

Die Erodeerbaarheid van Verskillende Rotsformasies Onder Variërende Vloeitoestande

A van Schalkwyk • JM Jordaan • N Dooge

Verslag aan die Watnavorsingskommissie
deur die
Departement Geologie
Universiteit van Pretoria

WNK Verslag No 302/1/95



Disclaimer

This report emanates from a project financed by the Water Research Commission (WRC) and is approved for publication. Approval does not signify that the contents necessarily reflect the views and policies of the WRC or the members of the project steering committee, nor does mention of trade names or commercial products constitute endorsement or recommendation for use.

Vrywaring

Hierdie verslag spruit voort uit 'n navorsingsprojek wat deur die Waternavorsingskommissie (WNK) gefinansier is en goedgekeur is vir publikasie. Goedkeuring beteken nie noodwendig dat die inhoud die siening en beleid van die WNK of die lede van die projek-loodskomitee weerspieël nie, of dat melding van handelsname of -ware deur die WNK vir gebruik goedgekeur of aanbeveel word nie.

**DIE ERODEERBAARHEID VAN VERSKILLEND E ROTSFORMASIES
ONDER VARIËRENDE VLOEITOEESTANDE**

deur

A VAN SCHALKWYK¹, J M JORDAAN² EN N DOOGE³

¹ Departement Geologie, Universiteit van Pretoria

² Departement van Waterwese en Bosbou en Departement
Siviele Ingenieurswese, Universiteit van Pretoria

³ Raad vir Geowetenskap

namens

Departement Geologie
Universiteit van Pretoria
PRETORIA 0002

Verslag aan die Waternavorsingskommissie oor 'n Projek getitel:

"Navorsing oor die erodeerbaarheid van verskillende rotsformasies
onder variërende vloeitoestande"

18 Julie 1994

Departementshoof : Professor S A de Waal

Projekleier : Professor A van Schalkwyk

ERKENNINGS

Hierdie verslag bevat die resultate van 'n projek getitel:

"Navorsing oor die erodeerbaarheid van verskillende rotsformasies onder variërende vloeitoestande"

wat deur die Waternavorsingskommissie befonds is.

Die Loodskomitee wat vir die projek verantwoordelik was, het uit die volgende persone bestaan:

Mnr D S van der Merwe	Waternavorsingskommissie (Voorsitter)
Mnr A G Reynders	Waternavorsingskommissie
Mnr K Blake	EMATEK-WNNR
Mnr W Croucamp	Departement van Waterwese en Bosbou
Dr C Frick	Raad vir Geowetenskap (voorheen Geologiese Opname)
Mnr A J Geertsema	Pretoria Technikon
Dr J M Jordaan	Departement van Waterwese en Bosbou
Dr C Oosthuizen	Departement van Waterwese en Bosbou
Prof A Rooseboom	Universiteit van Stellenbosch
Mnr J C van Beek	Universiteit van Pretoria
Mnr A T van Collier	Departement van Landbou
Mnr C L van den Berg	Departement van Waterwese en Bosbou
Mnr L R Venter	Departement van Landbou
Prof A van Schalkwyk	Universiteit van Pretoria (projekleier)
Mnr J A Zwamborn	Konsultant (voorheen EMATEK-WNNR)
Mev A M du Toit	Waternavorsingskommissie (Sekretaresse)

Die befondsing deur die Waternavorsingskommissie en die bydraes van lede van die Loodskomitee word met dank erken.

Die uitvoering van hierdie projek was slegs moonlik deur die samewerking van verskeie persone en instansies. Die outeurs wil derhalwe hulle opregte dank aan die volgende betuig:

Die Departement van Waterwese en Bosbou, in besonder **dr J M Jordaan** en **mnr S Hartley** vir hulp met die vloeikanaalstudies en alle aspekte van die hidroulika, **mnre J Nortje** en **A Chemaly** van die Damveiligheidskantoor vir inligting oor damoorlope waar erosie voorgekom het, **mnre M A van der Walt** en **J F van Niekerk** van die Boustoflaboratorium vir hulp met die maak en toets van materiale vir die vloeikanaaltoetse, en **mnre A J McKay** en **C A Schutte** van die Direktoraat Opmetingsdienste vir die reël van lugopnames, die teken van kontoerkaarte en die voorsiening van skuins lugfoto's van damme.

Die Divisie EMATEK van die WNNR vir die skenking van 'n vloeikanaal en die leen van 'n waterpomp vir die uitvoering van modeltoetse.

Die Raad vir Geowetenskap vir die beskikbaarstelling van **mnr N Dooge** om vir 'n tydperk van twee jaar voltyds navorsing te doen asook vir laboratorium- en rekenaarfasiliteite.

Die Departement Siviële Ingenieurswese van die Universiteit van Pretoria, in besonder **prof J M Jordaan** en **mnre R Michael** en **J C van Beek** en verskeie senior studente wat hulp verleen het met die opstel van die vloeikanaal en die uitvoer van modeltoetse.

