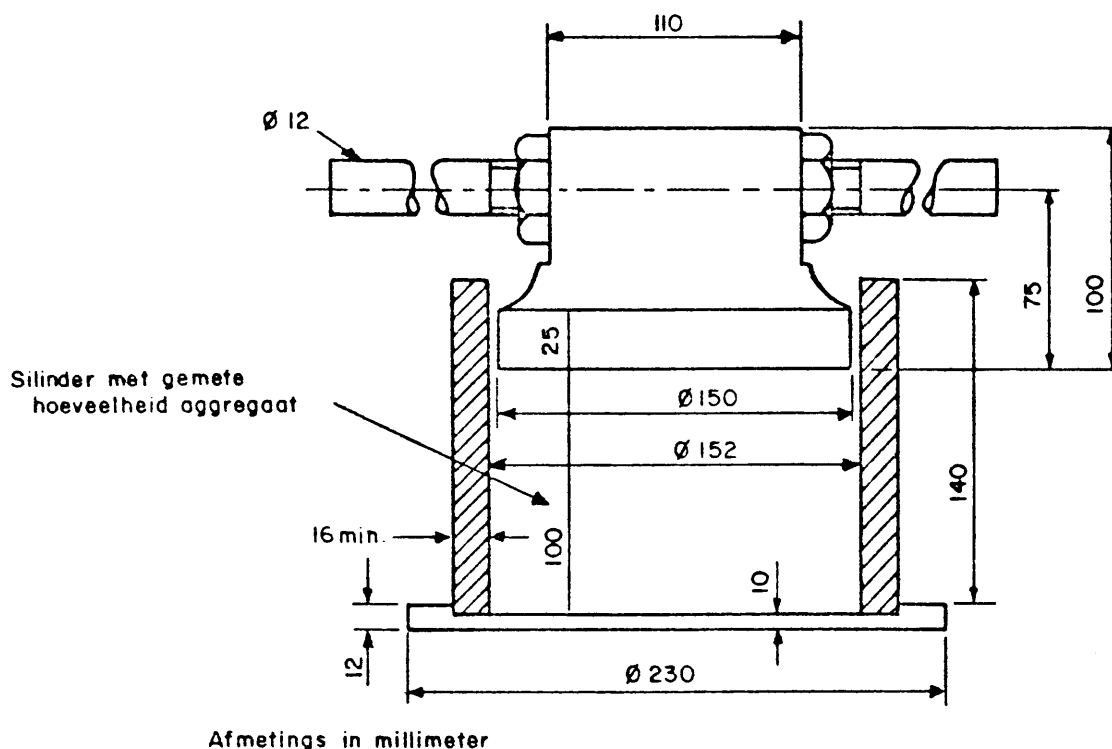


FIG. 25 : VERGRUISINGSILINDER

SANDSTEENTYPE	FORMASIE	AGGREGAATVERGRUISINGSWAARDE			TOESTAND	AANTAL TOETSE	LABORATORIUM	VERWYSING
		MIN.	MAKS.	GEM.				
		21,80	25,48	23,78	DROOG	6		
A	-	29,74	30,53	30,14	NAT	2		
		19,20	26,91	24,27	DROOG	2		
	-	29,04	29,69	29,37	NAT	2		
		19,80	21,73	20,93	DROOG	5	GEOLOGIESE OPNAME	FILMALTER, G.F. (1985)
	-	-	-	26,64	NAT	1		
		17,18	23,40	20,21	DROOG	5		
	-	-	-	24,72	NAT	1		
		-	-	28,78	DROOG	1		
	HIBBERDENE	-	-	37,16	NAT	1		
		18,2	24,4	21,3	DROOG	2		
B, C EN D	INANDA	22,7	28,1	25,4	NAT	2	NBNI, WNNR	FORBES, J. (1985)
B, C EN D	INANDA	-	-	15,8	DROOG	1	NBNI, WNNR	NASH, E. (1971)
B, C EN D	INANDA	17,3	21,1	19,3	DROOG	8	HIPPO QUARRIES	COULL, W.A. (1985)
B, C EN D	INANDA	-	-	21,7	DROOG		DEPT. WATERWESE	BARNARD, W.J.H. (1985)
B, C EN D	INANDA	18,0	29,6	20,6	DROOG	16	COEDMORE LAB.	MEISSNER, ROLOFF, K. (1985)
	MKUNYA	16,3	23,4	18,9	DROOG	6	SOILS DESIGN LAB.	WISSING, R. (1985)
en B	ESHOWE	13,2	20,3	16,2	DROOG	2	D.L. WEBB AND PART.	GEERTSEMA, A.J. (1983)

Digitised by the Department of Library Services in support of open access to information, University of Pretoria, 2021

TABEL 30 AGGREGAATVERGRUISINGSWAARDES VIR SANDSTEENTIPES A TOT D EN VIR DIE HIBBERDENE, INANDA, MKUNYA EN ESHOWE FORMASIES

Die aggregaatvergruisingwaarde word soos volg bereken:

$$AVW, = \frac{\text{Massa b}}{\text{Massa a}} \times 100 \quad \%$$

Massa b = materiaal deur 2,36 mm sif.

Massa a = oorspronklike massa

(b) Resultate en gevolgtrekking

Aggregaatvergruisingwaardes vir sandsteentipes A, B C en D asook vir sandsteen van die Hibberdene, Inanda, Mkunya en Eshowe Formasies word in Tabel 30 getoon.

'n Aggregaatvergruisingwaarde van minder as 29 persent word gespesifiseer (SABS, 1976) vir alle soorte beton insluitend die wat aan oppervlakslytasie onderworpe is.

Sandsteentipes van die Inanda, Mkunya en Eshowe Formasies voldoen aan hierdie spesifikasie. Resultate van toetse wat nat uitgevoer is, is hoër en verskil tussen 4 en 8 persent van die droë AVW.

4.5.2 Tien persent aggregaatvergruisingwaarde (10% FAVW)

Die tien persent aggregaatvergruisingstoets (10% FAVT) is, soos die aggregaatvergruisingwaarde, 'n mate van die weerstand van rots teen opbreking en verkrummeling.

(a) Toetsmetode en apparaat

Die weerstand van rots teen opbreking en verkrummeling word deur middel van die tien persent fynstof aggregaatvergruisingstoets bepaal.

Die apparaat is dieselfde as vir die AVW-toets.

h Aggregaatmonster van ongeveer 9kg wat deur die 13,2 mm sif gaan en op die 9,5 mm sif agterbly word benodig. Monsters vir die nat toets word 24 uur in water geweek.

Die monster word in die vergruisingscilinder geplaas, vasgestamp, in die druktoetsmasjien geplaas, en h krag vir 10 minute toegepas sodat die suier ongeveer 20 mm in die silinder af beweeg. Op dieselfde wyse word nog twee toetse uitgevoer behalwe dat die kragaanwendingstempo verander word. Die monsters word dan deur die 2,36 mm sif gesif. (SABS-metode 842).

Ideaal word drie verskillende fyngruiswaarde persentasies verkry wat onderskeidelik 7,5 persent, tussen 7,5 en 12,5 persent en 12,5 persent is. Die persentasie wat so verkry word, word dan teenoor die toegepaste krag (in kN) vir elk gestip en die krag wat 10 persent fyngruis oplewer, afgelees. Die nat toets word op dieselfde wyse uitgevoer.

(b) Resultate en gevolgtrekking

Tien persent aggregaatvergruisingswaardes vir sandsteen van die Inanda, Mkunya en Eshowe Formasies word in tabel 31 getoon.

Die vereistes vir die 10% FAVT word in tabel 32 getoon.

Aggregaatgebruik	Toestand		10% FAVT
	Droog		110 kN
Onderworpe aan oppervlak			
slytasie	Nat	minstens	75% van droog
	Droog		70 kN
Nie aan oppervlakslytasie			
onderworpe	Nat	minstens	75% van droog

Tabel 32: Spesifikasie vir 10% FAVT (SABS, 1976)

Resultate van toetse wat uitgevoer is op sandsteen van die Inanda, Mkunya en Eshowe Formasies het getoon dat al die sandsteen aan hierdie spesifikasie voldoen. (Verwys na tabel 31). Onverweerde Natalsandsteen is dus in meeste gevalle geskik vir gebruik as growwe aggregaat.

4.5.3 Waterabsorpsie

(a) Toetsmetode en apparaat

Die toets is daarop gemik om die waterabsorpsievermoeë van aggregaat te bepaal.

SANDSTEENTYPE	FORMASIE	10% FAVW			TOESTAND	AANTAL TOETSE	LABORATORIUM	VERWYSING
		MIN.	MAKS.	GEM.				
A, B, C EN D	INANDA	-	-	269	DROOG	1	NBNI, WNNR	NASH, E (1971)
A, B, C EN D	INANDA	134	215	174,5	DROOG	2	NBNI, WNNR	FORBES, J. (1985)
		102	185	143,5	NAT	2		
A, B, C EN D	INANDA	137	163	153,8	DROOG	8	HIPPO QUARRIES	COULL, W.A. (1985)
		97	156	136,6	NAT			
A, B, C EN D	INANDA	160	169	164,5	DROOG	2	-	WALLACE, P. (1985)
		96	120	108	NAT	2		
A, B, C EN D	INANDA	146	218	200,6	DROOG	23	COEDMORE QUARRIES	MEISSNER ROLOFF, K. (1985)
B	MKUNYA	148	228	178,7	DROOG	3	SOILS DESIGN LAB	WISSING, R (1985)
A EN B	ESHOWE	192	260	239,3	DROOG	6	WEBB AND PART.	GEERTSEMA, A.J. (1983)

TABEL 31 TIEN PERSENT AGGREGAATVERGRUISINGSTOETS WAARDES VIR DIE INANDA, MKUNYA EN ESHOWE FORMASIES.

Die volgende apparaat word benodig:

- (i) 'n Sif met nominale openinge van 4,75 mm.
- (ii) 'n Oond by temperatuur van 110°C.
- (iii) 'n Dessikator en massameter.

Ongeveer 1 kg aggregaat word by 105°C gedroog tot konstante massa en die massa word dan bepaal (massa a). Die aggregaat word dan in gedistilleerde water vir 'n periode van 24 uur geplaas. Die monster word dan met warm lug gedroog nadat dit uit die water verwyder is, en die massa bepaal (massa b).

Waterabsorpsie(s) word soos volg bereken:

$$s = \frac{b - a}{a} \times 100$$

(b) Resultate en gevolgtrekking

Tien toetse is op verteenwoordigende sandsteenmonsters van sandsteentipes A tot D uitgevoer. Resultate van toetse wat by verskeie onafhanklike laboratoria uitgevoer is, word in tabel 33 opgesom.

Resultate van toetse wat uitgevoer is op rotsmonsters uit potensiële en produserende groewe wat in die onderskeie formasies geleë is word ook gegee.

Volgens SABS 1083 (1976) is dit onwaarskynlik dat 'n aggregaat met 'n waterabsorpsievermoë van minder as 1 persent enige ontwerpparameters merkbaar sal beïnvloed.

SANDSTEENTYPE	FORMASIE	WATERABSORBSIE (%)			AANTAL MONSTERS GETOETS	LABORATORIUM	VERWYSING
		MIN	MAKS	GEM.			
A	-	0,55	0,89	0,73	10		
B	-	0,86	1,35	1,11	10	GEOLOGIESE OPNAME	FILMALTER, G.F.
C	-	0,69	0,90	0,83	10	OPNAME	(1985)
D	-	0,79	1,31	1,01	10		
A	HIBBERDENE	0,26	1,18	0,81	10	GEOLOGIESE OPNAME	FILMALTER, G.F. (1985)
A, B, C en D	INANDA	0,20	1,20	0,685	30	S.A. VERVOERDIENSTE	VENTER, S.J. (1985)
A, B, C en D	INANDA	0,40	0,40	0,40	2	NBNI LAB	FORBES, J. (1985)
A, B, C en D	INANDA	0,30	0,75	0,42	8	HIPPO QUARRIES	COULL, W.A. (1985)
A, B, C en D	INANDA	0,40	0,40	0,40	2	DEPT. WATERWESE	BARNARD, W.J.H. (1985)
A, B, C en D	INANDA	0,52	0,84	0,68	7	SOILS DESIGN LAB	MEISSNER ROLOFF, K. (1985)
B	MKUNYA	0,50	0,50	0,50	1	SOILS DESIGN LAB (LTA)	WISSING, R. (1985)
A en B	ESHOWE	0,20	0,66	0,49	8	D.L. WEBB en ASSOCIATES	GEERTSEMA, A.J. (1983)

TABEL 33 . WATERABSORPSIESAARDES VAN SANDSTEENTIPES A, B, C en D ASOOK VAN DIE ESHOWE, MKUNYA, INANDA en HIBBERDENE FORMASIES

Potensiële en produserende groewe in die Natalsandsteen toon waardes van minder as een persent (Tabel 33) en is dus in dié opsig geskik vir die vervaardiging van beton.

4.5.4 Slytbestandheid (Los Angeles abrasietoets)

(a) Toetsmetode en apparaat

Die Los Angeles abrasietoets is ontwerp om die slytbestandheid van die aggregraat te bepaal.

Die apparaat wat gebruik word is:

h Los Angeles masjien met slytlading wat bestaan uit staalbolle elk met massa van 390-445 gram. (Soos beskryf in ASTM C 131).

Die monster (13,3 - 19,0 mm fraksie, massa 2500 \pm 10g) met die toepaslike slytlading (11 bolle) word in die Los Angeles masjien geplaas en roteer teen 30 tot 35 omwentelinge per minuut vir 500 omwentelinge. Die geslyte materiaal word op h 4,75 mm sif geskei en die massa wat deur die 1,7 mm sif gaan word bepaal (SABS-metode 846).

Slytbestandheid word soos volg bereken:

$$\text{Slytasie} = \frac{(a-b)}{a} \times 100 \%$$

waar a = aanvanklike massa van monster

b = massa van materiaal wat op 1,70 mm sif agterbly.

(b) Resultate en gevolgtrekking

SANDSTEENTYPE	FORMASIES	SLYTBESTANDHEID PERSENTASIE			AANTAL MONSTERS GETOETS	LABORATORIUM	VERWYSING
		MIN	MAKS	GEM.			
A, B, C en D	INANDA	19,0	22,7	20,61	8	HIPPO QUARRIES	COULL, W.A. (1985)
A, B, C en D	INANDA	28,3	32,4	30,35	2	?	WALLACE, P. (1985)
A, B, C en D	INDANDA	20,4	20,8	20,6	2	SOILS DESIGN LAB	MEISSNER ROLOFF, K. (1985)
A, B, C en D	INANDA	24,6	24,9	24,8	3	S.A. VERVOERDIENSTE	VENTER, S.J. (1985)
A, B, C en D	INANDA	18,7	28,5	23,6	2	NBNI LAB	FORBES, J. (1985)
A, B, C en D	INANDA	18,3	18,3	18,3	1	NE LAB	NASH, E. (1971)
A en B	ESHOWE	19,5	32,9	24,58	4	WEBB EN MEDEWERKERS	GEERTSEMA, A.J. (1983)
A en B (EFFENS VERWEERD)	ESHOWE	35,4	38,2	36,73	3	WEBB EN MEDEWERKERS	GEERTSEMA, A.J. (1983)

TABEL 34

SLYTBESTANDHEID VAN SANDSTEENTYPES IN DIE VERSKILLENDE FORMASIES VAN DIE NATALSANDSTEEN
(TOETSMETODE - LOS ANGELESTOETS)

(a) Toetsmetode en apparaat

Die magnesium (of natrium)-sulfaattoets word algemeen gebruik om die gaafheid en duursaamheid van 'n aggregraat te bepaal.

Sakkies aggregraat van verskillende groottes word vir 5 siklusse in 'n versadigde oplossing van die sulfaat geweek en gedroog. Die persentasies wat na 5 siklusse deur dieselfde sifgrootte gaan word as maatstaf van gaafheid gebruik (SABS-metode 837).

Die verteenwoordigende verlies (VV) word soos volg bereken.

$$VV = \frac{a \times b}{100}$$

waar a = die persentasie verlies van die fraksie wat getoets is.

b = persentasie verteenwoordiging van die fraksie wat getoets is.

(b) Resultate en gevolgtrekking

Verskeie laboratoria het gaafheidstoetse op aggregraat van die Eshowe en Inanda Formasie uitgevoer. Die resultate hiervan word in Tabel 35 uiteengesit.

Die sulfaattoets is volgens die SABS (SABS 1083, 1977) nie hoog selektief nie, maar gee wel 'n aanduiding van die duursaamheid van 'n aggregraat in die verwagte omstandighede.

Hierdie toets is baie straf en word nie as 'n absolute basis gebruik vir die aanvaarding of verwerping van 'n aggregraat nie. 'n Lae verlies (<5%) dui egter gewoonlik op goeie duursaamheid, terwyl 'n hoë verlies (>18%) nie noodwendig die materiaal diskwalifiseer nie.

SANDSTEENTIPE	FORMASIE	GAAFHEID PERSENTASIE			AANTAL SIKLUSSE	AANTAL GETOETS	LABORATORIUM	VERWYSING
		MIN	MAKS	GEM.				
A, B, C en D	INANDA	0,8	0,8	0,8	10	2	NBNI, WNNR	FORBES, J. (1985)
A, B, C en D	INANDA	1,5	13,1	7,28	10	9	WEBB & ASS.	MEISSNER ROLOFF, K. (1985)
A, B, C en D	INANDA	0,5	6,8	2,2	10	9	HIPPO QUARRIES	COULL, W.A. (1985)
		1,9	13,8	8,1	20			
A, B, C en D	INANDA	3,7	34,4	14,1	20	51	S.A. VERVOERDIENSTE	VENTER, S.J. (1985)
A en B	ESHOWE	0,2	2,3	1,24	10	5	WEBB & ASS.	GEERTSEMA, A.J. (1983)
A en B (EFFENS VERWEERD)	ESHOWE	4,9	4,9	4,9	10	1		

TABEL 35

GAAFHEID VAN SANDSTEENTIPES IN DIE INANDA EN ESHOWE FORMASIES VAN DIE NATALSANDSTEEN

Sandsteentipes A tot D afkomstig van die Inanda Formasie wat vir gaafheid getoets is, toon gemiddelde waardes wat tussen 0,8 en 14,1 persent lê. Sandsteentipes afkomstig van die Eshowe Formasie toon waardes wat tussen 1,24 en 4,9 persent lê.

Die Suid-Afrikaanse Vervoerdienste (1984) stel 'n baie hoë standaard deur te spesifiseer dat die gaafheid van aggremaat vir spoorwegballas nie meer as 5 persent na twintig siklusse van die toets mag wees nie.

Geselekteerde Natalsandsteen kan aan die vereiste van die SABS voldoen, maar oor die algemeen voldoen die sandsteen nie aan die neergelegde vereiste nie.

4.5.6 Krimping

Die gebruik van aggremaat in beton, wat groot veranderinge in volume as gevolg van verandering in voggehalte ondergaan, is 'n oorsaak vir die krimping van beton. Krimping is veral nadelig waar dit deur bewapening beperk word.

(a) Toetsmetode en apparaat

Die hoeveelheid krimping van beton, wat van 'n bepaalde aggremaat vervaardig is, word gemeet deur betonprismas daarvan te vergelyk met prismas wat van 'n standaard aggremaat vervaardig is. Hierdie verwysingsmateriaal is Witwatersrandkwartsiet wat vry van skalie en piriet is.

Die apparaat behels

'n Sif met 4,75mm openinge, betonmengtoerusting en vorms.

Die growwe aggregaat vir toets sowel as die verwysingsmateriaal word vergruis totdat alles deur die 4,75 mm sif gaan. Dit word gemeng soos voorgeskryf en in vorms geplaas.

Die monsters word 168 uur na vorming uit die water gehaal, afgedroog en die afstand tussen die buite-ente word gemeet (meting A).

Die monsters word in 'n droogtoestel vir 14 dae bewaar en dan weer gemeet, (Meting B). (SABS-metode 836)

Die krimpings word soos volg bereken:

$$\text{Krimping} = \frac{A - B}{\text{Maatlengte}} \times 100 \%$$

Waar die maatlengte die afstand tussen die binne-ente van die gietvorm is.

(b) Resultate en gevolgtrekking

Resultate van twee onafhanklike laboratoria word in Tabel 36 getoon. Toetse is uitgevoer op sandsteen van die Inanda Formasie.

Die krimpings van die beton waarvan die toetsaggregaat vervaardig is, mag nie meer as 150% verskil van die krimpings van die verwysingsaggregaat nie (SABS 1083, 1976). Natalsandsteen voldoen dus aan die spesifikasie.

Aantal toetse uitgevoer	Krimping (Persentasie verskil van aggregaat)			Laboratorium	Verwysing
	Min	Maks	Gem		
2	135	165	150	NBNI WNNR	Forbes, J (1985)
3	115,7	126,5	122	S A Vervoer-	Meissner (1985) dienste

Tabel 36: Krimping van beton vervaardig van sandsteen van die Inanda Formasie.

4.5.7 Skilferingsindeks (Skerfagtigheid)

Kubiese partikels word bo skerfagtige partikels verkies omdat dit 'n kleiner oppervlakte en minder ruimtes per eenheidsvolume besit en derhalwe minder sement vereis. (Van Schalkwyk, 1980) Skerfagtige partikels neig om hulleself horisontaal te lig tydens plasing van beton en vang dan water wat uit die beton syfer aan hulle onderkante vas sodat openings gevorm word wat die deurlatendheid van die beton verhoog.

(a) Toetsmetode en apparaat

Die toets is ontwerp om 'n verhouding te bepaal tussen die minimum- en maksimum- afmetings van 'n aggregaatskerf.

h Toetsmonsters wat groot genoeg is om die toepaslike minimum getalle rotsstukke aangedui in kolom 5 van tabel 37 te lewer word noukeurig afgeweeg. Die fraksies wat gemeet moet word, moet die fraksies wees wat werklik in die aggregaatmonster aanwesig is.