Die Departement Geologie van die Universteit van Pretoria vir die beskikbaarstelling van veldtoerusting en ander fasiliteite en ook in besonder **mej S Pitsiou**, **mnr N Dooge** en senior studente wat gehelp het met die insameling en verwerking van geologiese data.

Dr H J Olivier wat advies gegee het oor die gebruik van rotsmassaklassifikasiestelsels en **dr C H Saayman** wat verskeie geofisiese metodes op die proef gestel het.

Dr H A D Kirsten wat skakeling met die Soil Conservation Service van die VSA Departement van Landbou bewerkstellig het.

Die VSA Soil Conservation Service, in besonder **mnre J Moore** en **J Brevard** vir die beskikbaarstelling van data oor erosie by damoorlope in die VSA.

Mnr D Winterbach wat behulpzaam was met die redigering van die manuskrip.

Mev V Peer wat die meeste van die tekenwerk gedoen het.

Mej B Carr wat met die saamstel van die verslag gehelp het.

BESTUURSOPSOMMING

DIE ERODEERBAARHEID VAN VERSKILLEND E ROTSFORMASIES ONDER VARIËRENDE VLOEITOESTANDE

deur

A VAN SCHALKWYK¹, J M JORDAAN² EN N DOOGE³

- ¹ Departement Geologie, Universiteit van Pretoria
- ² Departement van Waterwese en Bosbou en Departement
Siviele Ingenieurswese, Universiteit van Pretoria
- ³ Raad vir Geowetenskap

namens

Departement Geologie
Universiteit van Pretoria
PRETORIA 0002

Aanhangsel tot die volle verslag aan die Waternavorsingskommissie
oor 'n projek getitel : "Navorsing oor die erodeerbaarheid van
verskillende rotsformasies onder variërende vloeitoestande".

Departementshoof : Professor S A de Waal
Projekleier : Professor A van Schalkwyk

Pretoria : 18 Julie 1994

1. INLEIDING

Een van die belangrikste aspekte wat die uitvoerbaarheid en koste, asook die veiligheid van damme beïnvloed, is die beskikbaarheid al dan nie van geskikte rots om in en stroomaf van die oorloop en/of afvoerkanaal weerstand te bied teen erosie. Indien daar twyfel oor die erosieweerstand van materiale bestaan, word die oorlope van belangrike damme gewoonlik met beton beklee. Korrek beklede oorlope bied goeie beskerming teen erosie, maar die verhoogde kapitaalkoste daaraan verbonde, kan die ekonomiese uitvoerbaarheid van veral kleiner damme nadelig beïnvloed.

Huidige metodes om die omvang van erosieskade in verskillende rotsformasies in onbeklede damoorlope en gebiede stroomaf daarvan te kan voorspel, is onbevredigend en veroorsaak dat daar dikwels onnodige koste aangegaan word deur goeie kwaliteit rots te beklee, terwyl, in ander gevalle, ernstige skade deur erosie van onbeklede oorlope veroorsaak word.

2. DOELSTELLINGS

Die doelstellings van die projek soos omskryf in die ooreenkoms met die Waternavorsingskommissie, was soos volg:

- Identifikasie van die ingenieursgeologiese en hidrouliese parameters wat die erodeerbaarheid van 'n rotsformasie beïnvloed.
- Ontwikkeling van 'n prosedure om 'n rotsmassa in terme van erodeerbaarheid te karakteriseer.
- Ontwikkeling van 'n korrelasie tussen vloeisnelheid (of drukhoogte in die geval van vryvaloorlope) en die graad asook die tempo van erosie wat verwag kan word.

3. RESULTATE

3.1 Literatuurstudie

'n Omvattende literatuurstudie is onderneem om die volgende in te sluit: (i) beskrywing van verskillende soorte damoorlope, (ii) gevallestudies van erosieskade by damoorlope, (iii) resultate van eksperimentele werk, (iv) faktore wat erodeerbaarheid van grond en rots beïnvloed, (v) meganisme van erosie in verskillende soorte materiaal, (vi) rotsmassaklassifikasiestelsels vir verskillende toepassings, en (vii) bestaande metodes vir evaluering van erodeerbaarheid.

Die belangrikste resultate van die literatuurstudie kan soos volg opgesom word:

- Probleme met erosie by onbeklede damoorlope word wêreldwyd ondervind en verskeie instansies is besig met navorsing in hierdie verband.
- Daar is metodes beskikbaar waarmee die erodeerbaarheid van kohesielose en sagte kohesiewe materiale onder verskillende vloeitoestande bepaal kan word. Toetse met hoëdrukwaterspuite word dikwels gebruik vir die evaluering van erodeerbaarheid.
- Empiriese formules vir die berekening van kolkgatdiepte by vryvaloorlope gee 'n redelik goeie korrelasie met waargenome toestande, maar bring nie die geotegniese eienskappe van die rotsformasie in berekening nie.
- Natuurlike rotsformasies bestaan uit 'n komplekse samestelling van rotsblokke en diskontinuiteite wat op baie verskillende maniere deur vloeiende water aangeval kan word. Alhoewel die meganisme van erosie en die tersaaklike rotsmassaparameters reeds ondersoek is, bestaan daar geen bevredigende metode om die graad en tempo van erosie van rotsformasies met die verwagte hidrouliese toestande waaraan dit blootgestel sal wees, te voorspel nie.
- Diskontinuiteite in 'n rotsformasie verteenwoordig gewoonlik die swakste materiaal wat eerste sal erodeer en toegang aan water verleen om die rotsmassa binne te dring en rotsblokke te verwyder. Rotsmateriaal (rotsblokke in die rotsmassa) ondergaan geen of min verandering wanneer dit aan watervloei onderwerp word. Wanneer die sagter naatvulmateriaal rondom die rotsblokke egter uitgespoel word, kry waterdruk toegang tot die rotsmassa en word blokke uitgelig en weggevoer.
- Erosie kan plaasvind as gevolg van verwerking, drukverligting, verwydering van kohesielose materiaal, afskuur van kohesiewe materiaal en beweging van blokke uit 'n gepakte rotsmassa. Die proses wat erosie veroorsaak, hang ook af van die hidrouliese toestande wat kan wissel van plaatvloei tot hoogs turbulente vloei of direkte impak van 'n waterstraal.
- As gevolg van die komplekse aard van rotsformasies, vind verskillende meganismes van erosie gelyktydig plaas. Die prosesse van erosie verander ook met tyd omdat materiaal wat verwyder word, nuwe geometriese en geologiese toestande blootstel.
- Verskeie navorsers het tot die gevolgtrekking gekom dat dit vanweë die komplekse interaksie tussen rotsformasies en hidrouliese parameters, nie moontlik is om 'n streng wetenskaplike metode vir die bepaling van erodeerbaarheid daar te stel nie.

3.2 Veld- en laboratoriumtoetse

'n Reeks modeltoetse in 'n vloeikanaal is uitgevoer om die meganisme van erosie op sagter materiale wat naatvulling in 'n rotsformasie naboots, te bestudeer.

Verskillende sand-klei-, sand-klipslag-klei-, sand-sement- en sand-kalkmengsels is gekompakteer en aan 'n verskeidenheid indeks- en skuifsterktoetse onderwerp. Daarna is hierdie materiale alleen, of in kombinasie met kleiteëls, in 'n vloeikanaal onder verskillende vloeitoestande aan erosie blootgestel.

Die belangrikste resultate van die laboratoriumtoetse is die redelike goeie verband wat verkry is tussen die klei-inhoud en kohesie van die monsters en die drumpelsnelheid en drumpeleenheidsdrywing waarby erosie begin plaasvind. Daar is ook 'n korrelasie tussen klei-inhoud en erosietempo wanneer die toetse uitgevoer word met vloeisnelhede wat hoër as die drumpelwaardes is.