Die toetsmonster word, volgens SABS-metode 829 deur sifting in die fraksies soos deur kolomme 1 en 2 in tabel 37 aangegee, geskei. Elke fraksie word noukeurig tot 0,1 persent van die totale massa van die toetsmonster geweeg, die stukke in elke fraksie (met die ooreenstemmende gleuf in tabel 37 aangegee) word geweeg en die totale hoeveelheid wat deur die toepaslike gleuwe gaan word dan (tot dieselfde noukeurigheid) geweeg . Die gekombineerde massa van die stukke wat deur die toepaslike gleuwe gegaan het, word dan bereken tot die naaste 0,1g en die resultaat uitgedruk as h persentasie van die som van die massa van die fraksies wat gemeet is. Die resultaat as die skilferingsindeks aan geteken. (SABS-metode 847).

Daar word gewoonlik gespesifiseer dat aggregaat nie meer as 25 persent deeltjies met h skerfagtigheidsindeks van meer as 3 mag bevat nie. (Van Schalkwyk, 1980).

Die gemiddelde skilferingsindeks van sandsteentipe A, B, C en D van die Inanda Formasie wissel tussen 17,4 en 28,5 persent, die van sandsteentipe B van die Mkunza Formasie is 24,25 persent en die van sandsteentipe A en B (effens verweerd) van die Eshowe Formasie is 35,4 persent. (Tabel 38).

1	2	3	4	5
Groottefraksie wat gemeet moet word, mm		Gleufafmetings		Minimum getal stukke wat gemeet moet word
Gaan deur	Bly agter	Lengte mm, min.	Breedte, mm*	
75,0	63,0	150,0	37,5	300
63,0	53,0	126,0	31,5	300
53,0	37,5	106,0	26,5	300
37,5	26,5	75,0	18,75	200
26,5	19,0	53,0	13,25	200
19,0	13,2	38,0	9,5	200
13,2	9,5	26,4	6,6	100
9,5	6,7	19,0	4,75	100
6,7	4,75	13,4	3,35	100

*Behoudens 'n toleransie van $\pm 0,10$ mm.

Tabel 37: Gleufgroottes vir skilferingsindekstoets.

(b) Resultate en gevolgtrekking

Resultate van skilferingsindekstoetse wat op sandsteen van die Inanda, Mkuya en Eshowe Formasies word in tabel 38 getoon.

SANDSTEENTIPES	FORMASIE	SKILFERINGSINDEKS			AANTAL TOETSE	LABORATORIUM	VERWYSING
		MIN	MAKS	GEM			
A, B, C en D	INANDA	25	27	26	2	NBNI, WNNR	FORBES, J. (1985)
A, B, C en D	INANDA	17,9	17,9	19,9	1	NBNI, WNNR	NASH, E (1971)
A, B, C en D	INANDA	13,0	46	28,5	4	-	WALLACE, P. (1985)
A, B, C en D	INANDA	14,5	19,4	17,4	6	SOILS DESIGN LAB	MEISSNER ROLOFF, A. (1985)
B	MKUNYA	21,9	26,6	24,25	2	SOILS DESIGN LAB	WISSING, R. (1985)
A en B (EFFENS VERWEERD)	ESHOWE	25,0	47,0	35,5	4	WEBB AND PART.	GEERTSEMA, A.J. (1983)

TABEL 38

SKILFERINGSINDEKS VAN SANDSTEEN VAN DIE INANDA, MKUNYA EN ESHOWE FORMASIES

Onverweerde Natalsandsteen van die A, B, C en D tipes breek dus relatief skurfagtig en kan as 'n grensgeval beskou word sover dit skilferingsindeks aangaan. Dit word egter met groot sukses in beton gebruik. Effens verweerde sandsteen breek baie skurfagtig en is nie geskik vir betonaggregaat nie.

4.5.8 Alkali-reaksiepotensiaal

Alkali-aggregaatreaksie behels reaksie tussen alkalië en sekere reaktiewe minerale as sodanig of reaktiewe minerale in rotse. Alkali-aggregaatreaksie wat nadelige uitsettende kragte tot gevolg het, kan slegs plaasvind in die teenwoordigheid van alkalië, reaktiewe aggregaat en geskikte omgewingstoestande. Al drie hierdie faktore moet nie slegs terselfdertyd nie, maar ook in 'n spesifieke kombinasie teenwoordig wees vir uitsetting om plaas te vind.

Die vernaamste bron van alkalië wat verantwoordelik is vir alkali-aggregaatreaksie is gewoonlik, maar nie altyd nie, die sement. Dit is gebruikelik om die totale alkali-inhoud van 'n sement uit te druk as die Na_2O -ekwivalent, waar

$$\% \text{Na}_2\text{O-ekwivalent} = \% \text{Na}_2\text{O} + (0,658 \times \% \text{K}_2\text{O})$$

'n Totale alkali-inhoud van 0,6 persent Na_2O -ekwivalent word beskou as die maksimumperk vir sement wanneer dit in kombinasie met reaktiewe aggregate gebruik word. (Oberholster (1980)).

Die volgende toetmetodes kan gevolg word om te bepaal of 'n aggregaat potensieël alkali-reaktief is:

- (i) Petrografiese ondersoek
- (ii) Chemiese metode vir alkali-reaksie potensiaal
- (iii) Mortelprisma metode vir alkali reaksie potensiaal
- (iv) Betonprisma metode

(i) Petrografiese ondersoek

(a) Toetsmetode

Rotsmonsters word uitgesoek deur die materiaal op die vloer uit te gooi en monsters van die verskillende kleure aggreëat te neem. Slypplaatjies word die monsters gemaak en onder 'n petrografiese mikroskoop ondersoek.

(b) Resultate

Rots wat reaktiewe bestanddele soos kwarts onder spanning en chert bevat is nie noodwendig alkali reaktief nie. Die hoeveelheid alkali reaktiewe materiaal asook die teenwoordigheid van kwarts onder spanning waarvan die golwende uitdowingshoek groter as 25° is speel ook 'n rol.

Die Natalsandsteen is as 'n kwartsiet geïdentifiseer wat kwarts onder spanning en chert bevat en dus potensieël reaktief is.

(ii) Die chemiese metode vir alkali reaktiwiteit

(a) Toets-metode

Die toets word volgens die ASTM C289-81-metode uitgevoer.

(b) Resultate

Die resultate van die vinnige chemiese toets word in tabel 40 getoon.

Monster	Alkali reduksie	Silika opgelos	Alkali
Soort	Rc, millimol/l	Sc, millimol/l	reaktiwiteit
Kwartsiet	51,8	38,3	Onskadelik

Tabel 40: Resultate van die vinnige chemiese toets.

(c) Gevolgtrekking

Kwartsiet van die Natal Groep is onskadelik sover dit alkali reaktiwiteit betref.

(iii) Die mortel prismametode

(a) Toetsmetode

Die toets word volgens ASTM C227-81 uitgevoer. Sement van vier verskillende samestellings word gebruik nl. V(0,67) (0,60), Q (0,88) (0,82), C28 (0,97) (0,95) en C28 (1,12) (1,10). Die eerste syfer in hakies is die totale en die tweede aktiewe persentasie Na₂O ekwivalent van die sement.

Die mortel prismatoets word gebruik om die alkali reaksie potensiaal te bepaal of alternatiewelik om te bepaal of 'n bepaalde sementaggregaat kombinasie potensieël skadelik alkali reaktief is.

(b) Resultate

'n Opsomming van die uitsettings verkry en die alkali reaksie potensiaal van die verskillende sement-aggregaat kombinasies word

MONSTER	SEMENT	ALKALI INHOUD, kg		LINIERE UITSETTING		ALKALI REAK- TIWITEIT
		Na ₂ O EKWIVALENT/M ³		(PERSENTASIE) Na		
		TOTAAL	AKTIEF	26 WEKE	52 WEKE	
	V(0,67) (0,60)	4,02	3,60	0,003	0,002	ONSKADELIK
KWARTSIET	Q(0,88) (0,82)	5,28	4,92	0,000	-0,002	ONSKADELIK
FORMASIE INANDA	C28(0,97) (0,95)	5,82	5,70	0,011	0,012	ONSKADELIK
GROEP NATAL	C28(1,12) (1,10)	6,72	6,60	0,019	0,031	ONSKADELIK

TABEL 41 OPSOMMING VAN LINIERE UITSETTING EN ALKALIREAKTIWITEIT VAN MORTELPRISMAS (OBERHOLSTER ET AL, 1985)

in tabel 41 gegee. Enige sement-aggregaat kombinasie wat 'n uitsetting van meer as 0,05% binne 1 jaar toon word as 'n potensieël skadelike kombinasie beskou.

(c) Gevolgtrekking

Nie een van die monsters getoets bereik die genoemde perk nie en word as onskadelik beskou.

(iv) Beton prismametode

(a) Toetsmetode

Betonprismas met afmetings 75 x 75 x 300 mm en met 'n aggregaat: sand: sement: water verhouding van 3,38: 1,87: 1: 0,5 word vervaardig van sement met samestellings soos in die mortelprisma metode en in geseelde houers, bo water, by 38°C gestoor. Die sand moet 'n nie alkali reaktiewe kwartssand wees.

(b) Resultate

Met die toetsmetode word baie nader beweeg aan die werklikheid as met die mortelprisma toets. Resultate word in Tabel 42 opgesom.

Die ortokwartsiet van die Inanda Formasie is nie skadelik reaktief met betrekking tot alkali-reaksie nie (NBRI, 1984).

4.6 PADBOU EIENSKAPPE

4.6.1 Gepoleerdeklip waarde

Die gepoleerdeklip waarde gee 'n aanduiding van die mate waartoe growwe aggregaat in die slytlae van paaie onder die slytasie van 'n motorband poleer (glad word). Wanneer die slytlaag van 'n pad poleer, gly die bande van voertuie en is dit 'n veiligheidsrisiko.

MONSTER	SEMENT	ALKALI-INHOUD, kg Na ₂ O EKWIVALENT/m ³		LINIERE UITSETTING (PERSENTASIE) Na		
		TOTAAL	AKTIEF	26 WEKE	52 WEKE	
	V(0,67) (0,60)	2,35	2,10	-0,001	-0,002	ONSKADELIK
KWARTSIET INANDA	Q(0,88) (0,82)	3,08	2,87	0,002	0,005	ONSKADELIK
FORMASIE NATAL GROEP	C28(0,97) (0,95)	3,39	3,33	0,006	0,019	ONSKADELIK
	C28(1,12) (1,10)	3,92	3,85	0,021	0,042	ONSKADELIK

TABEL 42 OPSOMMING VAN LINIERE UITSETTING EN ALKALI REAKTIWITEIT VNA BETONPRISMAS (OBERHOLSTER ET AL, 1985)

(a) Toetsmetode en apparaat

Die gepoleerdeklip waarde toets bepaal die oppervlakruheid van aggregaat veral met die oog op die bepaling van die weerstand wat dit bied wanneer 'n motorband daaroor sou skuur.

'n Poleermasjien, vorm en wrywingstoetser word benodig.

Die aggregaat wat getoets moet word, word gesif deur 'n 9,50 mm sif en opgevang op 'n 8,00 mm sif, 40 tot 60 stukkie klip uitgesoek, met 'n harsbasis in 'n vorm gegiet en gelaat om te droog. Die gietsel met aggregaat word in die poleermasjien monteer en die rubberwiel teen 'n krag van 390 N vir 3 ure teen ongeveer 320 omwentelinge per minuut daaroor laat loop (draaiaksie) terwyl korrelamaril en water oor die oppervlak gestrooi word. Dit word dan skoongemaak en weer vir 3 ure herhaal. Die gietsel word nou in 'n wrywingstoetser geplaas. Die skuifkant word vyfkeer oor die monster beweeg en die gemiddeld van die laaste drie lesings word geneem.

(b) Resultate en gevolgtrekking

Resultate van toetse op drie van die sandsteentipe wat onderskei is, word in tabel 39 opgesom.

Sandsteentipe	Formasie	Gepoleerdeklip waarde
A	Inanda	62
B	Inanda	59
B	Mkunya	53

Tabel 39: Gepoleerdeklip waarde vir sandsteentipe A en B vir die Inanda en Mkunya Formasies. (TRH 3)

n Minimum gepoleerdeklip waarde van 40 word neergelê vir gebruik van aggremaat in die slytlae van paaie. Natalsandsteen word as uiters geskik vir hierdie doel beskou.

In Durban en omgewing word slegs van sandsteen gebruik gemaak in die slytlae van paaie.

HOOFSTUK 5. DISKONTINUITEITE

Sandsteen van die Natal Groep word gekenmerk deur duidelike gelaagdheid en die voorkoms van 'n aantal naatstelle wat min of meer reghoekig op die gelaagdheid voorkom en die rotsmassa 'n blokkerige voorkoms gee. Die diskontinuiteite kan dus onderskei word as laagvlakke wat dikwels swakker materiaal bevat en nate.

Hierdie diskontinuiteite speel 'n baie belangrike rol by die stabiliteit van enige struktuur (damuitgrowing, tonnel, ens) wat op of in die rotsmassa gebou word. Die oriëntasie en ander eienskappe van die diskontinuiteite is dus van groot belang en deeglike opnames om die eienskappe van diskontinuiteite te bepaal, word gewoonlik uitgevoer. Eienskappe van diskontinuiteite wat van belang is, is die volgende, nl. posisie, oriëntasie (helling en hellingsrigting) oppervlak onreëlmatigheid (ruheid en golwing), deurlopendheid (die lengte langs die helling en strekking van bepaalde diskontinuiteite), die dikte en eienskappe van die naatvulmateriaal.

Omvattende geotegniese ondersoek vir die voorgestelde Mvumase pompopgaarskema in die Tugelarivier is deur EVKOM in Noord-Natal, uitgevoer. Uitgebreide naatopnames is uitgevoer en daar is ses diskontinuiteitestelle, naamlik 'n laagvlak en vyf naatstelle geïdentifiseer. Tabelle 43 tot 48 is 'n weergawe van diskontinuiteitseienskappe van die laagvlak en die naatstelle A, B, C1, C2, en D1 onderskeidelik. 'n Opsomming hiervan is soos volg:

OPNAME LIGGING	HELLINGSRIGTING				HELLINGSHOEK				ROFHEID (1 - 5)				HELLINGSLENGTE (m)				STREKKINGSLENGTE (m)				VULMATERIAAL DIKTE (m)				GOLWINGSHOEK				SPASIERING (m)				
	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA	
SLDOT 1	90,0	143,5	220,0	42,2	4,0	8,6	20,0	3,7	3,0	3,5	5,0	0,7	0,3	1,5	6,0	1,4	0,3	1,5	3,0	1,0	1,0	1,0	-	0,0	0,0	0,0	-	0,0	0,5	1,2	0,		
SLDOT 2	13,0	158,9	338,0	80,9	2,0	10,8	26,0	6,6	3,0	3,3	4,0	0,5	0,1	1,4	4,2	1,1	0,3	2,4	8,2	2,0	1,0	1,9	2,0	0,3	0,0	3,9	10,8	3,3	0,0	0,7	4,5	1,	
SLDOT 3 OOS	84,0	178,4	320,0	73,3	4,0	15,7	34,0	9,5	3,0	3,3	4,0	0,4	0,1	1,1	5,0	1,3	0,2	1,6	6,5	1,6	1,0	2,0	3,0	0,6	0,0	1,7	42,3	7,3	0,0	0,1	0,7	0,	
SLDOT 3 WES	0,0	167,5	338,0	71,1	0,0	16,7	42,0	9,8	2,0	3,3	5,0	0,5	0,0	0,5	2,6	0,5	0,1	0,9	3,0	0,8	1,0	1,8	3,0	0,6	0,0	0,9	9,5	2,4	0,0	0,1	0,7	0,	
SLDOT 4	77,0	132,5	297,0	47,7	3,0	17,5	30,0	8,0	3,0	3,4	4,0	0,5	0,1	0,6	2,0	0,5	0,1	1,6	8,3	2,1	1,0	2,0	3,0	0,3	0,0	1,4	11,3	2,9	0,0	0,6	1,9	0,	
SLDOT 5	4,0	138,8	231,0	66,3	3,0	39,0	26,0	7,2	3,0	3,5	4,0	0,5	0,8	1,1	1,5	0,5	0,5	1,2	2,4	0,8	2,0	2,6	4,0	0,8	0,0	2,0	8,4	3,0	0,0	0,2	0,7	0,	
SLDOT 7 OOS	11,0	136,1	303,0	53,7	3,0	9,6	20,0	4,3	3,0	3,0	3,0	-	0,2	2,1	5,0	1,3	0,2	2,1	4,5	1,2	1,0	1,5	3,0	0,6	0,0	0,3	9,1	1,6	0,0	0,5	1,9	0,	
SLDOT 7 WES	10,0	146,5	294,0	58,5	4,0	11,2	26,0	6,3	3,0	3,0	3,0	-	0,2	1,1	2,7	0,7	0,2	1,1	4,5	1,0	1,0	1,6	3,0	0,6	0,0	0,0	0,0	-	0,0	0,4	1,4	0,	
SLDOT 8 OOS	42,0	120,4	217,0	51,9	5,0	9,1	19,0	4,1	3,0	3,2	5,0	0,6	0,8	2,3	4,0	1,4	0,5	3,0	4,0	1,3	1,0	1,7	3,0	0,6	0,0	1,7	12,2	4,3	0,0	0,0	2,1	0,	
SLDOT 8 WES	60,0	146,6	235,0	44,7	5,0	14,6	260,0	6,3	3,0	3,0	4,0	0,2	0,1	1,5	4,0	1,0	0,1	0,9	4,5	1,1	1,0	2,4	5,0	0,7	0,0	1,6	38,7	7,5	0,0	0,6	2,4	0,	
TOETSGBIED 1	50,0	136,0	260,0	-	2,0	10,0	21,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOETSGBIED 2	80,0	124,0	260,0	-	2,0	9,0	23,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOETSGBIED 3	100,0	118,0	155,0	-	5,0	7,0	10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RIFERTERRAS	92,0	140,0	178,0	-	4,0	12,0	16,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HOEFUITGRAWING (NOORD)	5,0	144,0	284,0	60,7	3,0	11,6	29,0	6,6	2,0	2,4	4,0	0,6	0,0	0,4	6,0	1,4	0,0	45,6	100,0	48,1	1,0	1,3	3,0	0,6	0,0	0,5	14,0	2,3	0,0	0,3	5,3	0,	
HOEFUITGRAWING (SUID)	10,0	152,8	325,0	81,6	2,0	12,2	25,0	6,9	1,0	2,5	3,0	0,6	0,0	4,5	100,0	17,0	0,0	12,9	100,0	30,4	1,0	1,6	3,0	0,7	0,0	2,3	21,8	4,7	0,0	0,3	1,0	0,	
UITGRAWING 1	110,0	158,0	175,0	-	4,0	7,0	10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

TABEL 43: DISKONTINUITETEIENSAPPE VAN LAAGVLAKKE (VOLGENS EVKOM, 1983)

LIGGING	HELLINGSRICHTING				HELLINGSHOEK				ROFHEID				HELLINGSLENGTE				STREKKINGSLENGTE				VULMATERIAAL DIKTE				GOLWINGSHOEK				SPASIERING			
	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA
LOC 1	139,0	159,7	174,0	12,2	75,0	91,8	108,0	10,3	3,0	3,4	4,0	0,5	0,0	0,1	0,3	0,1	-	-	-	-	1,0	1,0	1,0	0,0	0	0	0	0	0	2,1	6,2	2,5
LOC 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LOC 3 OOS	126,0	152,1	176,0	16,1	85,0	97,8	109,0	7,2	3,0	3,2	4,0	0,4	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,3	0,0	1,0	2,0	3,0	0,7	0,0	0,0	0,0	-	0,0	0,8	2,8	0,8
LOC 3 WES	134,0	152,3	170,0	13,1	94,0	106,0	4,2	3,0	3,3	4,0	0,5	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	0,1	0,3	0,7	0,3	1,0	2,4	4,0	0,8	0,0	0,0	0,0	-	0,0	0,5	3,3	1,0
LOC 4	130,0	155,6	180,0	13,3	56,0	99,7	120,0	13,2	3,0	3,1	4,0	0,3	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,3	0,3	-	1,0	2,2	3,0	0,5	0,0	0,3	8,8	1,6	0,0	2,4	20,8	5,1
LOC 5	111,0	143,0	171,0	14,8	84,0	87,1	107,0	6,3	3,0	3,0	3,0	-	-	-	-	-	0,8	1,9	3,0	1,5	2,0	2,2	3,0	0,4	0,0	0,4	10,3	2,1	0,0	0,7	2,3	0,8
LOC 7 OOS	133,0	145,8	177,0	11,4	71,0	98,4	116,0	11,0	3,0	3,0	3,0	-	-	-	-	-	1,1	2,2	3,5	1,2	1,0	1,8	2,0	0,4	0,0	0,0	0,0	-	0,0	1,8	13,7	3,0
LOC 7 WES	125,0	141,5	159,0	12,6	88,0	97,0	105,0	6,8	3,0	3,0	3,0	-	-	-	-	-	1,2	1,2	1,2	-	1,0	1,6	2,0	0,5	0,0	0,0	0,0	-	0,0	2,7	5,7	2,0
LOC 8 OOS	0,0	3,8	7,0	2,8	74,0	81,2	85,5	5,0	3,0	3,0	3,0	-	-	-	-	-	3,2	3,2	3,2	0	2,0	2,0	2,0	0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	2,2	8,0	3,3
LOC 8 WES	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OETS GEBIED 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OETS GEBIED 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OETS GEBIED 3	150,0	165,0	184,0	-	75,0	93,0	115,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IVITERRAS	152,0	167,0	171,0	-	76,0	86,0	98,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OOPUITGRAAWING (NOORD)	149,0	161,8	150,0	7,1	69,0	101,3	114,0	7,5	2,0	3,6	5,0	0,8	0,1	0,5	1,1	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OOPUITGRAAWING (SUID)	148,0	160,2	179,0	8,5	78,0	103,9	115,0	7,3	2,0	3,2	5,0	0,5	0,4	5,2	6,7	2,7	0,0	0,2	0,5	0,1	1,0	1,1	3,0	0,3	0,0	1,0	18,4	3,1	0,0	0,6	6,2	1,1
ITGRAAWING 1	149,0	161,0	171,0	-	84,0	88,0	112,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ABR 44: DISKONTINUITEITSEIENSKAPPE VAN NAATSTEL A (VOLGENS EVKOM, 1983)

Digitized by the Department of Library Services, University of Pretoria, 2021

OPNAME LIGGING	HELLINGSRICHTING				HELLINGSHOEK				ROFHEID				HELLINGSLENGTE				STREKKINGSLENGTE				VULMATERIAAL DIKTE				GOLWINGSHOEK				SPASIERING					
	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA		
SLIPOT 1	38,0	51,9	68,0	8,3	73,0	89,4	106,0	10,0	3,0	3,4	4,0	0,5	0,0	0,1	0,3	0,1	0,2	1,6	3,5	1,1	1,0	1,0	1,0	-	0,0	0,0	0,0	0	0,0	1,3	7,9	1,8		
SLIPOT 2	12,0	35,9	60,0	14,3	68,0	89,0	117,0	12,1	3,0	3,1	4,0	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0	2,1	4,0	0,6	0,0	0,3	7,6	1,3	0,0	1,0	4,3	1,0		
SLIPOT 3 OOS	3,0	32,2	59,0	18,5	72,0	84,7	104,0	8,8	3,0	3,2	4,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0	0,7	1,1	1,5	0,6	1,0	2,3	5,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	4,1	14,6	4,5		
SLIPOT 3 WES	4,0	10,4	23,0	7,8	86,0	90,2	95,0	4,1	3,0	3,0	3,0	0	0,0	0,1	0,1	0,0	-	-	-	-	2,0	2,4	3,0	0,5	0,0	1,7	8,5	3,8	0,0	1,7	6,0	2,6		
SLIPOT 4	11,0	29,3	57,0	15,1	45,0	79,5	117,0	21,6	3,0	3,1	4,0	0,3	0,0	0,0	0,1	0,0	-	-	-	-	1,0	2,3	3,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0	2,1	14,3	4,4		
SLIPOT 5	7,0	29,3	65,0	15,4	69,0	90,7	107,0	9,8	3,0	3,1	4,0	0,3	-	-	-	-	2,2	2,3	2,8	0,2	2,0	3,4	5,0	1,0	0,0	0,8	10,3	2,5	0,0	2,4	12,2	3,2		
SLIPOT 7 OOS	7,0	13,2	16,0	3,7	76,0	84,6	95,0	6,9	3,0	3,0	3,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0	1,8	2,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0	0,0	4,8	15,0	6,5		
SLIPOT 7 WES	25,0	32,7	41,0	4,3	67,0	88,3	115,0	8,7	3,0	3,0	3,0	-	-	-	-	-	0,3	1,7	3,7	1,0	1,0	1,5	3,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,5	2,5	0,5		
SLIPOT 8 OOS	45,0	61,5	78,0	9,7	65,0	83,7	110,0	12,3	3,0	3,1	4,0	0,2	-	-	-	-	0,5	2,9	11,2	2,6	1,0	2,0	4,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0	0,0	1,8	11,4	2,5		
SLIPOT 8 WES	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
TOETSGBIED 1	8,0	18,0	28,0	-	76,0	84,0	93,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
TOETSGBIED 2	32,0	56,0	74,0	-	76,0	95,0	105,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
TOETSGBIED 3	26,0	39,0	51,0	-	78,0	85,0	92,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
RIVIER TERRAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HOOFUITGRAWING (NOORD)	1,0	31,0	50,0	14,0	71,0	91,2	114,0	9,0	2,0	3,4	5,0	0,6	0,1	0,3	0,4	0,2	0,0	0,1	0,7	0,2	1,0	1,0	2,0	0,1	0,0	1,6	20,0	4,1	0,0	0,6	6,2	1,1		
HOOFUITGRAWING (SUID)	1,0	30,2	50,0	14,4	70,0	89,3	113,0	10,3	2,0	2,9	4,0	0,3	0,1	3,0	6,0	4,2	0,0	0,3	6,0	1,1	1,0	1,0	1,0	-	0,0	1,2	21,0	3,6	0,0	1,2	6,0	1,5		
UITGRAWING 1	25,0	42,0	65,0	-	82,0	96,0	106,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

TABEL 45: DISKONTINUITEITSEIENSKAPPE VAN NAATSTEL B (VOLGENS EVKOM, 1983)

University of Pretoria, 2021

OPNAME LIGGING	HELLINGSRIGTING				HELLINGSHOEK				ROFHEID				HELLINGSLENGTE				STREKKINGSLENGTE				VULMATERIAAL DIKTE				GOLWINGSHOEK				SPASIERING				
	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA	MIN	GEM	MAKS	SA	
SLDOT 1	72,0	100,8	134,0	17,0	72,0	94,8	114,0	10,2	3,0	3,2	4,0	0,4	0,0	0,3	6,0	1,0	0,0	1,1	2,5	0,7	1,0	1,0	3,0	0,2	0,0	0,1	6,7	0,8	0,0	1,1	5,3	1,0	
SLDOT 2	96,0	105,3	115,0	4,3	60,0	87,7	115,0	14,5	2,0	3,0	4,0	0,3	-	-	-	-	0,5	1,8	3,4	1,5	2,0	2,3	5,0	0,8	0,0	0,4	17,1	2,5	0,0	1,2	7,5	1,7	
SLDOT 3 OOS	97,0	107,4	122,0	7,2	50,0	79,0	116,00	14,6	3,0	3,0	4,0	0,2	0,0	0,1	0,4	0,1	0,5	1,3	2,6	0,8	1,0	2,4	5,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0	0,0	1,4	7,7	1,8	
SLDOT 3 WES	93,0	105,5	125,0	7,6	50,0	81,9	112,0	14,8	3,0	3,2	5,0	0,5	0,0	0,1	0,8	0,1	0,1	1,8	3,3	1,0	1,0	2,3	5,0	0,8	0,0	0,2	18,4	1,8	0,0	0,5	7,3	1,0	
SLDOT 4	65,0	94,7	124,0	13,4	50,0	96,1	136,0	16,4	3,0	3,0	4,0	0,2	0,0	0,1	0,3	0,1	0,7	0,7	0,7	0	1,0	2,5	5,0	0,9	0,0	0,2	10,3	1,3	0,0	0,1	1,7	0,2	
SLDOT 5	81,0	97,7	107,0	6,1	71,0	95,0	111,0	8,7	3,0	3,0	4,0	0,2	-	-	-	-	0,3	2,5	4,6	3,0	1,0	2,3	4,0	0,7	0,0	0,2	10,3	1,6	0,0	1,0	10,3	1,7	
SLDOT 7 OOS	94,0	112,2	132,0	11,5	61,0	98,5	118,0	11,6	3,0	3,0	3,0	0	0,3	0,3	0,3	0	0,2	2,3	3,3	1,1	1,0	2,1	3,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0	0,0	2,3	12,2	2,7	
SLDOT 7 WES	81,0	90,2	123,0	10,9	66,0	84,2	118,0	14,5	3,0	3,0	3,0	0	-	-	-	-	0,8	2,3	3,0	1,3	1,0	2,0	3,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0	0,0	1,0	7,0	1,7	
SLDOT 8 OOS	97,0	106,0	115,0	5,4	35,0	60,9	75,0	13,3	3,0	3,0	3,0	0	-	-	-	-	0,8	2,3	3,0	1,3	1,0	2,0	3,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0	0,0	1,0	7,0	1,7	
SLDOT 8 WES	81,0	91,8	113,0	6,2	60,0	78,0	91,0	8,1	3,0	3,0	3,0	0	0,4	0,4	0,4	0	0,2	1,8	3,3	1,0	1,0	2,1	5,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,8	6,6	1,3	
TOETSGBIED 1	90,0	94,0	101,0	-	82,0	87,0	92,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOETSGBIED 2	90,0	111,0	124,0	-	44,0	54,0	105,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOETSGBIED 3	78,0	91,0	102,0	-	68,0	77,0	108,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RIPPIERTERRAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HOOFUITGRAAWING (NCORD)	125,0	136,7	147,0	6,8	76,0	103,6	124,0	9,8	2,0	3,6	5,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0	0,0	0,1	0,4	0,1	1,0	1,0	2,0	0,2	0,0	1,4	18,4	3,3	0,0	0,7	0,2	1,2	
HOOFUITGRAAWING (SUID)	125,0	135,4	146,0	6,4	75,0	104,0	124,0	9,6	2,0	3,0	4,0	0,3	0,1	1,8	6,4	3,1	0,0	0,2	6,5	0,9	1,0	1,0	1,0	0	0,0	2,5	11,3	3,7	0,0	1,8	14,1	2,9	
UITGRAAWING 1	92,0	107,0	128,0	-	57,0	71,0	88,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

TABEL 46: DISKONTINUITEIT EIENSKAPPE VAN AANTSTEL C₁ (VOLGENS EVKOM, 1983)

Digitized by the Department of Library Services of the University of Pretoria, 2021

5.1 LAAGVLAKKE EN TUSSENLAE

5.1.1 Oriëntasie

Helling - ongeveer 11° in 'n suid-oostelike rigting ($118^\circ - 178^\circ$)

5.1.2 Oppervlakruheid

Die oppervlakinhoudsgraad van diskontinuiteite is beskryf as:
glad, ru, baie ru en trapagtig.

Meeste van die laagvlak oppervlakke is ru tot baie ru.

5.1.3 Deurlopendheid

Die deurlopendheid langs hellings- en strekkingslengtes van laagvlakke is gemeet. Die gemiddelde deurlopendheid langs die strekkingsrigting wissel tussen 0,9 en 45,6 m, en langs die hellingsrigting tussen 0,5 en 4,5 m.

5.1.4 Golwing

Die golwing van die laagvlakke word bepaal deur die golfhoogte (amplitude) en die golflengte te meet. Die golwingshoek van laagvlakke varieer tussen 0° en 42°

5.1.5 Spasieëring

Laagvlakspasieëring wissel tussen 0,1 tot ongeveer 5,5 meter met 'n gemiddelde van ongeveer 0,5m.

5.1.6 Laagvulmateriaal en dikte

Laagvulmateriaal bestaan uit geelwit tot rooibruin, mikaryke materiaal wat soms kaoliniet bevat. Die dikte van die vulmateriaal wissel tussen 0 en 15 mm. Sommige laagvlakke is slegs gevlek.

5.2 NATE

By die Mvumaseterrein is buiten die laagvlakke, 5 stelle nate gemeet. Hulle word A, B, C₁, C₂, en D genoem. Die eienskappe van hierdie naatstelle word in Tabel 49 getoon is in paragraaf 5.2.1 opgesom.

5.2.1 Oriëntasie

Stel A: Helling ongeveer 82° in 'n rigting noord-noordwes (141° tot 167°)

Stel B: Helling ongeveer 88° in 'n rigting noordoos (10° tot 61°)

Stel C: Helling ongeveer 85° in 'n rigting oos-suidoos (90° tot 136°)

Stel C₂: Helling ongeveer 79° in 'n rigting noordwes (120° tot 144°)

Stel D: Helling ongeveer 87° in 'n rigting oos-noordoos (55° tot 95°)

By al vyf naatstelle is die helling baie steil waaruit afgelei kan word dat die nate as gevolg van skuifspanning ontstaan het, en

daar kan dus na die nate verwys word as skuifspanningsnate. Dit is in teenstelling met die laagvlakke wat baie vlak hel en waarskynlik as gevolg van swak binding op sekere laagvlakke en drukverligting veroorsaak word. Nate wat op laagvlakke ontstaan kan dus na verwys word as drukverligtingsnate. (trekspanningsnate of drukspanningsnate).

5.2.2 Oppervlakruheid

Die oppervlakruheid van naatstelle A en B is glad tot baie ru, die van C_1 glad tot ru en van C_2 en D ru tot baie ru.

5.2.3 Deurlopendheid

Die deurlopendheid langs hellings en strekkings van nate is gemeet. Die gemiddelde deurlopendheid van nate langs die hellings- en strekkingsrigtings is onderskeidelik soos volg: Naatstel A: 0,1 - 5,2m en 0,3 - 32; naatstel B: 0,1 - 3,0 en 0,3 - 2,9; naatstal C_1 : 0,1 - 1,8 en 0,1 - 2,5; naatstel C_2 : 0,1 - 1,8 en 0,1 - 1,9; naatstel D: 0,1 - 6,7 en 0,03 - 2,7m.

Die deurlopendheid van nate wissel dus grootliks en vir stabiliteits-analises behoort die grootste deurlopendheid vir enige spesifieke naatstel gebruik te word.

5.2.4 Golwing

Die gemiddelde golwingshoeke vir naatstelle A, B, C_1 , C_2 en D is onderskeidelik 1° ; 1° ; 1° ; $1,5^\circ$ en 2° . Golwing op nate word dus as gering beskou.

5.2.5 Spasieëring

Die gemiddelde spasieëring van naatstelle A tot D wissel tussen 1 en 2 meter wat as wyd geklassifiseer kan word.

5.2.6 Naatvulmateriaal en dikte

Die naatvuldiktes van die naatstelle A, B, C₁, C₂ en D wissel onderskeidelik tussen 0 en 14 mm, 0 en 20 mm, 0 en 10 mm, 0 en 25 mm en 0 en 15 mm. Oor die algemeen is die dikte kleiner as 5 mm vir al die stelle en dikwels is die naatoppervlakke slegs gevlek.

Uit tabel 49 is die dus duidelik dat (uitgesonder die hellingsrigting) die diskontinuiteitseienskappe van die nate byna eenvormig vir hierdie terrein is.

OPSOMMING

Detail diskontinuiteitsanalises is vir die Mvumasie terrein uitgevoer waar ses diskontinuiteitstelle aangetref word. Die laafvlakke hel ongeveer 10° na die suid-ooste en die hellings van die vyf naatstelle wissel tussen 79 en 88°. Dit gee die sandsteen 'n blokagtige voorkoms, waar die blok grootte deur die spasieëring van die diskontinuiteite bepaal word. Die eienskappe van die diskontinuiteite is baie soortgelyk en word soos volg opgesom:

- (a) Oppervlakruheid: glad tot baie ru,
- (b) Deurlopendheid: 0,1 - 32,0 meter,
- (c) Galering: 1°- 2°,
- (d) Spasieëring 1-2 meter en
- (e) vulmateriaal: sliestein
- (f) dikte 0 - 25 mm.

NAATSTEL NR.	ORIENTASIE		OPPERVLAK ROFHEID	DEURLOPEND- HEID	GOLWING (GRADE)	SPASIERING (M)	NAATVULDIKTE (MM)
	HELLINGSRIGTING	HELLING					
A	NNW	82°	GLAD TOT BAIE GROF	VERWAND AAN GELAAGDHEID	0 - 10 GEM: 1°	0 - 21 GEM: 1,	0 - 14 GEWOONLIK: 5
B	NO	88°	GLAD TOT BAIE GROF	VERWAND AAN GELAAGDHEID	0° - 21° GEM: 1°	0 - 15 GEM: 2,0	0 - 20 GEWOONLIK: 5
C ₁	OSO	85°	BAIE GLAD TOT GROF	VERWAND AAN GELAAGDHEID	0° - 18° GEM: 1°	0 - 14 GEM: 1	0 - 10 GEWOONLIK: 5
C ₂	NW	79°	GROF TOT BAIE GROF	VERWAND AAN GELAAGDHEID	0° - 20° GEM: 1,5°	0 - 14 GEM: 1,5	0 - 25 GEWOONLIK: 5
D	ONO	87°	GROF TOT BAIE GROF	VERWAND AAN GELAAGDHEID	0° - 14° GEM: 2°	0 - 15 GEM: 2	0 - 15 GEWOONLIK: 5

TABEL 49

OPSOMMING VAN DISKONTINUITEITSEIENSKAPPE VAN NAATSELLE A, B, C₁, C₂ en D

HOOFSTUK 6. ROTSMASSA-EIENSKAPPE

6.1 ALGEMENE BESKRYWING

Rotsmassas word gewoonlik beskryf in terme van 'n aantal parameters om 'n driedimensionele beskrywing daarvan te probeer gee. So byvoorbeeld gebruik Bieniawski (1973) die volgende ses parameters, nl.:

(i) die eenassige druksterkte van die rotsmateriaal, (ii) die rots kwaliteitswaarde (RKW), (iii) naatspasieëring, (iv) die naattoestand, (v) die naatoriëntasie en (vi) die grondwatertoestand. Barton, et al (1974) maak gebruik van (i) die RKW (ii) aantal naatstelle, (iii) die naat oppervlakruheid, (iv) skuifsterkte van die naat, (v) naatwatertoestand en (vi) die spanning in die rots. Hy reduceer hierdie eienskappe na blok grootte, tussenblok skuifsterkte en aktiewe spanning. Hieruit is dit dus duidelik dat nate en die toestand daarvan baie belangrike eienskappe van 'n rotsmassa uitmaak. Rotsmassaklassifikasies word dikwels uitgevoer op boorkerne van eksplorasiëboorgate maar dit is veel beter om dit in toetsuitgrawings of toetstonnels uit te voer.

In kernboorwerk en grondprofiele van die Natalsandsteen is gevind dat die profiel gewoonlik uit 'n relatief dun horison vervoerde materiaal, gevolg deur nog 'n dun horison totaal verweerde residuele materiaal bestaan wat 'n skerp kontak met die bodemrots besit. Die vervoerde materiaal is gewoonlik kolluvium of alluvium en word verder in hoofstuk 7 bespreek. In situ verweerde residuele materiaal is sanderig en bestaan uit totaal verweerde sandsteen. Kernsteenvorming is nie 'n eienskap van sandsteen van die Natal Groep nie maar dit gebeur tog dat verwerking langs laagvlakke plaasvind en 'n kernsteen verweringspatroon in die boorkerne bespeur word.

6.2 VERVORMINGSEIENSKAPPE

'n Studie van die vervormingseienskappe van rotsmassas van die Natalsandsteen (Eshowe, Mkunya en Mlazi Formasies) is by die voorgestelde Mmamase pompopgaarskema in die Tugelarivier deur Steffen, Robertson en Kirsten, en die NNIMI, van die WNNR. (EVKOM, 1983) uitgevoer. Die vervormingseienskappe van die Natalsandsteen rotsmassa is bepaal deur bo- en ondergrondse plaatbelastingstoetse, Goodman domkragtoetse in boorgate en deur die vervorming van uitgrawings (tonnels) wat in sandsteen gebou is, te meet.

6.2.1 Plaatbelastingstoetse

(a) Bopgrondse toetse

Twee grootskaalse (1,5m² ronde belastingsoppervlakke) plaatbelastingstoetse is op sandsteen van die Eshowe Formasie, baie na aan die kontak met die onderliggende graniet uitgevoer. Die rotsmassa wat getoets is, is dig genaai, baie grofkorrelrig (konglo-meraat) en het gewissel tussen onverweer aan die oppervlak tot totaal en hoogsverweer aan die kontak met die graniet. 'n Maksimum spanning van 7 MPa is op die toetsoppervlak toegepas. Tabel 50 toon die resultate wat verkry is (EVKOM, (1983) en Mashek, (1983)) Slegs resultate van die laaste belastingsiklus word gegee, aangesien die ander soortgelyk was.

Toets Nr (GPa)	Rotstipe	Verwering	Diepte (m)	Modulus
1	Sandsteen	Matig	1,04 - 1,98	1,2
	Graniet	Matig	1,98 - 2,40	0,30
2	Sandsteen	Hoogs tot totaal	0,75 - 1,50	0,51
	Sandsteen	Hoogs tot totaal	1,50 - 2,25	0,35
	Sandsteen	Hoogs tot totaal	2,25 - 3,05	0,28
	Sandsteen	Hoogs tot totaal	3,05 - 4,00	0,23

Tabel 50: Opsomming van resultate van bogrondse
 plaatbelastingstoetse (Merten, 1982)

(b) Ondergrondse toetse

Ondergrondse plaatbelastingstoetse is by vier posisies in die eksplorasië- tonnel by Mvumase uitgevoer om die vervormingseienskappe van die sandsteen te bepaal. Die belastingtoerusting wat gebruik is kan 'n eweredig verspreide spanning van 9 MPa oor 'n ronde oppervlak van 0,5m² toepas.

Die toetshokkies van 2 x 2 x 10 meter is ondergronds voorberei om vervormingstoetse daarin uit te voer. Vier toetse is uitgevoer met 'n maksimum toegepaste spanning van 7,5 MPa. Vervorming is deur middel van 'n staafekstensiometer in 'n boorgat deur die middel van die toetsplaat gemeet. Die resultate word in tabel 51 opgesom. Die resultate van die toetse varieër tussen 10 en 28 GPa vir onverweerde sandsteen.