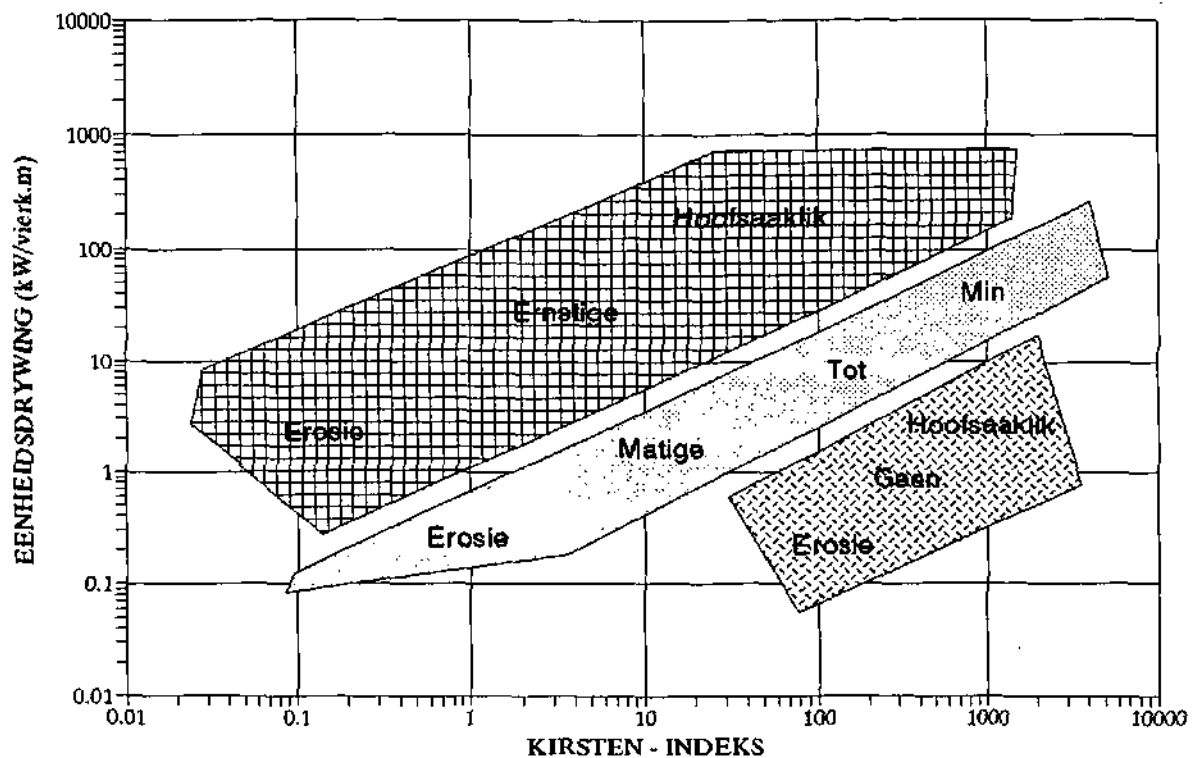
Die ETCOM-waterspuittoetse wat op monsters in die laboratorium uitgevoer is, het nie 'n goeie korrelasie met kohesie of erodeerbaarheid getoon nie. Hoëdrukwaterspuittoetse wat in die veld uitvoer is, het nie voldoende stroomdrywing voorsien om rotsblokke te beweeg nie. Hierdie soort toetse kan moontlik gebruik word om die relatiewe erosieweerstand van sagte naatvulmateriaal in 'n rotsformasie aan te dui.

3.3 Ondersoek van erosieskade by damoorlope

Die benadering van hierdie studie was om met behulp van 'n groot aantal gevallestudies van erosieskade by bestaande damoorlope, 'n geskikte korrelasie te probeer vind tussen geselekteerde parameters van die rotsmassa, die stroomvloeï en die waargenome erosie.

Data van altesaam 91 erosiepunte met verskillende rotsformasies, vloeitoestande en grade van erosie is van damoorlope in Suid-Afrika en die VSA verkry en verskeie kombinasies van parameters is met mekaar vergelyk, ten einde die rotsmassaparameters wat die beste korrelasie bied, te kan identifiseer.

In die meeste gevalle was daar geen of baie swak korrelasie wanneer enkele of kombinasies van rotsmassaparameters gebruik is, en die enigste duidelike onderskeid tussen die verskillende grade van erosie het voorgekom waar eenheidstroomdrywing teen die Kirsten-indeks op log-log-papier gestip is. Hierdie grafiek is gebruik om 'n evalueringskaart (Figuur 1) op te stel waarmee 'n voorspelling van die graad van erosie in 'n onbeklede oorloop gemaak kan word.



Figuur 1. Evalueringskaart vir erodeerbaarheid van rotsformasies.

3.4 Geotegniese ondersoek, voorsorg- en herstelmaatreëls

Geotegniese ondersoek vir die evaluering van erodeerbaarheid behoort in drie stadia uitgevoer te word.

Gedurende die eerste stadium is die rots gewoonlik nie blootgestel nie, en word van diamantboorkern en waterdruktoetse in boorgate gebruik gemaak om die rotsparameters vir die berekening van 'n voorlopige Kirsten-indeks te verkry.

Tydens die konstruksiestadium word die rotsformasie blootgestel en kan al die parameters gemeet word om sodoende 'n meer betroubare Kirsten-indeks te kan bereken.

Elke keer nadat 'n vloed wat groter as die vorige een is, deur die oorloop gevoer is, behoort die graad van erosie by geselekteerde punte gemeet te word ten einde die betroubaarheid van die evalueringskaart te toets en, waar nodig, te verbeter.

Die toepaslikheid van 'n aantal verskillende maatreëls vir voorsorg teen moontlike erosieskade en metodes om bestaande erosieskade te herstel word bespreek. Die belangrikste hiervan is die demping van energie, volledige of gedeeltelike bekleding van erodeerbare materiale en verwydering van onreëlmatighede of los materiaal uit die pad van die watervloei.

4. GEVOLGTREKKINGS

4.1 Bereiking van doelstellingen

Met die daarstel van 'n rotsmassa-evalueringskaart waarmee die verwagte graad (diepte) van erosie as gevolg van watervloei met 'n berekende eenheidsdrywing voorspel kan word, is die belangrikste doelstellingen van die navorsing bereik.