Toets nr	Rigting	Posisie	Verwering	Diepte (m)	Modulus (GPa)
1A	Vertikaal	Hokkie 1	Onverweerd	0,45 - 5,3	10 - 13
		Dak	Onverweerd	0,8 - 5,3	12 - 16
1B	Vertikaal	Hokkie 1	Onverweerd	0,45 - 5,3	17 - 22
		Vloer	Onverweerd	0,8 - 5,3	17 - 18
2A	Horisontaal	Hokkie 2	Onverweerd	0,7 - 5,4	22,0
		N - S Noord	Onverweerd	1,4 - 5,4	28,0
2B	Horisontaal	Hokkie 2	Onverweerd	0,7 - 5,4	24,0
		N - S Suid	Onverweerd	1,4 - 5,4	23,0
3A	Vertikaal	Hokkie 2	Onverweerd	0,45 - 5,3	14,0
		Dak	Onverweerd	-	-
3B	Vertikaal	Hokkie 2	Onverweerd	0,45 - 5,3	22-26
		Vloer	Onverweerd	0,8 - 5,3	
4A	Horisontaal	Hokkie 3	Onverweerd	0,55 - 5,4	-
		O - W Oos	Onverweerd	0,9 - 5,4	12,0
4B	Horisontaal	Hokkie 3	Onverweerd	0,5 - 5,35	21-26
		O - W Wes	Onverweerd	0,85 - 5,35	21-26

Tabel 51: Opsomming van resultate van ondergrondse plaatbelasting-toetse. (EVKOM, 1983))

6.2.2 Goodman domkragtoetse

Goodman domkragtoetse is deur die Afdeling Geomeganika, NNIMI van die WNNR vir die Departement Waterwese by die Mvumasedanterrein uitgevoer. Hierdie toetse is in boorgate 1008, 4006, 4008 en WNNR 1 uitgevoer. Die resultate word in Tabel 52 opgesom.

Boorgat Nr	Diepte (m)	Verwerings- Graad	Modulus (GPa)	Evaluasie
	15,0	Onverweerd	25	Baie hoog
1008	18 - 21,5	Onverweerd	10 - 16	Hoog
4006	6 - 11,8	Onverweerd	8,1 - 15,5	Hoog
	8,0 - 9,7	Onverweerd	22 - 23	Baie hoog
4008	7,0 - 21	Onverweerd		
		Matig verweerd	2,6 - 4,8	Laag
W.N.N.R.1	3,2 - 15,0	Effens verweerd	4,6 - 10,8	Gemiddeld
	13,0	Matig verweerd	3,2 - 4,8	Laag

Tabel 52 Opsomming van resultate van Goodman domkragtoetse. (EVKOM, 1983)

Uit die resultate is dit duidelik dat die vervormingsmodulus deur die verweringsgraad van die sandsteen beïnvloed word.

6.2.3 Vervormingsmetings in uitgrawings

Resultate van spanningsmetings en vervormingsmetings in ondergrondse uitgrawings (tonnels) is in tru-analise (Eng. back analysis) gebruik om die vervormingsmodulus van die rotsmassa in die omgewing van die uitgrawing by die Mvumaseterrein te probeer bepaal. Hierdie metode word dikwels uitgevoer deur gebruik te maak van die twee-dimensionele eindige element metode, waaruit die totale geïnduseerde verplasing as gevolg van die uitgrawing verkry kan word. In die praktyk is dit

egter nie moontlik om stasies nader as 1 meter agter die front te installeer nie. Dit beteken dat verplasing reeds plaasvind voordat instrumente geïnstalleer kan word. Die verplasing wat gemeet word verteenwoordig dus slegs 'n gedeelte van die totale geïnduseerde verplasing.

Die gemiddelde moduli vir die onverweerde rotsmassa is bereken as 3,0 GPa, in 'n vertikale rigting en 9,6 GPa in 'n horisontale rigting. (EVKOM, (1983)).

Opsomming van resultate

Tabel 53 toon die moduli van rotsmassa teenoor die graad van verwerking aan. 'n Redelike korrelasie bestaan tussen die modulus van die rotsmateriaal en dié van die rotsmassa - Tabel 53.

6.3 STABILITEIT

6.3.1 Algemeen

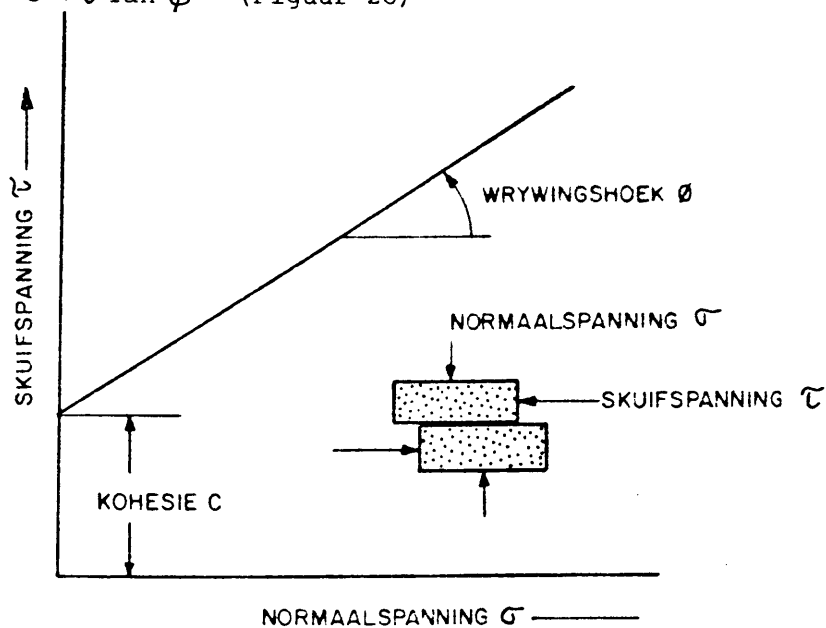
Die gedrag van rotsmassas word deur diskontinuiteite beïnvloed en vir die analisering van die stabiliteit daarvan kan dit dus nie soos grond of opvullings as 'n kontinuum beskou word nie. Swigting van hellings in rotsmassas behels gewoonlik beweging langs 'n diskontinuiteit of 'n kombinasie van diskontinuiteite in die rotsmassa. Die oriëntasie, naattoestand, golwing, naatvulmateriaal en dikte asook die teenwoordigheid van water, is belangrike parameters by die bepaling van die stabiliteit van 'n uitgraving in 'n rotsmassa. Diskontinuiteite kan in die veld gemeet en op 'n stereografiese projeksie voorgestel word.

GRAAD VAN VERWERING	MODULUS VAN ROTSMATERIAAL (GPa)	MODULUS VAN ROTSMASSA (GPa)		
		PLAATBELASTINGSTOETS	GOODMANDOMKRAGTOETS	TRU-ANALISE
ONVERWEERD	13,5	10,0 - 28,0	8,1 - 25,0	3,0 - 9,0
EFFENSVERWEERD	9,6	-	4,6 - 10,8	-
MATIGVERWEERD	4,6	0,30 - 1,20	3,2 - 4,8	-
HOOGSVERWEERD	-	0,23 - 0,51	-	-

TABEL 53 VERHOUDING TUSSEN DIE MODULUS VAN DIE ROTS TEENOR DIE GRAAD VAN VERWERING (VOLGENS EVKOM (1983)
EN MOUTON (1982))

Skuifsterkte word deur die volgende formule uitgedruk (sien par. 4.1.3):

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (\text{Figuur 26})$$



Figuur 26: Verwantskap tussen die skuifspanning en die normaalspanning wat daarop inwerk. (Hoek en Bray, 1977).

6.3.2 Skuifsterkte van nate

Skuifsterkte vir laagvlak diskontinuiteite in die Natalsandsteen (bespreek in hoofstuk 5) is by die Mvumaseterrein bepaal. Resultate word in Tabel 54 getoon. Die minimum en maksimum piekskuifsterktes is 0,83 MPa en 1,19 MPa onderskeidelik onder 'n normaalspanning van 1 MPa. Die resultate toon 'n toename van 16 persent in die piek skuifsterkte met diepte (ongeveer 60 m) teenoor toetse op die oppervlak. Hierdie toename word toegeskryf aan minder verwerking en veranderinge aan die diskontinuiteitoppervlakke (EVKOM, 1983).

Die kohesie en interne wrywingshoek van laagvlakke wat sliksteen materiaal bevat is onderskeidelik 1,4 MPa en tussen die 24° en 27° (EVKOM, 1983).

PIEKSKUIFSTERKTE (MPa)				
DISKONTINUITEIT STEL	ONDERGRONDS		BOGRONDS	
	GEMIDDELDE	AANTAL TOETSE	GEMIDDELDE	AANTAL TOETSE
A	1,19	33	1,01	27
B	1,03	17	0,91	19
C ₁	0,99	36	0,84	24
C ₂	1,11	14	0,83	16
D	1,06	43	0,94	21
GELAAGDHEID	1,08	16	0,89	49

TABEL 54: OPSOMMING VAN PIEK SKUIFSTERKTES VIR DISKONTINUITEITSOPPERVLAK BY 1,0MPa NORMAALSPANNING (EVKOM, 1983).

6.4 DEURLATENDHEID

Primêre deurlatendheid van al die sandsteentipes is baie laag en kan vir die doel van rotsmassadeurlatendheid as weglaatbaar klein beskou word. Beweging van grondwater is dus sekondêr deur nate en verskuiwings. Resultate van waterdruktoetse, wat by beide die Mvumase- en Sunburyterreine uitgevoer is, is gebruik om die deurlatendheid van die rotsmassa van die verskillende formasies van die Natalsandsteen te probeer bepaal (EVKOM, Geertsema, 1983). By die Mvumaseterrein is deurlatendheidstoetse in rotsmassas van die Eshowe, Mkunya en Mlazi Formasies uitgevoer, terwyl die deurlatendheid van die Inanda Formasie by die Sunburyterrein bepaal is.

Tabel 55 is 'n opsomming van waterdruktoetsresultate wat in boorgat 1407 uitgevoer is. Die boorgat is deur sandsteen van die Eshowe, Mkunya en Mlazi Formasies geboor. Die deurlatendheid van die rotsmassa wissel onderskeidelik tussen $0 - 9,89 \times 10^{-5}$ cm/sek, 0 cm/sek en $0 - 7,67 \times 10^{-3}$ cm/sek.

Toetsgedeelte (m)	Lugeon waarde	Deurlatendheids- koeffisiënt (m/sek)	Formasie
0,0 - 3,5	-	-	
4,0 - 7,0	347	$6,43 \times 10^{-5}$	
7,0 - 10,0	867	$1,61 \times 10^{-4}$	
10,0 - 13,0	413	$7,67 \times 10^{-5}$	
13,0 - 16,0	0	0	
16,0 - 19,0	2	$3,87 \times 10^{-7}$	
19,0 - 22,0	0	0	
22,0 - 25,0	0	0	
25,0 - 28,0	12	$2,29 \times 10^{-6}$	Mlazi
28,0 - 31,0	3	$4,95 \times 10^{-7}$	
31,0 - 34,0	6	$1,19 \times 10^{-6}$	

Toetsgedeelte	Lugeon waarde	Deurlatendheids-	
Formasie (m)		koeffisiënt (m/sek)	
34,0 - 37,0	1	$2,47 \times 10^{-7}$	
37,0 - 40,0	0	0	
40,0 - 43,0	9	$1,73 \times 10^{-6}$	
43,0 - 46,0	3	$5,26 \times 10^{-7}$	
46,0 - 49,0	140	$2,59 \times 10^{-5}$	
49,0 - 52,0	70	$1,29 \times 10^{-5}$	
52,0 - 55,0	5	$9,28 \times 10^{-7}$	
55,0 - 58,0	0		
58,0 - 61,0	0		
61,0 - 64,0	0	Mkunya	
64,0 - 67,0	0		
67,0 - 70,0	0		
70,0 - 73,0	5	$8,66 \times 10^{-7}$	
73,0 - 76,0	5	$9,89 \times 10^{-7}$	
76,0 - 91,0	0		
91,0 - 94,0	0,67	$1,24 \times 10^{-7}$	
94,0 - 97,0	0,67	$1,24 \times 10^{-7}$	
97,0 - 124,0	0	0	
124,0 - 127,0	0,33	$6,19 \times 10^{-8}$	
127,0 - 142,4	0	0	Kompleks Mapumulo (Graniet)

Tabel 55: Resultate van waterdruktoetse in boorgat 1407 (Mvumase) wat die deurlatendheid van die Eshowe, Mkunya en Mlazi.

Figuur 27 is 'n skematiese voorstelling van boorgate in die Inanda Formasie (Sunburyterrein) wat die resultate van waterdruktoetse aantoon. Die syfer toon die lugeoneenheid aan terwyl die letters A - E die watervloei patroon aandui. 'n Lugeon word gedefinieer (Houlsby, 1976) as die hoeveelheid water in liter verloor, per minuut, per meter lengte van die boorgat onder 'n waterdruk van 1 Megapascal. 'n Benaderde omskakelingsfaktor na deurlatendheid (k) is: 1 lugeon = $1,2 \times 10^{-5}$ cm/sek. (Houlsby, 1977) Watervloei-patrone word soos volg aangedui:

- A Laminêre vloei
- B Turbulente vloei
- C Oopdrukking
- D Uitwassing
- E Holte vulning

Uit Figuur 27 en Tabel 55 kan twee gevolgtrekkings gemaak word, nl.

- (a) die boonste sone (waar verwerking plaasgevind het) is deurgaans hoogs deurlatend, en
- (b) die deurlatendheid van die rotsmassa is afhanklik van die toestand van nate in die rotsmassa, byvoorbeeld, Boorgat 1011 (Fig. 27). Tussen twee 3 m sones waarin geen waterverlies voorgekom het, is 'n 3 m sone waar die verlies 56,4 lugeonëenhede ($5,6 \times 10^{-4}$ cm/sek) was.

6.5 SKEURPLOEGBAARHEID (Eng. Rippability)

Die skeurploegbaarheid van 'n rotsmassa word volgens Weaver (1975) deur ses geologiese faktore beïnvloed, nl. (i) die rotstipe, (ii) seismiese golfsnelheid, (iii) rotshardheid, (iv) verwerking, (v) struktuur en (vi) maaksel. Tabel 56 is 'n aanslagtabel wat gebruik kan word om skeurploegbaarheid van 'n rotsmassa te bepaal.

Digitised by the Department of Library Services in support of open access to information, University of Pretoria, 2021

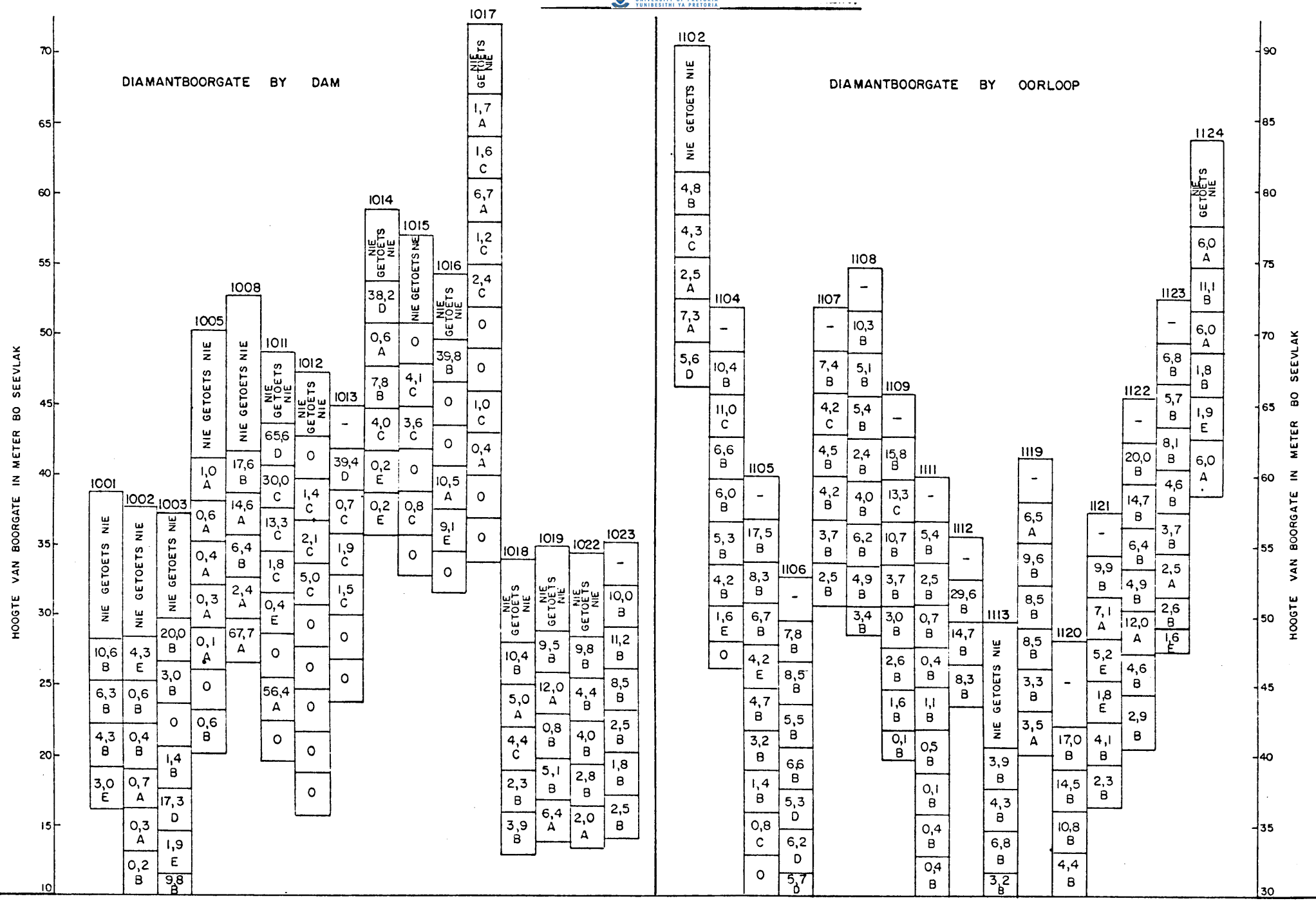


FIG. 27 : SKEMATIESE VOORSTELLING VAN BOORGATE IN DIE INANDA FORMASIE (SUNBURY) WAT DIE WATERVERLIES IN LUGEONEENHEDE TOON.

Skeurploegbaarheid van sandsteen van die Natal Groep is, met verskeie metodes bepaal vir die uitgraving van snitte vir die Nasionale Roete 3, seksies 1 en 2. (Drennan, et al, 1981 en NVK (1982). 'n Klassifikasie van sag, intermediêr en hard word gebruik.

Die metodes wat gebruik is, is soos volg:

(a) Puntlasindeks.

Metode	Klassifikasie		
	Sag	Intermediêr	Hard
Puntlasindeks	0	0 - 2	>2

Rotsmassaklas	I	II	III	IV	V
BEKRYWING	BAIE GOEIE ROTS	GOEIE ROTS	REDELIKE ROTS	SWAK ROTS	BAIE SWAK ROTS
Seismiese snelheid	2150 m/s	2150 - 1850 m/s	1850 - 1500 m/s	1500 - 1200 m/s	1200 - 450 m/s
AANSLAG	26	24	20	12	5
Rotshardheid	Uitermate Hard	Baie Hard	Hard	Sag	Baie Sag
AANSLAG	10	5	2	1	0
Verwering	Onverweerd	Effens	Matig	Hoogs	Residuele Rots
AANSLAG	9	7	5	3	1
Maatspasiëring	3 m	3 - 1 m	1 - 0,3 m	0,3 - 0,5 m	0,05 m
AANSLAG	30	25	20	10	5
Maatdeur- opend	Nie-deur- lopend	Effens deurlopend	Deurlopend Geen vulmat.	Deurlopend met vulmat.	Deurlopend met vulmat.
AANSLAG	5	5	3	0	0
Maatvulmate- iaal dikte	0	1	1 mm	5 mm	5 mm
AANSLAG	5	4	3	2	1
Maatoriëntasie	Baie ongun- stig	Ongunstig	Effens ongunstig	Gunstig	Baie gunstig
AANSLAG	15	13	10	5	2
OTALE AANSLAG	100 - 90	90 - 70	70 - 50	50 - 25	25
Skeurploegbaar- heids bepaling	Skietwerk	Uitermatig hard Skeurploegbaar en skietwerk	Baie hard	Hard	Maklik skeur- ploegbaar

Abel 56: Skeurploegbaarheidsklassifikasie van genate rotsmassa (Weaver, (1975))

(b) Awegaarboorwerkverrigting

Die werkverrigting van 'n awegaarboor is geneem as 'n aanduiding van uitgraafbaarheid. Weiering van die awegaarboor is geneem as halfpad in die intermediêre materiaal.

(c) Hammerseismiese opnames

Hierdie metode is by uitstek gebruik om die uitgraafbaarheid van sandsteen te bepaal. Parameters word in tabel 57 gegee

Massiewe rots

Klassifikasie	Sag	Intermediêr	Hard
Seismiese snelhede (m/sek)	0 - 900	900 - 1700	>1700

Gebroke rots

Klassifikasie	Sag	Intermediêr	Hard
Seismiese snelheid (m/sek)	0 - 800	800 - 1200	>1200

Tabel 57: Seismiese snelhede van rotsmassaklasse (N.V.K, 1982)

(d) Skeurploegbaarheidskaart (Weaver, 1975)

'n Klassifikasie is vir vier sandsteentipes uitgevoer en die resultate in Tabel 58 uiteengesit (NVK, 1982)

Sandsteentipe	Skeurploegbaarheidsaanslag
Fynkorrelrige sandsteen	Hard
Grofkorrelrige sandsteen	Hard - Baie hard
Kwartsiet	Baie hard - Skiet
Skalie	Sag

Tabel 58: Skeurploegbaarheidsaanslag van sandsteentipes van die Natalsandsteen (Drennan, et al, 1981).

'n Bepaling van die skeurploegbaarheid van sandsteen van die Natal Groep is vir sewe snitte van die Nasionale Roete 3 seksies 1 en 2 gedoen. Resultate word in tabel 59 uiteengesit. Die uitgrawingspesifikasie van die Nasionale Vervoerkommissie is soos volg:

SNITNOMMER	LENGTE (M)	DIEPTE (MAKS) (M)	SKEURPLOEGBAARHEID (PERSENTASIE)		
			SAG	INTERMEDIER	HARD
1	515	50	30	26	44
2	240	18	61,5	25,5	13
3	200	13	88	12	0
4	330	15	79	20	1
5	215	12	90	10	0
6	350	11	80	10	10
7	460	24	42	23	35

TABEL 59: SKEURPLOEGBAARHEID VAN SANDSTEEN ROTSMASSAS IN SEWE SNITTE OP DIE NASIONALE ROETE 3, SEKSIE 1 en 2 (NVK, 1982)

Materiaal

Sagtemateriaal: Materiaal wat effektief verwyder kan word deur:

1. 'n Stootskraper met massa 22 ton en vliegwiellkrag van 145 kw.
2. 'n Trekskraper met massa 28 ton en vliegwiellkrag van 245 kw gestoot deur 'n stootskraper met massa 35 ton en vliegwiellkrag van 220 kw.
3. 'n Voorlaaier met massa 22 ton en vliegwiellkrag van 140 kw.

Intermediêre materiaal: Materiaal wat effektief geskeur kan word

met 'n stootskraper met massa 35 ton en vliegwiellkrag van 220 kw.

Harde materiaal: Materiaal wat nie effektief met 'n stootskraper met massa 35 ton en vliegwiellkrag van 220 kw geskeur kan word nie.

OPSOMMING:

- (a) Die vervormingsmodulus (E) van hoogs tot totaal verweerde sandsteenrotsmassas wissel tussen 0,23 en 0,51 GPa, die vir matig verweerde sandsteen is 1,26 Pa, die vir effens verweerde sandsteen is tussen 4,6 en 10,8 GPa en die vir onverweerde sandsteen is tussen 8,1 en 23,0 GPa. Oor die algemeen is die elastisiteitsmodulus van die effens verweerde en onverweerde sandsteen dus hoog.
- (b) Die direkte skuifsterkte van gesaagde diskoontinuiteitsvlakke in die sandsteen is bepaal as ongeveer 1,0 MPa onder 'n normaalspanning van 1 MPa. Die kohesie en interne wrywingshoek van laagvlakke wat slijksteen vulmateriaal bevat is onderskeidelik 1,4 MPa en tussen 24° en 27° .

Die wrywingshoek kan as laag beskou word en dit kan aanvaar word dat ander naatstelle wát nie hierdie soort vulmateriaal bevat nie heelwat hoër waarde sal toon. Die waarde vir die kohesie is hoog.

- (c) Die primêre deurlatendheid van die sandsteen is baie laag sodat beweging van grondwater deur nate en verskuiwings plaasvind, met ander woorde sekondêr. Die sekondêre deurlatendheid kan van nul tot baie hoog ($k=+7 \times 10^{-3}$ cm/sek) wissel.
- (d) Skeurploegbaarheid van die Natal sandsteen is hoofsaaklik 'n funksie van verwerking en naatspasiëring. Sagte en intermidiêre materiaal kan met 'n stootskraper verwyder word terwyl harde materiaal met behulp van skietwerk verwyder moet word.

HOOFSTUK 7. EIENSKAPPE VAN RESIDUELE MATERIALE

Die vyf grade van verwerking wat gewoonlik vir die beskrywing van rots gebruik word is die volgende, nl. onverweer, effens verweer, matig verweer, hoogs verweer en totaal verweer. Residuele materiale word gedefinieer as materiaal wat gevorm het deur in situ ontbinding (chemies) of disintegrasie (fisiese verwerking) van rots en waarvan die eenassige druksterkte van die materiaal minder as 700 kPa is. (Jennings, et al, 1973). Hierdie definisie sluit alle totaal verweerde materiaal asook 'n gedeelte van die hoogs verweerde materiaal van die Natalsandsteen in.

7.1 GRONDPROFILERING

Grondprofilering, met ander woorde die beskrywing van verskillende materiale soos dit in 'n toetsgat blootgestel is, is beskryf volgens die metode van Jennings et al (1973). Die parameters wat gebruik word is die voggehalte, kleur, stewigheid, struktuur, grondsoort en oorsprong. Volgens hierdie beskrywing van die materiale in die grondprofiel kan belangrike afleidings gemaak word omtrent die dra vermoë en skuifsterkte van die fondamentmateriale asook die geskiktheid daarvan as konstruksiemateriaal. Tabel 60 toon verteenwoordigende resultate van grondprofiel in die Natalsandsteen.

Residuele sandsteen word gewoonlik deur sowat 0,1 tot 1,0 m vervoerde materiaal bedek. Die dikte van die residuele verweerde materiaal is gewoonlik tussen 1,0 en 4,0 meter en die oorgangsones tussen die residuele totaal verweerde materiaal en die bodemrots is baie skerp. 'n Rolsteenmerkerlaag word selde aangetref.

DIEPTE (mm)	BESKRYWING					
	VOEGEHALTE	KLEUR	STEWIGHEID	STRUKTUUR	GRONDSOORT	OORSPRONG
300	Droog	Donkerbruin Donkergrys	Los	Intak	Slikkige Sand	Vervoer
700	Effens Vogtig	Donkergrys Donkergeel	Sag	Intak	Sanderige Klei	Vervoer
1500	Effens Vogtig	Donkergrys Donkergeel Oranje Donkerrooi	Sag	Intak	Sanderige Klei	Residueel
3500	Effens Vogtig Trugraver	Dof Rooi Donkergeel Donkerolyf Donkergeel Oranje Weier	Medium Dig Dig Baie Dig	Intak	Sandsteen	Residueel

DIEPTE (mm)	BESKRYWING					
	VOEGEHALTE	KLEUR	STEWIGHEID	STRUKTUUR	GRONDSOORT	OORSPRONG
600	Effens Vogtig	Donkerbruin	Los	Intak	Slikkige Sand	Vervoer
1400	Vogtig	Donkergeel Donkerbruin Donkerrooi Donkeroranje	Sag	Intak	Sanderige Klei	Residueel
2400	Effens Vogtig	Dofrooi Ligrooi	Medium Dig Dig	Intak	Sandsteen	Residueel
	Trugraver	Weier				

TABEL 60: VERTEENWOORDIGENDE GRONDPROFIELE IN DIE GROEP NATALSANDSTEEN IN DIE OMGEWING VAN KEY RIDGE (DRENNAN ET AL, 1980).

7.2 GRADERING

Die gradering of bepaling van korrelgrootte-verspreiding van 'n grond word deur sif- en hidrometeranalises uitgevoer. Vir die sifanalise word 'n grondmonster deur 'n stel siwe van verskillende standaardgroottes geskei. Die grootte van die deeltjies kleiner as 0,075 mm word deur middel van 'n hidrometeranalise bepaal.

Figuur 28 toon die minimum en maksimum korrelgrootte-verspreiding van residuele sandsteen aan.

Die materiaal is goed gegradeer (swak gesorteer) en die korrelgrootteverspreiding wissel tussen 0 en 28 persent klei, 2 en 40 persent slied, 66 en 100 persent sand en tot 17 persent gruis.

7.3 ATTERBERGGRENSE

Toetse om die Atterberggrense van grondmateriale te bepaal word uitgevoer om die effek van voggehalte op die stewigheid van fynkorrelrige gronde te bepaal (Van Schalkwyk, 1980).

Die vloeigrens (VG) word gedefinieer as daardie voggehalte waarby grond 'n sekere minimum skuifsterkte bereik. By hierdie skuifsterkte vloei 'n groef van standaardgrootte in 'n grondmonster toe nadat die monster 25 keer in 'n standaardhouer op 'n rubberbasis getik is.

Die plastisiteitsgrens (PG) is die voggehalte waarby 'n grondmonster begin kraak en breek wanneer dit met die hand in rolletjies van sowat 3 mm in deursnee gerol word.

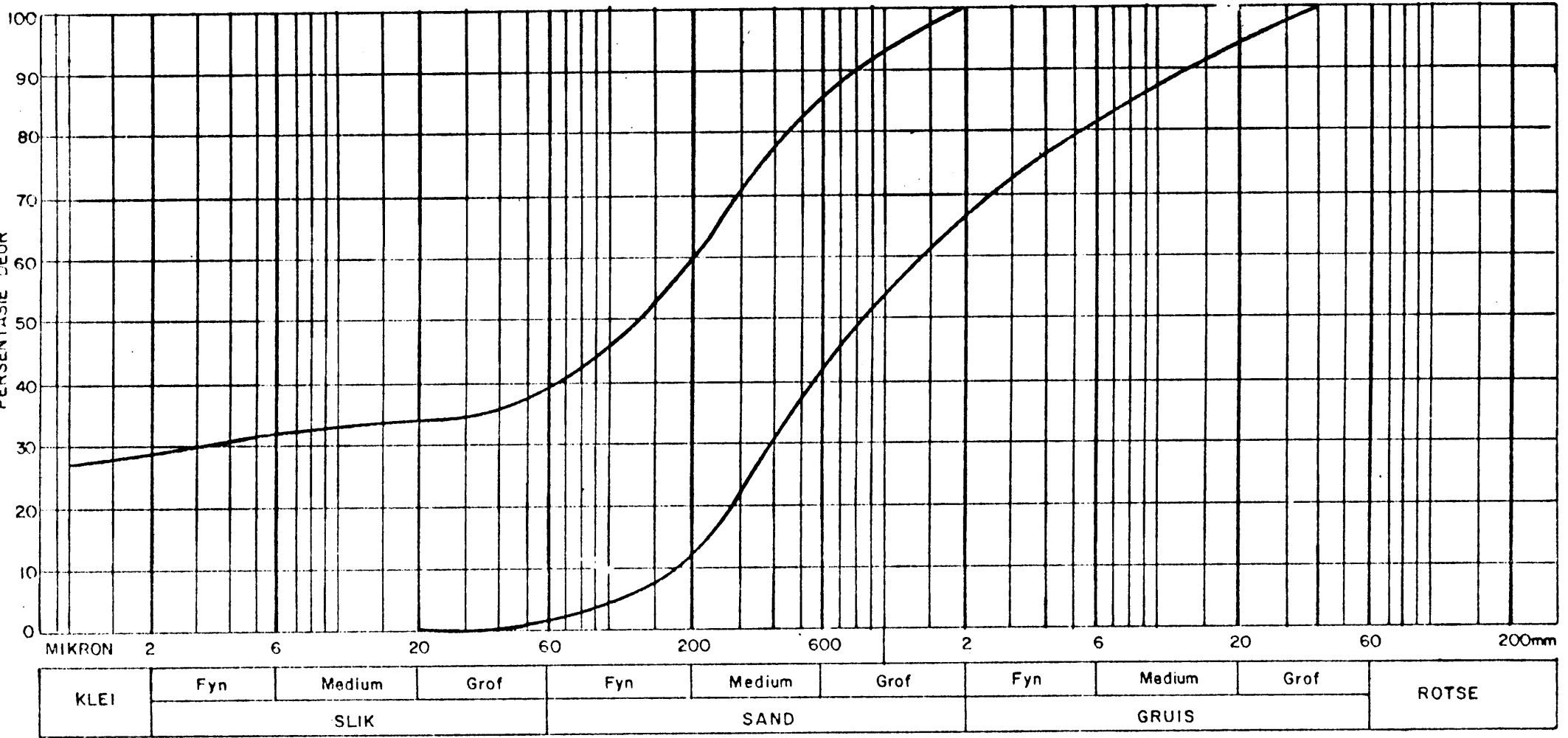


FIG. 28 : KORRELGROOTTE VERSPREIDING VAN RESIDUELE SANDSTEEN .

Die krimprens (KG) is die voggehalte waarby die monster nie verder van volume verander nie en nie meer versadig is nie. Dit kan bepaal word deur 'n grondmonster stadig droog te maak en die voggehalte daarvan te bepaal wanneer dit van kleur verander.

Die plastisiteitsindeks (PI) kan bepaal word deur die plastisiteitsgrens van die vloeigrens af te trek.

$$PI = VG - PG$$

Voggehalte speel 'n belangrike rol by die fisiese eienskappe van die materiaal en word bereken deur die massa water in die monster te deel deur die massa soliede korrels van die monster.

'n Opsomming van die Atterberggrense, natuurlike voggehalte en die plastisiteitsindeks van verteenwoordigende verweerde sandsteenmonsters word in Tabel 61 aangetoon.

Indien die vloeigrens en plastisiteitsindeks van die monsters op die Cassagrande grafiek geteken word val al die punte bo die "A" lyn en word die grond, volgens die Unifieldstelsel, (US Bureau of Reclination, 1960) as CL geklassifiseer, met ander woorde: anorganiese kleie met lae of min plastisiteit, gruishoudende-, sande- rige- of slikkerige kleie met deurlatendheidskoeffisiënt $(k) = 10^{-9}$ tot 10^{-11} meter per sekonde. (Cassagrande (1948)).

7.4 VOGGEHALTE-DIGTHEIDSVERHOUDING

Die voggehalte-digtheidsverhouding is vir 'n aantal versteurde grondmonsters van die Natalsandsteen bepaal en die gewysigde AASHTO digthede en optimum voggehalte bepaal. Resultate word in Tabel 62 uiteengesit.

VLOEIGRENS			PLASTISITEITS INDEKS			KRIMPGRENS			LINIERE KRIMPING			NATUURLIKE VOGGEHALTE		
MIN.	MAKS.	GEM.	MIN.	MAKS.	GEM.	MIN.	MAKS.	GEM.	MIN.	MAKS.	GEM.	MIN.	MAKS.	GEM.
<u>SANDSTEEN</u>														
21	35	27,1	6	15	10,7	0,12	1,27	0,44	0,7	5,6	2,7	1,8	29,9	16,0
<u>SLIKSTEEN</u>														
21	46	32,9	6	17	11,6	0,07	1,44	0,54	2	8	4,9	9,7	22,6	15,9

TABEL 61: OPSOMMING VAN ATTERBERGGRENSSE, PLASTISITEITINDEKS, LINIERE KRIMPING EN NATUURLIKE VOGGEHALTE IN DIE OMGEWING. VAN KEY RIDGE (DRENNAN ET AL, 1980).

MAKS. DIGTHEID Kg/m ³	1892	1969	2002	1994	2021	1992	1873	1928	1902
OPTIMUM VOGGEHALTE %	11,7	7,0	8,4	8,2	10,5	10,8	12,9	8,2	7,2

TABEL 62: MAKSIMUM DIGTHEID VAN RESIDUELE SANDSTEEN BY OPTIMUM VOGGEHALTE.

Maksimum digthede tussen 1893 en 2021, g/m^3 is verkry by optimum voggehaltes van tussen 7,2 en 12,9 persent.

7.5 SKUIFSTERKTE TOETSE

Skuifsterkte van die residuele sandsteen, beide sandering en kleierig is met behulp van die skuifkas asook die drie-assige sel bepaal.

7.5.1 Skuifkastoetse

Direkte skuiftoetse is op die volle spektrum grondmonsters, by beide natuurlike voggehalte asook versadigde toestand, uitgevoer om die skuifsterkte by gedeeltelike versadigde toestand van monsters te bepaal.

Gekonsolideerde gedreineerde direkte skuifsterktebepalings is ook uitgevoer op hergekompteerde materiale (90% en 95% van die gemodifiseerde AASHTO digthede vir beide optimum voggehalte asook versadigde toestande. Resultate van beide hierdie toetse word in Tabelle 63 en 64 uiteengesit.

Die resultate van die direkte skuifstoetse weerspieël relatief hoë waardes vir die interne wrywingshoek en kohesie.

7.5.2 Drieassige toetse

Gekonsolideerde gedreineerde drie-assige toetse is uitgevoer op 38 mm diameter onversteurde fynkorrelrige residuele gronde by natuurlike voggehalte. Hierdie toetse is uitgevoer om die groot interne wrywingshoeke wat deur die skuifkastoetse bepaal is, te kontroleer.

GEKONSOLIDEERDE, STADIG, GEDREINEERDE TOETS

GRONDBESKRYWING

NATUURLIKE VOGGEHALTE

WATER VERSADIG

PIEK

RESIDUEEL

PIEK

RESIDUEEL

 C^1
 ϕ^1
 Cr^1
 ϕ_r
 C^1
 ϕ^1
 Cr^1
 ϕ_r^1

SANDERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	38	41,5	0	40	-	-	-	-
SANDERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	0	46	0	40	-	-	-	-
SANDERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	30	47	0	41	22	39	0	33
SANDERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	40	47	0	36	0	50	0	37
SANDERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	0	46	0	40	-	-	-	-
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	-	-	-	-	0	34	0	30
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	60	48	0	37	0	35	0	33
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	220	20	0	40	0	31,5	0	27
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	100	34	0	27,5	10	27	0	22
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	40	34	14	33	0	34	0	31
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	-	-	-	-	0	32	0	30
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	-	-	-	-	20	39	10	29
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	16	35	0	30	0	34	0	30
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	44	39	20	36	0	35	0	30

TABEL 63: OPSOMMING VAN SKUIFKASTOETSRESULTATE VAN NATUURLIKE MATERIALE. (DRENNAN, ET AL, 1979, 1980)

GEKONSOLIDEERDE STADIG GEDREINEERDE TOETS

BESKRIVING	90 PERSENT				95 PERSENT			
	OPTIMUM VOG		VERSADIG		OPTIMUM VOG		VERSADIG	
	c^1	ϕ^1	c^1	ϕ^1	c^1	ϕ^1	c^1	ϕ^1
SANDERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	0	42	0	34,5	-	-	0	37
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	60	24	10	36	20	45	0	44
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	24	56	10	33	-	-	-	-
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	0	39	0	36	0	45	8	38
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	18	39	18	33	-	-	-	-
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	40	33	6	35	30	41	0	34
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	30	20	-	-	-	-	-	-
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	180	39	-	-	-	-	-	-
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	25	40	-	-	-	-	-	-
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	12	41	10	34	-	-	-	-

TABEL 64: OPSOMMING VAN SKUIFKASTOETSE OP HERGEKOMPakteerde MATERIAAL. (DRENNAN, ET AL, 1979, 1980).

Resultate van hierdie drie-assige toetse toon dat die kohesie, ongedreineerd en ongekonsolideerd (C_{uu}) = 210 en 160 kPa en die interne wrywingshoek, ongedreineerd ongekonsolideerd (ϕ_{uu}) = $15,5^\circ$ en $17,5^\circ$. Die interne wrywingshoeke van die drie-assige toetse is laer as die van die direkte skuiftoets, maar die waardes is nog hoog en dit bevestig die waardes van die direkte skuiftoets. Gekonsolideerde gedreineerde drie-assige toetse is op 100 mm deursnee monsters (hergekompaakteer tot 90 en 95 persent digtheid, AASHTO) by optimum voggehalte, uitgevoer. Resultate word in Tabel 65 uiteengesit.

7.6 KONSOLIDADIETOETSE

Konsolidasietoetse is uitgevoer met die doel om parameters van toepassing op stabiliteit- en versakkingsanalises te probeer bepaal.

Onversteurde natuurlike fondamentmateriale (residuele sandsteen) van die Nasionale Roete 3 seksies 1 en 2 is getoets om die oorskot waterdrukaspekte te bestudeer vir die toepassing van die effektiewe spanningsanalise. Hergekompaakteerde materiale is getoets vir versakking van opvullings gedurende en na konstruksie. Resultate van hierdie toetse word in Tabel 66 weergegee. Swigpotensiaal is ook vir natuurlike en hergekompaakteerde materiale bepaal. Resultate word in Tabel 67 uiteengesit.

Oor die algemeen toon die resultate 'n relatief lae swigpotensiaal, en saamdrukbaarheid en matig hoë konsolidasie koëffisiente wat 'n aanduiding is dat versakking en oormatige poriedruk onwaarskynlik is gedurende konstruksie.

	GEKONSOLIDEERD GEDREINEERD				ONGEKONSOLIDEERDE ONGEDREINEERD				PERSENTASIE VER- DIG- TING
	OPTIMUM VOG		VERSADIG		OPTIMUM VOG		VERSADIG		
	C^1	ϕ^1	C^1	ϕ^1	C_{uu}	ϕ_{uu}	C_{uu}	ϕ_{uu}	
SANDERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	-	-	-	-	50	32	-	-	
SANDERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	60	30,5	0	32,5	60	30	-	-	90
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	-	-	-	-	110	32,5	-	-	
SANDERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	-	-	-	-	100	32,5	-	-	
SANDERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	-	-	45	30	-	-	-	-	95
SANDERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	0	45	-	-	-	-	-	-	
SANDERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	-	-	-	-	250	28	-	-	
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	20	35	-	-	-	-	-	-	90
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	0	42	-	-	-	-	-	-	95
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	0	36	-	-	-	-	-	-	90
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	0	42	-	-	-	-	-	-	95
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	20	36	-	-	-	-	-	-	90
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	60	36	-	-	-	-	-	-	95

TABEL 65: OPSOMMING VAN DRIE-ASSIGE TOETSRESULTATE VAN GEKOMPakteerde MATERIALE. (DRENNAN, ET AL, 1979).

	NORMAAL ONDERDOMPELDE KONSOLIDASIE							PERSENTASIE
	RUIMTE VERHOU- DING Eo	$(kPa)^{-1}$	$Mv \times 10^{-4}$	MODULUS MPa		Cv (m ² / jaar)		VER- DIG- TING
		100-200	400-800	100-200	400-800	100-200	400-800	
<u>NATUURLIKE MATERIALE</u>								
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	0,557	1,31	1,05	0,763	0,952	9,88	6,74	N.V.T.
SANDERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	0,575	0,56	0,57	1,786	1,754	6,48	6,03	
<u>HERGEKOMPakteERDE MATERIALE</u>								
SANDERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	0,628	1,11	0,73	0,901	1,369	11,16	10,46	
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	0,487	1,86	1,19	0,537	0,840	7,48	3,72	90
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	0,488	1,39	1,20	0,718	0,833	7,47	4,40	
SANDERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	0,541	0,97	0,67	1,031	1,492	8,60	4,02	
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	0,535	0,96	0,54	1,042	1,852	10,07	12,30	95

TABEL 66: OPSOMMING VAN KONSOLIDASIE TOETSRESULTATE. (DRENNAN, ET AL, 1979).