Die verspreiding van waargenome datapunte op die evalueringskaart dui daarop dat die gekose erosieparameters (Kirsten-indeks, eenheidsdrywing en erosiediepte) moontlik nie vir alle toestande ewe geskik is nie. Die evalueringsgrense is egter so konserwatief getrek dat die kaart met vertroue as 'n voorlopige riglyn vir ontwerp gebruik kan word.

5. Publikasies

5.1 Twee Magisterverhandelings het uit die navorsing voortgespruit:

Pitsiou, S. (1990). The effect of discontinuities on the erodibility of rock in unlined spillways of dams. University of Pretoria (unpublished).

Dooge, N. (1993). Die hidrouliese erodeerbaarheid van rotsmassas in onbelynde oorlope met spesiale verwysing na die effek van naatvulmateriaal. Universiteit van Pretoria (ongepubliseer).

5.2 Die volgende publikasies is voorberei:

Van Schalkwyk, A. (1990). Evaluering van die erodeerbaarheid van rots in onbeklede oorlope en nie-oorloopgedeeltes van damme. Simposium oor Damveiligheid: Vier jaar later. SANCOLD/SAICE, Pretoria, 25-26 September 1990.

Van Schalkwyk, A., Jordaan (jnr.), J.M. & Dooge, N. (1994). Erosion of rock in unlined spillways. Proc. 18th ICOLD Congress on Large Dams, Durban, Q.71, R.37, 555-571.

Van Schalkwyk, A., Dooge, N. & Pitsiou, S. (1995). Rock mass characterization for evaluation of hydraulic erodibility. Proc. 11th Eur. Conf. Soil. Mech. & Found. Engng., Copenhagen.

Van Schalkwyk, A. & Dooge, N. (1995?) The evaluation of rock mass quality in terms of hydraulic erodibility. (Vir publikasie in die Bulletin of the International Association of Engineering Geology.)

6. VERDERE NAVORSING EN OORDRAG VAN TEKNOLOGIE

Navorsing van hierdie aard kan nooit as afgehandel beskou word nie omdat daar in die toekoms steeds groter vloede as voorheen oor die bestaande erosiepunte sal vloei en nuwe oorlope op rotsformasies met ander eienskappe gevorm sal word. Daar word dus aanbeveel dat 'n sentrale organisasie soos die Damveiligheidskantoor van die Departement van Waterwese en Bosbou inligting oor erosieparameters tydens toekomstige vloede sal insamel sodat die evalueringskaart verder getoets en verbeter kan word.

Die erosieparameter wat tydens hierdie studie slegs by benadering bereken kon word, is die eenheidstroomdrywing. Verdere navorsing is nodig om die effek van lokale onreëlmatighede in die geometrie van die kanaal of skortgebied op die eenheidsdrywing te kwantifiseer.

Verdere navorsing moet ook gedoen word om die eienskappe van naatvulmateriaal in die veld met groter vertroue te kan bepaal.

Aangesien die verslag in Afrikaans opgestel, en dit derhalwe van min waarde vir buitelandse navorsers sal wees, word daar beoog om voordragte by internasionale kongresse en 'n artikel in 'n internasionale tydskrif te publiseer (sien par. 5.2).

INHOUDSOPGAWE

1.	INLEIDING	...1
1.1	Agtergrond en probleemstelling	...1
1.2	Doelstellings	...2
1.3	Navorsingsprosedure	...2
1.4	Instansies en persone betrokke	...4
2.	LITERATUURSTUDIE	...6
2.1	Tipes damoorlope	...6
2.2	Gevallestudies van erosieskade wêreldwyd	...7
2.3	Eksperimentele werk	...11
2.4	Faktore wat erodeerbaarheid bepaal	...17
2.5	Meganisme van erosie	...22
2.6	Rotsmassaklassifikasiestelsels	...33
2.7	Metodes om erodeerbaarheid te bepaal	...37
2.8	Gevolgtrekkings van die literatuurstudie	...41
3.	DATA OOR EROSIE BY DAMOORLOPE	...43
3.1	Inleiding	...43
3.2	Ondersoeke van damoorlope in Suid-Afrika	...43
3.3	Data oor damoorlope in die VSA	...59
4.	VELD- EN LABORATORIUMTOETSE	...62
4.1	Proewe met vervaardiging van monsters	...62
4.2	Indekstoetse	...64
4.3	Skuifsterktetoetse op monsters	...67
4.4	Vloeikanaaltoetse	...68
4.5	Toetse met hoëdrukwaterspuit	...81
5.	EVALUERING VAN ERODEERBAARHEID	...84
5.1	Inleiding	...84
5.2	Erosieparameters	...84
5.3	Korrelasies	...85
5.4	Evalueringskaart	...91

6.	GEOTEGNIESE ONDERSOEKE EN VOORSORG- EN HERSTELMAATREËLS	...94
6.1	Geotegniese terreinondersoeke vir erodeerbaarheid	...94
6.2	Voorsorg- en herstelmaatreëls	...96
7.	BESPREKING EN GEVOLGTREKKINGS	...99
7.1	Doelstellings	...99
7.2	Resultate	...99
7.3	Aanbevelings	...101
8.	VERWYSINGS	...103