BESKRYWING	SWIGPOTENSIAAL					PERSENTASIE
	RUIIMTE VERHOUDING	$M_v^{-1} \times 10^{-4}$ kPa	E MODULUS MPa	C_v^2 (M ² /JAAR)	PERSENTASIE SWIGTING	VERDIGTING
SANDERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	0,542	2,10	-	4,80	0,08	
SANDERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	0,547	1,10	-	10,10	0,21	
SANDERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	0,552	2,00	-	10,001	0,01	90
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	0,714	2,35	-	8,50	1,08	
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	0,740	2,10	-	8,80	0,05	
SANDERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	0,444	1,80	-	15,00	0,05	
SANDERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	0,406	0,55	-	4,80	0,38	
SANDERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	0,561	1,55	-	7,50	0	95
KLEIERIGE RESIDUELE SANDSTEEN	0,662	2,70	-	12,00	0,05	
KLEIERIGE RESIDUELE SKALIE	0,438	1,50	-	10,00	0	

TABEL 67: SWIGPOTENSIAAL VAN HERGEKOMPakteerde MATERIALE. (DRENNAN, ET AL, 1979).

7.7 KONSTRUKSIEMATERIALE

Residuele sandsteenmateriaal word as bou en pleistersand ontgin.
Hierdie aspekte word volledig in paragraaf 8.4.2 bespreek.

HOOFSTUK 8. TOEPASSINGS

In hierdie hoofstuk word na 'n aantal gevallestudies verwys om die invloed van ingenieursgeologiese eienskappe van die Natalsandsteen op die konstruksie van siviele strukture asook die eienskappe van konstruksiemateriale illustreer.

8.1 FONDAMENTE

Ondersoek is ingestel na groot fondamente (damfondamente) en klein fondamente (fondamente vir 'n brug).

8.1.1 Damfondamente

Die Hazelmeredam is in die Mdlotitiver ongeveer 20 kilometer noord van Durban en 10 kilometer vanaf die see, op gesteentes van die Natal Groep geleë. Sowat 20 km stroomop van die damterrein kruis die rivier die kontak tussen graniet en gesteentes van die Natal Groep. Verder aan vloei die rivier oor Dwykatilliet maar sowat 2 km stroomop van die damterrein kruis dit 'n NO-SW strekkende verskuiwing met 'n aansienlike opwaartse verplasing aan die oostekant sodat die terrein deur kwartsitiese sandsteen van die Natal Groep beslaan word en tilliet sowat 60m bokant riviervlak op die regterflank voorkom. (van Schalkwyk, 1980).

By die damterrein is die Natal Groep minstens 150m dik en bestaan dit uit 'n harde grys tot rooibruin kwartsitiese sandsteen met 'n helling van sowat 15 grade na die suidooste. Dit bevat tussenlae van mikaryke sandsteen en ysterhoudende skalie en die gesteentes bevat oor die algemeen matig tot diggespasieerde nate (Genis, 1967 en George, 1972).

Die hele middellyn van die damwal word beslaan deur kwartsitiese sandsteen van die Hibberdene en Inanda Formasies met 'n gemiddelde helling van sowat 15 grade na die suidooste (regterflank en met 'n effens stroomafkomponent).

'n Deklaag van grond, puin en alluvium het gewissel in dikte van 0,5 tot 1,5m langs die linkerflank en 0 tot 0,5m langs die regterflank (Cook, 1976).

Die bodemrots was matig verweer tot dieptes van tussen 3 tot 6m terwyl effens verweerde rots tot dieptes van 60m voorgekom het. Nadat 'n gedeelte van die fondament aan die linkerflank tot by die voorgestelde uitgrawingsdiepte blootgestel is, het dit duidelik geword dat die "sandgevulde nate" wat tydens die ondersoekboorwerk aangetref was, in werklikheid verweerde sones langs laagvlakke in die rots was. Hierdie sones het bestaan uit 'n kleiige sand en die ontwerper van die dam het kommer uitgespreek oor die moontlikheid van skuifswigting langs hierdie stroomafhellende vlakke en aanbeveel dat die volgende stappe oorweeg word:

- (a) Verandering van die stroomopfondamenthelling van die voorgestelde 20H:IV tot 7 H:IV ten einde die skuifsterkte te verhoog en 'n groter aantal rotslae te mobiliseer.
- (b) Diep dreineergang in die fundamentrots om hidrostatische druk te verminder.
- (c) Verankering van die wal.

Verdere ondersoekwerk by die terrein het die volgende inligting omtrent die laagvlakke aan die lig gebring:

Die laagvlakke was sowat 0,5 tot 1m van mekaar gespaseer.

Sommige laagvlakke het 'n hoogsverweerde serisitiese sandsteen lagie met dikte wat wissel van enkele millimeter tot soveel as 150mm bevat.

Sommige laagvlakke was aaneenlopend oor die volle wydte van die fondament terwyl ander eenvoudig verdwyn.

Al die laagvlakke was golwend van aard en 'n golwingshoek (i) van 5 grade is aanvaar (Knill, 1974).

Met behulp van graderingsanalises op laagvlakvulmateriaal is bepaal dat dit minstens 50 persent sand bevat en 'n wrywingshoek van 35 grade is as realisties aanvaar (Knill, 1974).

Die skuifsterkte langs laagvlakke is soos volg bereken (Knill, 1974):

$$\tau = c + \sigma \tan (\phi + i)$$

waar $c = 0$, die kohesie

ϕ = die interne wrywingshoek

σ = die normaalspanning

en τ = die skuifsterkte is.

dus $\tau = \tan (35^\circ + 5^\circ)$

Met behulp van 'n reeks laboratorium-skuiftoetse op naatvulmateriaal is 'n wrywingshoek ϕ van 38,5 grade bepaal.

Met behulp van 'n stabiliteitsontleding waarin die verskillende swigtingsmoontlikhede en waarskynlikheid van 'n potensiële swigtingsvlak ondersoek is, is bepaal dat die veiligheidsfaktor teen skuifswigting onder maksimum belastingstoestande minstens 2 is (Steffen, Robertson en Kirsten, 1974).

Gevolgtrekking en aanbeveling

Met behulp van bogenoemde gegewens is bepaal dat dit nie nodig was om die ontwerp van die damwal te verander nie, maar daar is besluit om tydens verdere fondamentuitgrawings streng te let op die teenwoordigheid en aard van laagvlakke. Die wrywingshoek van $38,5^\circ$ wat bepaal is, is heelwat hoër as die wrywingshoek vir sliesteen naatvulmateriaal by Mvumase ($\phi = 24^\circ-27^\circ$) omdat hierdie materiaal heelwat meer sand bevat.

8.1.2 Ander fundamente (voetstukke)

Twee gevallestudies van voetstukfondamente in die Natalsandsteen word bespreek. Albei is brugstrukture op die Nasionale Roete 1, nl. die Summerveld en Peverton brûe.

(a) Die Summerveldbrug

Hierdie struktuur wat deel van die Summerveldwisselaar vorm, dra die roete MR 454 oor die snelweg en vorm 'n hoek van ongeveer 37° daarmee. Die snelweg is hier in 'n 4,5 meter snit terwyl die MR454 'n opvulling van ongeveer 7 meter by die suidelike landhoof (A) het en afplat tot ongeveer 2 meter by die noordelike landhoof (B).

Die terrein is geleë in sandsteen van die Natal Groep. 'n Los bogrondlaag, ongeveer 0,5 meter dik en wat uit fyn slikerige sand bestaan gaan oor in 'n ferm sanderige tot kleierige sliksand wat deur

karmosynrooi tot pers, wit en ligroos gestreepte, hoogsverweerde, mikaryke, baie sagte sandsteen wat tussengelaagde bande baie sagte sliksteen bevat, oorgaan. Die sandsteen se gehalte verbeter met diepte tot sagte tot medium harde matig verweerde sandsteen.

Die grondwatervlak is nie gedurende die boorproses teekom nie maar syferwater is in die sliksteenbande teekom.

Gevolgtrekkings en aanbevelings

In die lig van die geskikte verweerde sandsteen wat by die terrein gevind is, is die brug fundeer op normale verspreide voetstukke op die medium tot hoogs verweerde, sagte tot medium harde sandsteenrots. Tabel 60 toon 'n tipiese profiel van die materiale (NVK, 1982). Geen differensiële versakking word verwag nie.

(b) Die Pevertonbrug

Hierdie struktuur dra die roete MR 504 oor die snelweg en vorm 'n hoek van ongeveer 30° daarmee. Die snelweg is hier in 'n 9m diep snit.

Die struktuur is in 'n groot verskuiwingsone wat noordoos-suidwes strek, tussen die afgeskufde sandsteen van die Natal Groep in die suidooste en die opgeskufde graniet in die noordweste, geleë. Die gevolg van die verskuiwing is diep verwering met 'n hoër grondwatervlak.

By die suidoostelike landhoof bestaan die fondamentmateriaal uit sanderige kleierige slik, en slikagtige klei 1 - 7 m diep met ferm kaolinitiese residuele totaal verweerde graniet.

Die grondwatervlak is op 11,2 m onder natuurlike grondvlak.

By die middellyn van die snelweg oorlê versadigde slikagtige sande en kleie, vogtige totaal verweerde kaolinitiese kleierige baie sagte granietrots op 8m. Die grondwatervlak is op 9m.

By die noordwestelike landhoof bestaan die fondament uit 'n vogtige ferm tot stewige kleierige slik wat sporadiese voorkomste van totaal verweerde sandsteen en kwartsietbrokstukke tussen 7 en 11m bevat wat deur totaal verweerde graniet onderlê word. Die grondwatervlak lê op 16m onder natuurlike grondoppervlak.

Gevolgtrekking en aanbevelings

Swak fondamenttoestande het vereis dat fundering op diepte moet geskied. Die brug is dus op geboorde heipale (beide skag en einddraend) fundeer. Die heipale word geneem tot in baie sagte rots. Geboorde heipale is meer prakties beskou as vooraf vervaardigde heipale aangesien laasgenoemde in kleilae mag eindig en differensiele versakking tot gevolg mag hê.

Die volgende ontwerpparameters is gebruik:

- (a) Wrywing in die skag is vir die boonste een-derde geïgnoreer.
- (b) Wrywingsterkte van 50kN/m^2 van die skagoppervlakte is vir die onderste helfte van die heipaallengte geneem.
- (c) Die einddravermoë van die heipale is as ongeveer 500 kPa geneem. (Drennan, et al, 1980).

8.2 HELLINGS

Die stabiliteit van hellings in snitte wat in sandsteen van die

Natal Groep gemaak is, kan op twee maniere ge-analiseer word nl. stabiliteit van hellings in grond (totaal verweerde sandsteen) en die stabiliteit van hellings in rots. 'n Kombinase van hierdie alternatiewe word gewoonlik in die praktyk gevind. Die boonste aantal meter in 'n snit bestaan gewoonlik uit totaal verweerde sandsteen met genate, minder verweerde sandsteen verder na onder.

'n Snit van 700m lank en 50 meter diep is in sandsteen van die Natal Groep geopen gedurende die konstruksie van 'n gedeelte van die Nasionale Roete 1, wes van Durban.

Die snit kan vir die bestudering van die stabiliteit van hellings in drie sones van verskillende geologiese materiale ingedeel word, nl:

Sone 1

Hierdie sone, 120m in lengte, bestaan uit hoogs verweerde, gebroke arkoos en verteenwoordig 'n verskuiwingsone.

Sone 2

Hierdie sone is 390 meter lank en bestaan uit effens tot matig verweerde, genate, sag tot medium harde rots, arkosiese sandsteen met tussengelaagde sliksteen bande kaoliniet gevulde nate en kwartsiethorisonne wat subhorisontaal gelaagd is.

Sone 3

Hierdie sone, sowat 190 meter lank, bestaan uit hoogs verweerde, baie sagte tot sagte kleierige arkosiese sandsteen met hoogs-verweerde sandsteenlae waarin syferwater moontlik voorkom.

Gevolgtrekking en aanbevelings

Die grootste gedeelte van die snit is in arkosiese sandsteen wat geklassifiseer kan word as redelik tot swak (volgens die klassifikasie van Bieniewski, 1976) Dit bevat ook baie swak sones van verweerde slikssteen. Hellingstabiliteitanalises met behulp van stereografiese hulpmiddele het aangetoon dat wig, vertikale blok en kleiner omvalswigtings veral in die verskuiwingsone kan plaasvind. Vertikale blokswigtings en kleiner omvalswigtings is in sones 2 en 3 moontlik. Groot-skaalse onstabiliteit van die rotsmassa word nie verwag nie. Vir 'n minimum teoretiese veiligheidsfaktor van 1,5 is die volgende hellings aanbeveel, nl.

Sone 1.	1:1
Sone 2.	1: $\frac{1}{4}$
Sone 3.	1:2

Beskrywing van die hellingsontwerp is soos volg:

- (a) Gelokaliseerde rotsboute, 5m lank, asook spuitbeton oor slikssteensones.
- (b) Die hellings in rots is met gladde skietmetodes gevorm.
- (c) 'n Rotsvalzone waar onstabiele rotsstukke kan versamel.

3.3 TONNELS

Gevallestudies oor twee tunnels van 'n waterskema in die Natal-sandsteen word behandel. Die een tunnel (Sherwood) is met behulp van 'n tunnelboormasjien gegrawe terwyl die boor-en-skiet metode gebruik is om die ander tunnel (University) te maak.

Die Umgeniskema is gebou om water te voorsien aan die Groter Durbangebied. Deel van die projek was twee tunnels wat gedeeltelik in sandsteen van die Natal Groep gemaak is.

Die Sherwoodtonnel

Die 3,3 km lang Sherwoodtonnel waarvan 1230 m in sandsteen, is gegrawe deur gebruik te maak van 'n volfront (3,016m diameter) harde-rots Robins tonnelboormasjien.

Die grootste volume sandsteen van die Natal Groep wat in die tonnel tegekom is, het bestaan uit onverweerde (lokaal effens verweerd) kwarts-veldspatiese sandsteen waarvan die nate gedeeltelik of totaal hergesementeer is deur sekondêre kwarts. Die gemiddelde laagvlak- en naatorientasies kan soos volg opgesom word:

Die laagvlakke hel tussen 0° en 10° , is golwend, deurlopend tot nie-deurlopend, ru, tussen 3 tot 15 mm gespasiëer en dig geseël. Slikagtige en mikaryke vulmateriaal tot 1mm dik kom op laagvlakke voor.

Naatstel A hel 75° tot 90° en strek noordwes-suidoos.

In die verweerde sandsteen is grondwater slegs aangetref in hoofnate. Waterinvloei was aanvanklik sterk maar het afgeneem met tyd, wat aandui dat die grondwater reservoir bo die tonnel klein is. In die effens verweerde sones het grondwater meer wydverspreid voorgekom maar was dit beperk tot hoofnaatsones en die invloei was nie noemenswaardig nie.

Oor 'n afstand van 505m (41 persent) is die sandsteen gekenmerk deur die teenwoordigheid van skalielense wat in dikte tussen 1 en 50 mm gewissel het. Hierdie materiaal was sag en vogtig met 'n baie lae skuifsterkte.

Verskeie verskuiwingssones is teëgekrom. In meeste gevalle het dit geen probleme opgelewer nie aangesien dit deur sekondêre kwarts hergesementeer is.

Twee dolerietgange, vertikaal en een meter dik, kom in die sandsteen voor. Die kontaksones het bestaan uit sagte, vogtige grys slikgagtige klei terwyl die gangmateriaal bestaan het uit gebroke effens verweerde doleriet.

Weeklikse vordering het gewissel tussen 50 en 128m. Die stadiger tempo's is veroorsaak deur die installering van tydelike bestutting in swakker gebiede waar verskuiwings en gange voorkom.

In effens verweerde sandsteen was die penetrasietempo 2,2 tot 2,6 meter per uur terwyl dit in die onverweerde sandsteen 1,6 tot 1,8 meter per uur was.

Agt en tagtig persent van die sandsteen was selfbestuttend sodat slegs vir 12 persent tydelike bestutting vereis is.

Tydlike bestutting het bestaan uit staalboë, 1,5m van mekaar met dwarsplate, teruggevol met rots waar dolerietgange die sandsteen sny. Waar skalielae in die dak voorkom is dit bestut met stewige maas wat in posisie gehou is met 1,5m lang rotsboute op 'n spasiëring van 1-2 meter.

Die Universitytonnel

Die 1,0 kilometer lang Universitytonnel waarvan 466 meter (46,7 persent) in sandsteen en die res in tilliet is, is deur middel van die konvensionele boor- en skiet metode gebou. Die tonnel is Ω -vormig, 2,325m hoog en 1,85 m wyd. Die regionale helling van die gelaagdheid is tussen 5° en 10° na die noordooste.

Nate in die sandsteen is ystergevlek en dig tot medium gespaseer. Drie naatstelle is teenwoordig, nl. gelaagdheid met helling tussen 0° en 10° , golwend, meestal deurlopend, ru van aard en sones wat mikaryke en slikagtige vulsel bevat. Laagspasiëring is tussen 0,3m en 1,5m.

Naatstel A is subvertikaal en strek noord-suid, is dikwels verplaas op laagvlakke en is nie deurlopend. Naatoppervlakke met spasiëring 0,25 - 1,5 meter is ru en gevlek en bevat 1-3mm vulmateriaal.

Naatstel B strek oos-wes, is nie deurlopend en is soortgelyk aan A.

Baie min grondwater het ingevloei.

Geen stabiliteitsprobleme is ondervind met verskuiwings en skaliebande nie.

Op plekke het oorbreek plaasgevind as gevolg van wigswigtings in die dak van die tonnel.

Tydlike bestutting van die tonnel het bestaan uit staalboë (1 persent), spuitbeton (4 persent) en rotsboute (95 persent).

Staalboë is slegs vir die eerste 5m en 3m onderskeidelik by die twee portale gebruik.

40mm Dik spuitbeton in die dak en sykante is vir 'n afstand van 40m oor die verskuiwingsone gebruik.

95 Persent van die tunnel is bestut met behulp van 1,5m lang rotsboute met 'n digtheid van 2-3 boue per lopende meter.

Die oriëntasie en spasiëring van diskontinuiteite is dus die belangrikste rotsmassa-eienskap by die bou van tunnels deur middle van die boor en skietmetode in gesteentes van die Natal Groep.

8.4 KONSTRUKSIEMATERIALE

Sandsteen van die Natal Groep asook die verweringsprodukte daarvan word op groot skaal as bron van konstruksiemateriale in Durban en omgewing gebruik.

8.4.1 Growwe aggremaat

Sandsteen van die Natal Groep word vir die afgelope aantal dekades al in Durban gebruik as bron van growwe aggremaat en spoorwegballas. Die oudste groef in die Natal Groep is by Coedmore wat in die Hibberdene en Inanda Formasies by Durban geleë is. Noord van Durban by Verulam is 'n tweede groef geleë wat dieselfde twee formasies as Coedmore ontgin. Onlangs is 'n derde by Shongweni in die Mkunya Fomasie geopen en voorsien gebreekte klip aan konstruksie van die Nasionale Roete 3.

Growwe aggremaat vanaf al drie hierdie groewe voldoen aan die spesifikasies neergelê deur die S.A. Buro vir standarde. Die sandsteen toon ook geen tekens van alkali-aggremaat reaksie in

Vir 'n volledige beskrywing van die geotegniese eienskappe van die rots word die leser na hoofstuk 4 verwys.

8.4.2 Fyn aggremaat

Fyn aggremaat (sand) wat gebruik word vir bou, pleister en beton word uit drie bronne verkry nl., riviersand, putsand (verweerde Natalsandsteen) en vergruisersand (Forbes et al., 1982)

Riviersand

Sand van die Mgenirivier wat 'n produk van verweerde veldspatiese gneis en sandsteen is, is die tradisionele bron van betonsand in Durban.

Sand van die Mlazirivier afkomstig van die Natalsandsteen is relatief fyn en moet met growwer sand gemeng word sodat dit geskik is vir betonsand. Sand vanaf die Mbobokweni- en Lovoriviere is fyn en moet ook met growwer sand vermeng word voordat dit as betonsand gebruik kan word.

Putsande

Op verskeie plekke word sandsteen van die Natal Groep as putsand ontgin word. Daar is 'n aantal van hierdie terreine in die Verulam-, Inanda- en Hazelmere- gebiede waar sand ontgin word. Hierdie sand is die geskikste sand beskikbaar vir konstruksie-doeleindes. Wanneer dit met growwer sand gemeng word, kan 'n ideale gradering verkry word (Forbes, 1982). Dit lê gewoonlik ongeveer 1,0 meter onder die grondoppervlak en 'n aantal meter bo die rotsbasis op 'n redelike gelyk topografie.

Vergruisersand

Vergruisersand word in Durban by Coedmoregroef van sandsteen vervaardig. Die roumateriaal is egter baie slytend wat hoë vergruisingskoste tot gevolg het.

Vervaardigde sand (4750 - 300 μ m) word gebruik in die vervaardiging van kalsium- silikaat bakstene.

8.4.3 Stortklip, rotsvul en opvullings

Stortklip

Stortklip (eng. rip-rap) is materiaal wat bestaan uit rotsblokke van verskillende groottes wat teen die stroomopkant van vuldamme en opvullings geplaas word om erosie van die struktuur as gevolg van golfaksie van die water te verhoed (ICOLD, 1978).