FIGURE

2.1	Geventileerde en nie-geventileerde vloei	...24
2.2	Verwyderbare (a) en nie-verwyderbare (b) blokke	...26
2.3	Terugwaartse knakpunterosie	...32
3.1	Voorbeeld van lengtesnit langs afvoerkanaal	...55
4.1	Erosietempo vir verskillende vloeisnelhede	...77
4.2	Erosietempo by drumpelwaardes van vloeisnelhede	...79
5.1	Grafiek van eenheidsdrywing ($P_{a(1)}$) teen materiaalsterkte (M_s)	...86
5.2	Grafiek van eenheidsdrywing ($P_{a(1)}$) teen naatvolume (J_v)	...86
5.3	Grafiek van eenheidsdrywing ($P_{a(1)}$) teen RKW/J_n	...87
5.4	Grafiek van eenheidsdrywing ($P_{a(1)}$) teen $RKW \cdot M_s / 100$	...87
5.5	Grafiek van eenheidsdrywing ($P_{a(1)}$) teen Bieniawski RMR-waarde	...88
5.6	Grafiek van eenheidsdrywing ($P_{a(1)}$) teen Kirsten-indeks	...89
5.7	Grafiek van eenheidsdrywing vir gemiddelde gradiënt ($P_{a(g)}$) teen Kirsten-indeks	...90
5.8	Grafiek van eenheidsdrywing vir energie- gradiënt ($P_{a(e)}$) teen Kirsten-indeks	...90
5.9	Grafiek van stroomsnelheid teen Kirsten-indeks	...91

5.10	Grafiek van eenheidsdrywing ($P_{a(1)}$) teen Kirsten-indeks (data van RSA, VSA en vloeikanaaltoetse)	...92
5.11	Evalueringskaart vir erodeerbaarheid van rotsformasies	...93

TABELLE

2.1	Opsomming van erosietoetse deur Hanson (1990a)	...12
2.2	Definisie van uitgraafbaarheidsklassifikasiesstelsel vir grond en rots (volgens Kirsten, 1982)	...37
2.3	Metode om die geotegniese EPI te bereken	...40
3.1	Opsomming van gegewens oor geselekteerde oorlope in Suid-Afrika	...44
3.2	Opsomming van data oor oorlope en vloedpieke in Suid-Afrika	...45
3.3	Sterkte van rots met indekstoetse volgens Kirsten (1982)	...46
3.4	Kohesie van kohesiewe materiaal volgens Kirsten (1982)	...47
3.5	Naatstelnommer (J_n) (volgens Kirsten, 1982)	...48
3.6	Relatiewe struktuurwaarde (J_s) (aangepas vanaf Kirsten, 1982)	...49
3.7	Naatruheidswaarde (J_r) (volgens Kirsten, 1982)	...50
3.8	Beskrywing van naatvulmateriaal (volgens Kirsten, 1982)	...50
3.9	Besonderhede oor rotsmassaparameters by erosiepunte in Suid-Afrika	...51
3.10	Besonderhede oor diskontinuïteite by erosiepunte in Suid-Afrika	...52
3.11	Klassifikasiestelsel vir bepaling van graad van erosie	...57
3.12	Data oor stroomdrywing volgens energiegradiënt en erosieklas vir erosiepunte in Suid-Afrika	...58
3.13	Data oor stroomdrywing volgens gemiddelde en lokale gradiënte en erosieklas vir erosiepunte in Suid-Afrika	...59
3.14	Data oor eenheidsdrywing en erosieklas by erosiepunte in die VSA	...61
4.1	Eienskappe van Jacobsdalsand	...63
4.2	Chemiese samestelling van die twee tipes	

	bentoniet	...63
4.3	Chemiese samestelling van kalk	...64
4.4	Chemiese analise van die kaolien	...64
4.5	Besonderhede oor monsters vir indekstoetse	...65
4.6	Opsomming van die indekstoetse wat op die monsters uitgevoer is	...66
4.7	Opsomming van skuifsterktetoetsresultate	...68
4.8	Opsommende doelstellings van toetsprogramme	...70
4.9	Besonderhede oor toetsmonsters vir Program 1	...71
4.10	Besonderhede oor toetsmonsters vir Program 2	...72
4.11	Besonderhede oor toetsmonsters vir Program 5	...74
4.12	Gemiddelde erosiediepte vir Program 5	...75
4.13	Opsomming van drumpelwaardes en erosietempo's	...76
4.14	Resultate van Program 10	...78
4.15	Opsomming van resultate van Toetsprogramme 6 tot 10	...81
4.16	Opsomming van resultate van hoëdrukwaterspuittoetse	...83
6.1	Voorsorgmaatreëls vir verskillende erosiepotensiale	...95