(a) Gradering

Die doel van die spesifieke gradering vir die stortklip is om te verseker dat daar voldoende blokke van sodanige massa is dat die golwe hulle nie kan oplik nie en dat hulle 'n natuurlike filter vorm om te verhoed dat fyner materiaal nader aan die damwal deur die terugspoeling van water verwyder kan word. Gradering van die materiaal word gespesifiseer in terme van die persentasie van die totale massa van 'n monster wat deur verskillende sifgroottes gaan. 'n Materiaal met 'n D_{60} van 100mm, bevat 60 persent fragmente wat kleiner is as 'n sif met grootte van 100mm.

(b) Duursaamheid

Daar bestaan geen standaard spesifikasie vir die duursaamheid van stortklip nie. Aangesien die materiaal egter aan sulke strawwe toestande onderwerp word, gebruik talle instansies die sulfaat-toets vir gaafheid (paragraaf 5.1.1 (e)) en 'n maksimum verlies van 5 persent word aanvaar. 'n Alternatiewe spesifikasie wat veral gebruik word in gebiede waar bevriësing kan voorkom, is 'n water-absorpsievermoë van hoogstens 1 persent.

(c) Vorm

Plaatvormige rotsfragmente het dikwels voorkeur geniet waar handgepakte bedekkings geplaas moes word. Vir stortklip is ruwe kubiese vorms egter noodsaaklik ten einde 'n digte pakking en stewige ineensluiting van rotsblokke te verkry.

(d) Digtheid

Gesteentes met 'n digtheid van minder as 2400 kg/m^3 sal normaalweg nie vir gebruik as stortklip aanbeveel word nie. (Van Schalkwyk, 1980).

Gevolgtrekking

Sandsteen van die Groep Natal is sover bekend nog nie as stortklip vir beskerming in die konstruksie van damme gebruik nie. Dit is egter al met groot sukses aangewend in die beskerming van landhoofde van bruë.

Rotsvulling

Tot betreklik onlangs was daar geen probleme met die difinisie van rotsvulmateriaal nie en die spesifikasie daarvoor was eenvoudig dat dit uit sterk duursame rots moet bestaan (Sherard et al, 1963). Met verloop van tyd is rots en grond alhoemeer saam (dog in afsonderlike sones) in een dam gebruik en die tradisionele grondvul- of rotsvuldamme moes plek maak vir grond-rotsdamme wat beter gebruik van alle beskikbare materiale op 'n terrein kon maak. Ten spyte van die kombinasie van hierdie soort materiale is daar egter duidelik onderskei tussen rots- en grondsones en rotsvulmateriaal het steeds gedui op harde rotsfragmente wat vry dreinerings toelaat.

Opvullings

Opvullings vir paaie word gewoonlik gebou met materiaal wat uit snitte afkomstig is en bestaan gewoonlik uit 'n kombinasie van grond- en rotsvulmateriaal. Rotsvul word gewoonlik aan die basis van opvullings geplaas, nadat die materiaal wat nie geskik is om op te fundeer nie (bogrond), verwyder is. Dit word gedoen om goeie dreinerings en dus die stabiliteit van die opvulling te verseker.

Verskeie opvullings van sandsteen van die Natal Groep is gebou tydens die konstruksie van die Nasionale Roete 1, seksie 1 en 2. Stabiliteitsanalises van opvullings van sandsteen is gebaseer op die sterkteparameters van sandsteen van die Natal Groep. Stabiliteitsanalises is uitgevoer deur gebruik te maak van Bishop se metode van opeenvolgende snitte. Daar is aanvaar dat alle vulmateriale gekompakteer is tot 'n minimum van 90 persent van die gemodifiseerde AASHTO digtheid. Waar hoë sterktes aan die basis

van opvulling vereis word, word die gebruik van geselekteerde, minder verweerde sandsteen aanbeveel. Geen probleme met die ontwikkeling van hoë poriedruk in die versadigde fondamentmateriaal (residuele sandsteen) onder die opvullings is voorsien nie.

Gevolgtrekkings

Agt opvullings in en van sandsteen van die Natal Groep is bestudeer. Vier hiervan word as klein (tussen 6 en 14 meter hoog) en vier as groot (tussen 20 en 45 meter hoog) geklassifiseer.

Die klein opvullings het 'n natuurlike dwarsval wat tussen 2° en 4° varieer, die aanbevole kanthelling van die opvulling is 1:1,5 en die berekende veiligheidsfaktor wissel tussen 1,5 en 2,0.

Die groot opvullings het 'n natuurlike dwarsval wat tussen 0° en 26° varieer, die aanbevole kanthelling van die opvulling is 1:1,75 en die berekende veiligheidsfaktor wissel tussen 1,44 en 1,96 (Drennan et al, 1980)

8.4.4 Padboukonstruksie

Figuur 29 toon in dwarsnit die elemente waaruit 'n pad bestaan. Grondwerke bestaan gewoonlik uit die volgende elemente, nl. die opvulling, keurlaag, stutlaag, kroonlaag en die slytlaag.

In 'n uitgebreide padbouprojek nl, Nasionale Roete 1 seksies 1 en 2 is daar op grootskaal van sandsteen van die Natal Groep gebruik gemaak as bron van padboumateriale. Materiale vir beide die stutlaag asook die keurlaag is verkry van die padprisma. Die grondondersoek het getoon dat sandsteenmateriaal wat uit die snitte verkry word, geskik is vir gebruik as materiale wat voldoen

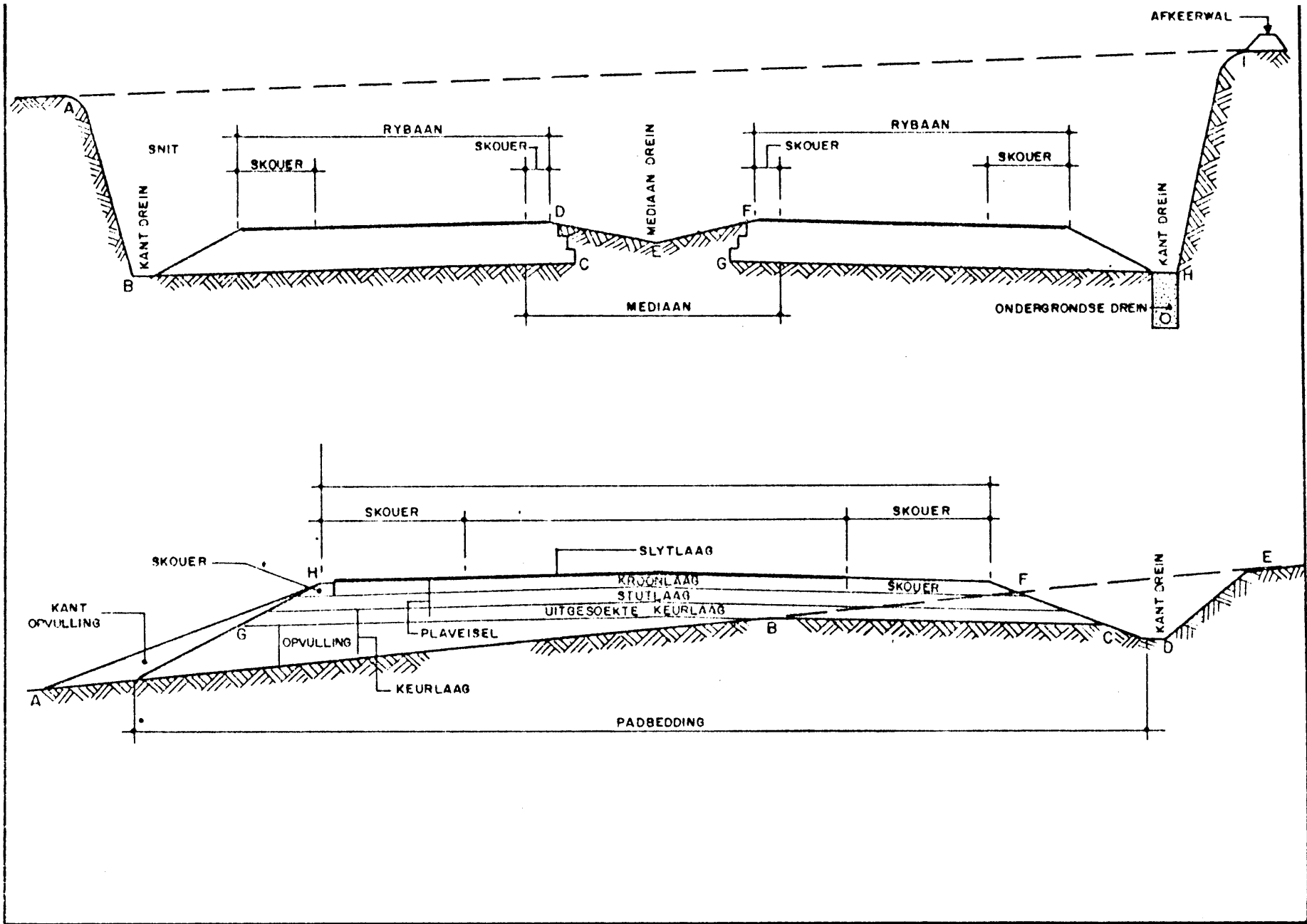


FIG. 29. DWARSSNIT VAN 'N PAD.

aan die vereistes vir stutlaag en keurlaag is geselekteer en geberg vir latere gebruik in hierdie lae. Materiale vir hierdie lae is hoofsaaklik verkry van die sagte en intermediêre uitgrawingsklasse.

(a) Kroonlaagmateriale

Die plaveiselontwerp bestaan uit 'n boonste en onderste kroonlaag, beide 150mm dik. Die KDV vereistes vir hierdie lae is 15 persent en 7 persent onderskeidelik by 93 persent van die gemodifiseerde AASHTO digtheid. Die materiaal is nie gestabiliseer nie. Materiale uit die sagte en intermediêre klasse vir uitgraving voldoen aan hierdie vereistes.

(b) Stutlaagmateriale

Die plaveiselontwerp bestaan uit twee lae elk 150mm dik, wat die stutlaag uitmaak.

Sandsteenmateriale reageer sterk met padkalk om baie hoë eenassige druksterktes te gee, nieteenstaande lae plastisiteit.

Die gemiddelde eenassige druksterktes verky met verskillende stabiliseringsmiddele word in Tabel 68 uiteengesit.

Ondervinding het geleer dat die stewigheid van die sandsteenmateriale baie verbeter wanneer hierdie materiale geberg word vir latere gebruik.

Toediening	1%	2%	3%	4%
Stabilisasiemiddel	Gem. Eenassige sterktes (kPa)			
Kalk	600	1690	2120	3570
PBFC*	960	1630	2300	-
Kalk/MBFS** (1:1)	1650	2400	2500	-

TABEL 68 Toename in sterkte met persentasie stabiliseermiddel
(NVK, 1982).

*PBFC = Portland hoogoond sement (Portland Blast furnace cement).

**MBFS = Verpoeyerde hoogoond slagment (Milled blast furnace slag).

HOOFSTUK 9. GEVOLGTREKKINGS

9.1 GEOLOGIE

Die Natal Groep. sandsteen word (met tipiese diktes tussen hakies) van onder na bo in vyf formasies ingedeel, naamlik die Eshowe Formasie (100m ±), die Mkunya Formasie (20m ±), die Mlazi Formasie (80m ±), die Inanda Formasie (300m ±) en die Hibberdene Formasie (30m ±).

Vyf verskillende tipes sandsteen kan op grond van visuele kenmerke onderskei word, naamlik:

Sandsteentipe A. Lig, rooibruin tot rooigrys, medium- tot grofkorrelrige homogene, veldspatiese sandsteen.

Sandsteentipe B. Rooigrys tot liggrys fyn- tot mediumkorrelrige homogene, kwartsitiese sandsteen.

Sandsteentipe C. Rooigrys, medium- tot baie grofkorrelrige, kruisgelaagde met ineenstortingstrukture, veldspatiese sandsteen en arkoos.

Sandsteentipe D. Rooigrys tot donkerrooi, fyn- tot mediumkorrelrige goedgelaagde, mikaryke veldspatiese sandsteen.

Sandsteentipe E. Donkerrooi, fynkorrelrige, goedgelaagde, mikaryke skalie.

Mineralogies bestaan die Natalsandsteen uit kwarts, albiet-oligo-klaas, ortoklaas, mikroklien, dolomiet, biotiet/muskowiet en hematiet.

9.2 ROTSMATERIAAL EIENSKAPPE

Die gemiddelde waardes van rotsmateriaaleienskappe in die onverweerde toestand word in tabel 68 opgesom. Die eienskappe van sandsteentipe A tot D toon min variasie terwyl die eienskappe van sandsteentipe E (skalie) wat ongeveer 5 persent van die rotsmassa verteenwoordig grootliks (soos te wagte was) verskil

Rotsmateriaal eienskappe	Sandsteentipes				
	A	B	C	D	E
Eenassige druksterkte (MPa)	209	210	211	219	75,6
Puntlassterkteindeks (MPa)	7,42	7,75	7,87	6,00	1,83
Drieassigesterkte Kohesie (MPa)	48	21,3	67,2	34,2	13,3
Wrywingshoek (grade)	49,7	48,0	47,5	49,0	46,6
Treksterkte (MPa)	11,26	17,90	12,22	14,61	-
Skuifsterkte: Kohesie (KPa)	105,4	80,6	117,0	149,4	142
Wrywingshoek (grade)	38,7	36,2	37,7	30,9	36,6

Rotsmateriaal eienskappe	Sandsteentipes				
	A	B	C	D	E
E modulus $E_{t_{50}}$ (GPa)	64,05	60,44	59,08	63,16	5,58
Poissons verhouding	0,238	0,219	0,216	0,715	0,298
Blusduursaamheidsindeks (%)	99,55	99,84	99,41	99,62	-
Poreusheid (persentasie)	1,76	2,54	1,98	1,70	1,42
Seismiese snelheid (m/s)	4264	4471	4371	4332	-

Tabel 68 Rotsmateriaal eienskappe van Natalsandsteentipes A tot E

Korrelasiefaktor tussen die gemiddelde eenassige druksterkte en sommige van die ander materiaaleienskappe is bereken en word saam met ander gevolgtrekkings vervolgens bespreek.

9.2.1 Eenassige druksterkte. (EADS)

Die gemiddelde eenassige druksterkte vir die Natalsandsteen (onverweerd) is bereken as 212 MPa. Volgens die klassifikasie van Deere en Miller (1966) val die waarde in die baie hoë klas en kan dit met ander Suid-Afrikaanse gesteentes soos kwartsiet, doleriet, gabbro en basalt vergelyk word.

9.2.2 Puntlas sterkte-indeks.

Die gemiddelde puntlas sterkte indeks vir die Natalsandsteen (onverweerd) is bereken as 7,26 MPa. Die korrelasie-aktor met die EADS is 29. Dit word, soos die eenassige druksterkte as baie hoog geklassifiseer.

9.2.3 Drie-assige sterkte.

Die gemiddelde waarde vir onverweerde sandsteen van die Natal Groep vir kohesie is bereken as 42,6 MPa. en die gemiddelde wrywingshoek as 48,55°. Beide die kohesie en die interne wrywingshoek vir die intakte onverweerde Natalsandsteen word as baie hoog beskou.

9.2.4 Treksterkte.

Die gemiddelde treksterkte waarde vir Natalsandsteen (onverweerd) is bereken as 14MPa. Hierdie waarde kan as hoog vir gelaagde materiaal beskou word. Die korrelasiefaktor met die EADS is 15,15.

9.2.5 Skuifsterkte.

Die gemiddelde kohesie vir sandsteen materiaal van die Natal Groep is bereken as 113 kPa en die wrywingshoek as 35,9°. Beide hierdie waardes kan as redelik tot swak geklassifiseer word. Aangesien die toets op gesaagde oppervlakke uitgevoer is, moet hierdie waardes as basiese waardes beskou word.

9.2.6 Elastisiteitsmodulus.

Die gemiddelde Tangensmodulus by 50 persent van die eenassige druksterkte is bereken as 61,7 GPa. Dit klassifiseer as styf en baie sterk op die klassifikasiekaart van Deere en Miller (1966) 'n Korrelasiefaktor van 291 met die EADS is gevind.

9.2.7 Poissonsverhouding.

Die gemiddelde Poissonsverhouding van die Natalsandsteen is bereken as 0,212. 'n Korrelasiefaktor met die EADS is bereken as 1000.

9.2.8 Die gemiddelde blusduursaamheidsindeks is bereken as 99,61 persent. Dit kan dus aanvaar word dat sandsteen van die Natal Groep nie blus nie. Sandsteentipe E toon matige bluseienskappe met water.

9.2.9 Poreusheid.

Die gemiddelde poreusheid van die Natalsandsteen is bereken as 2,00 persent.

9.2.10 Seismiese snelheid.

Die gemiddelde seismiese snelheid van onverweerde Natalsandsteen is bereken as 4359,5 meter per sekonde. Hierdie waarde kan as hoog beskou word.

9.3 AGGREGAATEIENSKAPPE

Die gemiddelde waardes van aggregaateienskap word in tabel 69 opgesom. Slegs sandsteentipes A tot D word bespreek aangesien sandsteentipe E ongeskik is.

9.3.1 Aggregaatvergruisingswaarde.

Die gemiddelde aggregaatvergruisingswaarde (droog) van die Natalsandsteen (onverweerd) is as 22,3 persent bereken. Dit beteken dat die sandsteen geskik is vir gebruik as growwe aggregaat. Die aggregaatvergruisingswaarde van 29 persent stem ooreen met 'n eenassige druksterkte van 180 MPa vir die Natalsandsteen.

9.3.2 Tien persent fynstof aggregaatvergruisingstoets.

Gemiddelde waardes vir die Natalsandsteen (onverweerd) wissel tussen 153 en 200 kN. Hierdie waarde lê bo die 110 kN wat deur die SABS gespesifiseer word en maak die sandsteen geskik vir gebruik as growwe aggregaat.

9.3.3 Waterabsorpsie.

Die gemiddelde Natalsandsteen (onverweerd) het 'n waterabsorpsie van 0,92 persent. Dit voldoen dus aan die spesifikasie van die SABS van <1 persent.

9.3.4 Die skilferingsindeks van die Natalsandsteen lê (onverweerd) tussen 19,5 en 24,5 persent en val binne die spesifikasie van die SABS.

9.3.5 Gaafheid.

Gaafheid van die Natalsandsteen lê tussen 0,8 en 14,1 persent. Oor die algemeen voldoen Natal sandsteen nie aan die spesifikasie van die SABS van <5 persent nie. Geselekteerde groewe kan wel aan die spesifikasie voldoen.

9.3.6 Krimping.

Die gemiddelde krimping van beton wat van Natalsandsteen vervaardig is, is minder as 150 persent van die krimping van die verwysingsaggregaat en voldoen aan die neergelegde spesifikasie van die SABS..

9.3.7 Slytbestandheid.

Die slytbestandheid van Natalsandsteen is tussen 18,3 en 30,3 persent (volgens die Los Angelostoets) en voldoen heeltemal aan die spesifikasie van die SABS vir beton. Dit is egter nie geskik vir gebruik as spoorwegballas nie.

9.3.8 Gepoleerdeklipwaarde.

Die gepoleerdeklipwaarde van Natal sandsteen is tussen 53 en 59. Die eienskap voldoen aan alle vereistes en die sandsteen word as die geskikste materiaal in die Durban omgewing beskou vir gebruik in die slytlae van paaie.

Aggregaateienskappe	Sandsteentipes			
	A	B	C	D
Aggregaat vergruisings- waarde. Droog (%)	23,78	24,27	20,93	20,21
Tien persent fynstof aggregaatvergruisingstoets. Droog (kN)		153 tot 200		
Waterabsorpsie (%)	0,73	1,11	0,83	1,01
Skilferingsindeks		19,9 tot 24,5		
Gaafheid (%)		0,8 tot 14,1		
Krimping (%)		122 tot 150		
Slytbestandheid (%)		18,3 tot 30,3		
Gepoleerde klipwaarde	59	53	53	-
Relatiewe digtheid	2,557	2,601	2,642	2,614

Tabel 70: Aggregaateienskappe van sandsteentipe A tot D van die Natal sandsteen.

9.3.9 Relatiewe digtheid.

Die gemiddelde relatiewe digtheid van Natal sandsteen is 2,604 wat as heeltemal voldoende vir beton beskou word.

9.3.10 Alkali reaktiwiteit.

Toetse het getoon dat aggregraat vervaardig van Natal-sandsteen nie onder normale omstandighede alkali reaktief is nie.

Natalsandsteen, in die onverweerde toestand is dus baie geskik as bron van growwe aggregraat en padboumateriaal.

9.4 DISKONTINUÏTEITE

In die rotsmassa van die Natalsandsteen word twee tipes diskontinuiteite onderskei nl. laagvlakdiskontinuiteite (drukverligtingsdiskontinuiteite) en nate (skuifskour diskontinuiteite).

9.4.1 Laagvlakdiskontinuiteite het ongeveer 11° na die suidooste, is ru tot baie ru, gewoonlik deurlopend, medium gespasiëer en gevul met 'n kaolinitiese materiaal, ongeveer 5 mm dik.

9.4.2 Vyf naatstelle is gewoonlik teenwoordig waarvan die helling meestal steil is ($70^\circ - 90^\circ$). Tipiese hellingsrigtings is onderskeidelik NNW, NO, OSO, NW en ONO. Die nate is gewoonlik glad tot baie ru, deurlopend, medium gespasiëer en oop ($< 5\text{mm}$).

Die diskontinuiteite veroorsaak dat die Natalsandsteen 'n blokagtige voorkoms het.