BYLAES

1. DATA OOR DAMOORLOPE IN SUID-AFRIKA
2. FOTO-ALBUMS
3. HIDROGRAWE EN BEREKENINGS VIR PIEKVLOEIE
4. DATA OOR WATERSPUITTOETSE
5. DATA OOR NAATEIENSKAPPE BY EROSIEPUNTE

1. INLEIDING

1.1 Agtergrond en probleemstelling

'n Dam wat in 'n rivier gebou word, moet voorsiening maak vir die wegvoer van vloedwater. Gewoonlik word sulke water met behulp van 'n oorloop oor die damwal na 'n plonsoel of langs 'n natuurlike sloep of geboude kanaal, na die rivier stroomaf van die damwal weggelei.

Een van die belangrikste aspekte wat die uitvoerbaarheid en koste, asook die veiligheid van damme beïnvloed, is die beskikbaarheid al dan nie van geskikte rots om in en stroomaf van die oorloop en/of afvoerkanaal weerstand te bied teen erosie. Indien daar twyfel oor die erosieweerstand van materiale bestaan, word die oorlope van belangrike damme gewoonlik met beton bekleed. Korrek beklede oorlope bied goeie beskerming teen erosie, maar die verhoogde kapitaalkoste daaraan verbonde, kan die ekonomiese uitvoerbaarheid van veral kleiner damme nadelig beïnvloed.

Verskeie damme het al geswig as gevolg van verkeerd ontwerpte oorlope, oormatige erosie in onbeklede oorloopstrukture of deur oorlope met onvoldoende kapasiteit. Die energie wat vrygestel word as die water na die oorspronklike riviervlak terugkeer, kan groot vibrasies en ernstige erosie veroorsaak indien dit nie behoorlik gedemp of beheer word nie. Die volgende probleme kan ontstaan indien grootskaalse erosie in damoorlope plaasvind:

- Menslike lewens kan in gevaar gestel word deur skade aan of swigting van die dam.
- Eiendom kan beskadig of vernietig word.
- Groot koste moet aangegaan word om die skade te herstel.
- Ongerief en skade word veroorsaak as gevolg van onderbreking van watervoorsiening.

Huidige metodes om die omvang van erosieskade in verskillende rotsformasies in onbeklede damoorlope en gebiede stroomaf daarvan te kan voorspel, is onbevredigend en veroorsaak dat daar dikwels onnodige koste aangegaan word deur goeie kwaliteit rots te beklee, terwyl, in ander gevalle, ernstige skade deur erosie van onbeklede oorlope veroorsaak word.

'n Voorbeeld van erosieskade in die onbeklede afvoerkanaal van die Hans Strydomdam word op Foto 8.2, Album 3, Bylae 2 geïllustreer. Groot koste moes byvoorbeeld aangegaan word om erosieskade in die geval van die Marico Bosvelddam te herstel (Foto 13.3, Album 3, Bylae 2). Hierdie is slegs enkele voorbeelde van erosieskade wat by damoorlope in Suid-Afrika voorgekom het.

Navorsing oor die erosie van grond- of grasbedekte onbeklede damoorlope is al deur talle instansies gedoen. Tot op hede is daar

egter nog nie 'n toets ontwerp waardeur die moontlikheid en omvang van erosie in verskillende soorte rotsformasies volgens vasgestelde parameters geklassifiseer en geëvalueer kan word nie. Die term rotsformasies wat hier ter sprake is, verwys na verskillende gesteentetipes wat in verskillende grade van verwering kan voorkom en diskontinuiteite kan bevat wat verskil ten opsigte van oriëntasie-, spasiërings-, wand- en vulmateriaaleienskappe. Die term rotsmassa word dikwels in dieselfde konteks as rotsformasie gebruik.

1.2 Doelstellings

Geotegniese ondersoeke vir damoorlope vereis dat die beskikbare geologiese formasies geëvalueer word in terme van hulle geskiktheid as fondament vir 'n betonstruktuur en/of hulle weerstand teen erosie deur bewegende water.

Die doelstellings van die projek soos omskryf in die Ooreenkoms met die Waternavorsingskommissie was soos volg:

- Identifikasie van die ingenieursgeologiese en hidrouliese parameters wat die erodeerbaarheid van 'n rotsformasie beïnvloed.
- Ontwikkeling van 'n prosedure om 'n rotsmassa in terme van erodeerbaarheid te karakteriseer.
- Ontwikkeling van 'n korrelasie tussen vloeisnelheid (of drukhoogte in die geval van vryvaloorlope) en die graad asook die tempo van erosie wat verwag kan word.

Aangesien die WNK in 1992 'n projek oor uitskuring in plonspoele benede vryvaloorlope van damme aan EMATEK van die WNNR toegeken het, is besluit om hierdie navorsing op die gedrag van rotsformasies in afvoerkanale toe te spits.