9.5 ROTSMASSA EIENSKAPPE

9.5.1 Elastisiteitsmodulus

Die elastisiteitsmodulus van Natalsandsteen is vir hoogs tot totaal verweerde sandsteen 0,23 tot 0,51 GPa, vir matig verweerde sandsteen 0,3 tot 1,2 GPa en vir onverweerde sandsteen 12 tot 28 GPa.

Die gemiddelde modulus van die onverweerde rotsmassa is ongeveer 30 persent van die van onverweerde rotsmateriaal.

9.5.2 Deurlatendheid

Deurlatendheid in die rotsmassa neem gewoonlik met diepte toe. Deurlatendheid wissel van ongeveer 2×10^{-4} m/sek aan die oppervlak tot 6×10^{-8} m/sek in diepte.

9.5.3 Skeurploegbaarheid

Skeurploegbaarheid van die Natalsandsteen is 'n funksie van die verwerking en die diskontinuiteitspasiëring. Onverweerde, mediumgenate sandsteen vereis gewoonlik skietwerk.

9.6 EIENSKAPPE VAN TOTAAL VERWEERDE SANDSTEEN

9.6.1 Gradering

Die korrelgrootte verspreiding is baie wyd en sien soos volg daaruit. Klei tussen 0 en 28 persent.

Slik tussen 2 en 40 persent.

Sand tussen 66 en 100 persent.

Gruis tot 17 persent.

9.6.2 Atterberggrense

Residuele sande van die Natalsandsteen klassifiseer as anorganiese kleie met lae of min plastisiteit, gruis-houdende-sanderige- of slikerige kleie.

9.6.3 Skuifsterkte

Die kohesie in sanderige totaal verweerde sandsteen by natuurlike voggehalte is tussen 30 en 40 kPa (pieksterkte) en die interne wrywingshoek is tussen 41° en 47° . Ooreenstemmende residuele waardes is 0 en 40° .

9.6.4 Drie-assige sterkte. (ongedreineerd en ongekonsolideerd). Die kohesie vir fynkorrelrige residuele sandsteen by natuurlike voggehalte is 160 tot 210 kPa en die interne wrywingshoek tussen $15,5^\circ$ en $17,5^\circ$.

9.6.5 Konsolidasie

Die konsolidasie koëffisiënt vir kleierige residuele sandsteen is $9,88 \text{ m}^2$ per jaar en die vir sanderige residuele sandsteen $6,48 \text{ m}^2$ per jaar.

9.7 ALGEMEEN

Rotsmateriaal en rotsmassas van sandsteen van die Natal Groep in onverweerde vorm toon in baie gevalle eienskappe soortgelyk aan kwartsiet eerder as sandsteen, veral in die Mkunya Formasie. Hierdie gevolgtrekking kan gemaak word as veral gelet word op die hoë sterkte van rotsmateriale en toetse wat op aggremaat monsters uitgevoer is. Die rede hiervoor is dat die samestellende korrels van die sandsteen deur sekondêre kwarts gesementeer is.

DANKBETUIGINGS

Graag wil ek my opregte dank en waardering betuig teenoor die volgende persone en instansies sonder wie se hulp die voorbereiding van hierdie verhandeling nie moontlik sou gewees het nie:

Die leier professor A. van Schalkwyk vir die leiding en aanbevelings gedurende die verloop van die studie.

Die Hoofdirekteur van die Geologiese Opname vir die geleentheid en die toestemming om van amptelike gegewens in die verhandeling gebruik te maak.

Die volgende instansies vir die beskikbaarstelling van inligting en gegewens wat in die verhandeling gebruik is:

Die Departement van Waterwese

Die Departement van Vervoer

Die Elektrisiteitsvoorsieningskommissie

Die Anglo-Alpha Stone Company (Hippo Quarries)

Die WNNR

Die Umgeni Waterraad

Keeve, Steyn Ingelyf, en

Sterkspruit Aggregates

Die Kommissie vir Administrasie vir finansiële ondersteuning in die vorm van 'n beurs.

Mev. V. Peer vir die netjiese natrekwerk.

Mev. L. de Klerk vir die netjiese tikwerk.

My vrou Ricki en my ouers vir die aanmoediging en morele ondersteuning gedurende die hele tydperk van studie.

VERWYSINGS

- A.E.G. Committee on core logging (1976). A guide to core logging for rock engineering. (Proc.Symp. Expl. Rock Engng, Johannesburg, Bieniawski Z.T. (red) A.A. Balkema, Kaapstad, Vol. I, 71-86.
- AMERICAN GEOLOGICAL INSTITUTE (1976) Directory of geological terms, revised edition. Anchar Press
- BARNARD, W.H.S. (1958) Departement Waterwese. Persoonlike kommunikasie.
- BARNARDO, D.J. (1958) Bauxite in Natal with emphasis on exploration, resources and the influence of geomorphology on its origin. MSc thesis, University of Pretoria.
- BARTON, N. LIEN, R. EN LUNDE, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics, Vol 6, No. 4, 1974, pp 189-236.
- BIENIAWSKI, Z.T. en ROBERTSON, A MAC, G. (1973). Strength of intact rock and strength along joint surfaces. In: Course on stability rock slopes, Johannesburg, S. Afr., Inst. Sur. Ingrs. Feb. 1973, 2.1 - 2.58.
- BROCH, E. (1970). Point load testing of rocks. MSc thesis, University of London.
- BROCH, E. EN FRANKLIN, J.A. (1972). The point load strength test. Int. J1. Rock Mechanics and Mineral Science, Vol 9, 669 - 697.
- BROWN, E.T. (1981) Rock characterization testing and monitoring ISRM suggested methods, Pergamon Press.
- CASAGRANDE, A. (1948) Classification and identification of soils. Trans Am. Soc. Civ. Engineers. Vol 113. pp 901 - 992.
- COOK, J.R. (1976) Mdloti River Scheme: Hazelmere Dam, Inanda District. First Geological Report for Construction. (Photographic Report). Ongepubliseerde verslag, Geologiese Opname, Maart 1976.

- COULL, W.A. (1985) Hippo Quarries. Persoonlike Kommunikasie.
- DEERE, D.U. EN MILLER, R.P. (1966) Engineering classification and Index properties for intact rock. Technical report No. AFNL - TR-65-116 Air Force Weapons Laboratory, New Mexico.
- DE SWART, A.M.J. AND BENNET, G. (1974) Structural and physiographic development of Natal since the late Jurassic. Trans, Geol Soc. A. Afr, 77(3) pp 309-322.
- DRENNAN, MAUD AND PARTNERS (1979) Report to Bradford, Conning and Partners on geotechnical investigation of National route 3, Section 1, Marrianhill to Umhlatuzana Viaduct (Vol 1 and 2), February 1979. Unpublished report, Ref. 1405. (N 175/8).
- DRENNAN, MAUD AND PARTNERS (1980) Report to National Transport Commission on geotechnical investigations of National Route 3, Sections 1 and 2, Umhlatuzana viaduct to key ridge (Vol. 1,2 and 3), August 1980. Unpublished report, Ref. 1870 (N183/2).
- DRENNAN, MAUD AND PARTNERS (1981) Report to National Transport Commission on excavation rippability assessment of cuts for National Route 3, sections 1 and 2. Umhlatuzana viaduct to Peacevale, August 1981. Unpublished report, Ref. 3100 (N 186/6).
- FAIR, T.J.D. AND KING, L.C. (1954) Erosional Land-surfaces in the eastern marginal areas of South Africa. Transactions of the Geol. Soc. of S. Africa. Vol. 57. pp 19-26.
- FILMALTER, G.F. (1985) Geologiese Opname. Persoonlike kommunikasie.
- FORBES, J., DUNLEVEY, J.N.
OBERHOLSTER, R.E. EN DOBSON, D. Report on the coarse aggregate industry in the Durban/Pietermaritzburg region Nasionale Bounavorsingsinstituut, WNNR, Pretoria, Augustus 1985.

- FORBES, J.A., WESTRA, W.B. EN
OBERHOLSTER, R.E. (1982) A survey of the sources, production quality and cost of building sand used in the Durban Metropolitan area. NBNI, WNNR, Pretoria 1982. Bou 63.
- GEERTSEMA, A.J. (1983) Thukela S.W.S: Mvumase Damterrein: Tugelarivier: Distrikte Eshowe en Mapumulo. Vyfde geologiese verslag vir Ontwerp. Geskiktheid van rots as bron van growwe aggragaat uit die uitgrawings vir die kragstasie en die verleggingstruktuur. Ongepubliseerde verslag, Geologiese Opname, Pretoria. Augustus 1983.
- GEERTSEMA, A.J. (1983) Thukela S.W.S: Mvumase - Klipgroefterrein, Laer Tugelarivier, Distrikte Eshowe en Mapumulo. Tweede geologiese verslag oor konstruksiemateriale - aggragaat ondersoek. Ongepubliseerde verslag, Geologiese Opname, Pretoria. Julie 1983.
- GEERTSEMA, A.J. (1984) Thukela S.W.S: Sunbury Damterrein: Tugelarivier: Eshowe en Laer Tugela distrikte. Eerste geologiese verslag vir Ontwerp. Ongepubliseerde verslag, Geologiese Opname, Pretoria. Desember 1984.
- GENIS, L.M. (1967) Geological Reconnaissance of the proposed dam site on the Mdloti River in Inanda Location 4675, Ndwedwe district. Ongepubliseerde verslag, Geologiese Opname, Pretoria, 20 Januarie 1967.
- GEORGE, D.L. (1972) First geological report on the Hazelmere dam site on the Mdloti River, Inanda district. Ongepubliseerde verslag, Geologiese Opname, Pretoria, 19 Junie 1972.
- GEORGE ORR EN MEDEWERKERS (1983) Umgeni Low Level Scheme: Inanda Wiggins Aquaduct. Engineering Geological construction report on the Sherwood and University tunnels. Umgeni Waterraad, ongepubliseerde verslag, Pietermaritzburg, September 1983.
- GUY, J.E. (1974) The geology of an area to the North West of Mandini, Zululand. Unpublished MSc. Thesis University Natal. (Durban).
- HARDIE, L.A. (1958). The heavy mineral content of the Table Mountain Series of the Cape System from selected areas in Natal, South Africa MSc. tesis, (ongepubliseerd, Universiteit van Natal

- HOEK, E. EN BRAY, J. (1977) Rock Slope Engineering. The Institution of Mining and Metalurgy, London.
- HOEK, E. EN BROWN, E.T. (1980) Underground excavations in rock. The Institution of Mining and Metalurgy, London, 1980.
- HOULSBY, A.C. (1976) Routine interpretation of the Lugeon Watertest. Q.J. Engineering Geology Vol. 9. 1976. pp 303 - 313.
- HOULSBY, A.C., (1977). Foundation grouting for dams. Bulletin of the Australian National Committee on Large Dams, Part I, Investigation, Nr 47, April 1977.
- ISRM (1974) Suggested method for determining shear strength (revised). Committee on field tests. Document No. 1. Final draft. February 1974.
- ISRM (1977) Suggested method for determining the strength of rock materials in triaxial compression (revised). Committee on laboratory testing. Published in Int. Journal Rock Mech. and Min. Sci. Vol. 20, No. 6, pp 283 - 290 (1983).
- ISRM (1977) Suggested method for determining sound velocity Committee on laboratory tests. Document No. 4 March, 1977. Published in Int. Jour. of Rock Mech. and Min. Sci. Vol. 15, No. 2, pp. 53 - 58 (1978).
- ISRM (1977) Suggested methods for determining tensile strength of rock materials. Committee of laboratory testing. Document No. 6, March 1977. Published in Int. Jour. Rock Mech. and Min. Sci. Vol. 15, No. 3, pp 00 - 103 (1978)
- ISRM (1978) Suggested methods for determining the strength and deformability of rock materials. Committee on laboratory testing September 1978. Published in Int. Jour. Rock Mech and Min. Sci. Vol. 16, No. 2, pp 135 - 140 (1979).

- ISRM (1977) Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and relater properties and swelling and slake durability index properties. Committee on laboratory testing. Document No. 2. December 1977. Published in Int. Jour. of Rock Mech. and Min. Sci. Vol. 16, No. 2. pp 141 - 156 (1979)
- JENNINGS, J.E., BRINK, A.B.A. EN WILLIAMS, A.A.B (1973) Revised guide to soil profiling for civil engineering purposes in Southern Africa. The Civil Engineer in South Africa, January 1973, 3 - 12.
- JENNINGS, J.E. EN ROBERTSON, A. MAC G. (1973) Two dimensionale failure of rock slopes. In: Course on stability of rock slopes, Johannesburg, February 1973.
- KING, L.C. (1972) The Natal Monocline: Explaining the origin and scenery of Natal Durban Geology Department, University of Natal.
- KING, L.C. (1940) The Monoclinial coast of Natal, South Africa. Journal of Geomorphology. Vol. 3. pp 144 - 153.
- KING, L.C. (1963) South African Scenery, A Textbook of Geomorphology: Oliver and Boyd, Edinburgh and London.
- KING, L.C. (1949) On the ages of African land surfaces. Quart Journal Geol. Society London Vol. 104.
- KINGSLEY, C.S. (1978) A new strategraphic classification implying a lithofacies change in the Table Mountain sandstone in Southern Natal. Transactions Geological Society S.A. 1978. pp 43 - 55.
- KNILL, J.L. (1974) Report on a visit to Hazelmore Dam, Natal. Gibb Hawkins and Partners. Ongepubliseerde verslag, Johannesburg.
- KRYNINE, D.P. EN JUDD, W.R. (1957) Principles of engineering geology and geotechics. MC Graw-Hill, New York.
- MAUD, R.R. (1961) A preliminary review of the structure of coastal Natal. Trans, Geol. Soc. of S. Africa. Vol. 64, pp 247 - 256.
- MASCHEK, R.K. EN MERTEN, W.N. Foundation investigations at Mvumase Dam site - Goodman Jack tests. NMERI report ME 1772 CSIR,

- VREEDE, F.A. (1985) Persoonlike mededeling. Pretoria. 1982.
- MATTHEWS, P.E. (1961) Slump structures in the Table Mountain series of Natal. Trans. Geol. Soc. South Africa Vol. 64 pp 55 - 69.
- MC CARTHY, M.J. (1985) Persoonlike mededeling. Universiteit van Natal.
- MEISSNER ROLOFF, K. (1985) Coedmore Groef. Persoonlike kommunikasie.
- MERTEN, W.N., VREEDE, F.A.
MASCHEK, R.K. (1982) Foundation investigations at Mvumase dam site - plate loading tests. Geomechanics Division NNIMI, WNNR. Verslag Nr. ME1777 Pretoria, November 1982.
- MOUTON, D.J. (1982) Thukela SWS: Mvumase damterrein: Mapumulo en Eshowe Distrikte. Eerste geologiese verslag vir ontwerp van damwal - afdigting. Ongepubliseerde verslag. Geologiese Opname, Pretoria, November 1983.
- NASH, E. (1971) Results of physical tests on samples of aggregate submitted by Coedmore Quarries. Nasionale Bounavorsings Instituut. WNNR, Pretoria. November 1971.
- NASIONALE VERVOER KOMMISSIE (1982) National.Route 3 Section 1-2 Umhlatuzana Viaduct-Key Ridge. Materials document Vol. 6. Contract document No. NVR 301202 August 1982.
- OBERHOLZER, R.E. (1984) Final report of the examination of concrete aggregate from different quarries for potential alkali reactivity. NBRI, CSIR, Pretoria, Feb. 1984.
- OBERHOLZER, R.E. (1980) Alkali-aggregaatreaksie. Die rol van reaktiewe kwarts. Spesialislesing gelewer by die Department
Geologie aan die Universiteit Pretoria, 20 Augustus 1980.
- OBERT, L. EN DUVALL, W.I. (1967) Rock mechanics and the design of structures in rock John Wiley, New York.
- ORR, C.M. (1979) Rapid weathering dolorites. The Civil Engineering in South Africa. July, 1979, pp 161 - 167.

- PETERS, E. (1985) Geologiese Opname, Pretoria. Persoonlike kommunikasie.
- RHODES, R.C. AND LEITH, M.J. (1967) Lithostratigraphic zones in the Table Mountain series of Natal. Transaction Geological Society of South Africa, 1970. pp 15 - 28.
- ROBERTS, D.L. (1980) The stratigraphy and sedimentology of the Natal Groep in the Durban Area. MSc verhandeling, Universiteit van Natal.
- S.A. BURO VIR STANDAARDE (1976) Standaardspesifikasie vir sand vir pleister en dagha SABS 1090 - 1976. Raad van die SABS, Pretoria. 18 Augustus 1976.
- S.A. BURO VIR STANDAARDE (SABS) (1976) Standaardmetodes. SABS-metode 848, gepoleerde klip-waarde van aggregaat. pp 1 - 4. Raad van die SABS, Pretoria. Mei 1976.
- S.A. BURO VIR STANDAARDE (SABS) (1976) Standaardmetodes. SABS - metode 847, skilferingsindeks van growwe aggregaat. pp 1 - 2. Raad van die SABS, Pretoria. Mei 1976.
- S.A. BURO VIR STANDAARDE (SABS) (1976) Standaardmetodes SABS - metode 846, slytbestandheid Angeles Masjienmetode) pp 1 - 3. Raad van die SABS, Pretoria. Mei 1976.
- S.A. BURO VIR STANDAARDE (SABS) (1976) Standaardmetodes SABS - metode 844, relatiewe digtheid van aggregate. pp 1 - 2 Raad van die SABS, Pretoria. Mei 1976.
- S.A. BURO VIR STANDAARDE (SABS) (1976) Standaardmetodes SABS - metode 843, waterabsorpsie van aggregate. pp 1 - 2. Raad van die SABS, Pretoria. Mei 1976.
- S.A. BURO VIR STANDAARDE (SABS) (1976) Standaardmetodes SABS - metode 842, FAVW (10% fyngruis aggregaat vergruisingswaarde) van growwe aggregaat. pp 1 - 2 Raad van die SABS, Pretoria. Mei 1976.
- S.A. BURO VIR STANDAARDE (SABS) (1976) Standaardmetodes SABS - metode 841, aggregaatvergruisingswaarde van growwe aggregaat. pp 1 - 4. Raad van die SABS, Pretoria. Mei 1976.

- S.A. BURO VIR STANDAARDE (SABS) (1976) Standaardmetodes SABS-metode 839, gaafheid van aggregaat (magnesium-sulfaatmetode) pp 1 - 6. Raad van die SABS, Pretoria. Mei 1976.
- S.A. BURO VIR STANDAARDE (SABS) (1976) Standaardtoetsmetodes SABS - metode 836, uitwerking van aggregaat op krimpings van dagha. Raad van die SABS, Pretoria. Mei 1976.
- S.A. BURO VIR STANDAARDE (SABS) (1976) Standaard spesifikasie vir aggregaat uit natuurlike hulpbronne. Raad van die SABS. Mei 1976.
- SCOTT, C.R. (1964) An introduction to soil mechanics and foundations. Applied Science Publishers, London.
- STEFFEN, ROBERTSON EN KIRSTEN (1974). Hazelmere Dam. Base stability for Department of Geological Survey. Report 114/1. Geologiese Opname, Pretoria.
- SOUTH AFRICAN BUREAU OF STANDARDS (SABS) (1975) Aggregates from natural sources. SABS 1083, Raad van die SABS, Pretoria.
- THE SOUTH AFRICAN COMMITTEE FOR STRATIGRAPHY (SACS) (1980) Stratigraphy of South Africa. Handbook 8. Geological Survey, Pretoria.
- SOUTH AFRICAN TRANSPORT SERVICES (1984) Specification for the supply of stone. (S406).
- STACEY, T.R. (1980) A simple device for direct shear testing of intact rock. Jnl of the S A Inst. of Mining and Metal. March 1980.
- THORNBURY, W.D. (1969) Principles of Geopmorphology. 2nd Edition. John Wiley and Sons Inc.
- TMH 1 (1979) (Tegniese metodes vir hoofweë). Standaardtoetsmetodes vir padboumateriale, Nasionale Instituut vir vervoer en padnavorsing. WNNR, Pretoria.
- TPA (1980) Standard specification for road and bridge works. The Director, Roads Department, Pretoria, July 1980.

- TRUSWELL, J.F. (1970) An introduction to the historical geology of South Africa. Purnell, Cape Town.
- TURNER, J.L. (1967) Mapping and study of certain geomorphological features in Natal and regions. MSc thesis, University of Natal.
- United States Bureau of Reclamation (1960) Earth manual United States Dept. of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado.
- VAN SCHALKWYK, A. (1980) Die invloed van geologie op die ontwerp en konstruksie van groter damme in Suid-Afrika. DSc proefskrif, Universiteit van Pretoria.
- VENTER, S.J. (1958) S.A. Vervoerdienste (JHB) - Persoonlike kommunikasie.
- VREEDE, F.A. (1985) NNIMI-WNNR Persoonlike mededeling.
- VOGLER, U.W. (1985) Geomechanics code of practice for the indirect tensile strength index test. pp 1 - 4. Geomechanics Division, NMERI, CSIR, Pretoria 1985.
- VOGLER, U.W. (1985) Geomechanics code of practice for direct shear strength tests conducted on plates of intact rock material. Geomechanics Division, CSIR, 1985 pp 1 - 5.
- VOGLER, U.W. (1958) Geomechanics code of practice for uniaxial compressive strength tests with (optional) deformation measurements, pp 1 - 5 Afdeling Geomeganika, WNNR, Pretoria. 6 Mei 1985.
- WADLEY, R.G. (1982) Lineament analysis of Lansat imagery Lower Tugela Valley, Natal. Report No 53 (Sec 29), Spectral Africa, unpublished.
- WALLACE, P. (1985) Durban Corporation - Persoonlike mededeling.
- WEAVER, J.M. (1975) Geological factors significant in the assessment of ripability. Civ. Eng. S. Afr. Vol. 17 No.12, December 1975, pp 313 - 316.
- WISSING, R. (1985) Persoonlike kommunikasie.