1.3 Navorsingsprosedure

'n Navorsingsvoorlegging aan die WNK in verband met 'n voorgestelde loodsondersoek om die effek van geologie op die erodeerbaarheid van verskillende rotsformasies in onbeklede damoorlope te bestudeer, is gedurende 1988 goedgekeur en 'n verslag oor die loodsondersoek deur Van Schalkwyk (1989) is op 31 Augustus 1989 voltooi.

Bogenoemde verslag bevat die resultate van 'n voorlopige literatuurstudie en data oor rotsmassatoestande, vloeisnelhede en graad van erosie wat by 11 damoorlope in Suid-Afrika ingesamel is. Op grond van aanbevelings in hierdie verslag, het die WNK in 1990 'n ooreenkoms met die Universiteit van Pretoria aangegaan vir 'n navorsingsprojek wat oor drie jaar sou strek. Die termyn vir die

navorsing is daarna met 18 maande tot 30 Junie 1994 verleng.

Die navorsingsaktiwiteite tydens die duur van die hoofprojek kan soos volg opgesom word:

- Die literatuurstudie is uitgebrei om die volgende in te sluit: (i) beskrywing van verskillende soorte damoorlope, (ii) gevallestudies van erosieskade by damoorlope, (iii) resultate van ekperimentele modelstudies, (iv) meganisme van erosie in verskillende soorte materiaal, (v) rotssmassaklassifikasiesistels vir verskillende toepassings, en (vi) bestaande metodes vir evaluering van erodeerbaarheid.
- Altesaam 29 damoorlope in Transvaal, Natal en die Kaapprovinsie, waar 'n meerdere of mindere mate van erosie plaasgevind het, is by een of meer geleenthede besoek ten einde die graad en meganisme van erosie te ondersoek en rotssmassatoestande te beskryf.
- Vloeierekords van vloedpieke van slegs 18 van bogenoemde oorlope kon verkry word. Hierdie terreine is verder ondersoek deur (i) tipiese erosiepunte te identifiseer, (ii) die rotssmassatoestande by elke punt te beskryf, en (iii) topografiese opmetings te doen ten einde vloei snelhede en stroomdrywing by elke erosiepunt te kan bereken. Op hierdie wyse kon altesaam 43 punte met verskillende kombinasies van rotstoestande, grade van erosie en hidrouliese parameters bestudeer word.
- By een terrein is toetse met 'n hoëdrukwaterspuit op formasies met variërende eienskappe uitgevoer ten einde die meganisme en tempo van erosie te probeer bepaal.
- Vloeierekords van vloedpieke van 18 van bogenoemde oorlope is verkry en hierdie data, tesame met die topografiese data van die terreinopmetings, is gebruik om die hidrouliese parameters wat vir die erosie verantwoordelik was, te bereken.
- Verskeie modeltoetse in 'n vloei kanaal is uitgevoer om die meganisme en tempo van erosie op sagter materiale wat naatvulling in 'n rotssmassa naboots, te bestudeer. Verskillende sand-klei- en sand-sementmengsels is in die vorm van plaatvormige blokkies saamgepers en verskeie indeks- en skuifkastoetse is daarop uitgevoer om die sterktes daarvan te bepaal.
- 'n Werksvergadering van die Soil Conservation Service van die Amerikaanse Departement van Landbou is in Washington DC bygewoon ten einde inligting te bekom oor 'n soortgelyke navorsingsprojek wat daar uitgevoer word.

1.4 Instansies en persone betrokke

Die Waternavorsingskommissie het die volgende persone aangestel in 'n loodskomitee vir die navorsingsprojek:

Mnr D S van der Merwe (WKN), Voorsitter
Mnr K Blake (EMATEK-WNNR)
Mnr W Croucamp (Departement van Waterwese en Bosbou)
Dr C Frick (Raad vir Geowetenskap)
Mnr A J Geertsema (Technikon Pretoria)
Dr J M Jordaan (Departement van Waterwese en Bosbou)
Dr C Oosthuizen (Departement van Waterwese en Bosbou)
Mnr A G Reynders (WKN)
Prof A Rooseboom (Universiteit van Stellenbosch)
Mnr J C van Beek (Universiteit van Pretoria)
Mnr A T van Collier (Departement van Landbou)
Mnr C L van den Berg (Departement van Waterwese en Bosbou)
Prof A van Schalkwyk (Universiteit van Pretoria)
Mnr L R Venter (Departement van Landbou)
Mnr J A Zwamborn (EMATEK-WNNR)

Bogenoemde komitee het jaarliks vergader om vordering van die projek te moniteer en om voorgestelde jaarprogramme goed te keur. Verskeie lede van die komitee het op 'n ad hoc-grondslag waardevolle advies verleen.

Prof Jordaan, in sy hoedanigheid as buitengewone professor van Siviele Ingenieurswese aan die Universiteit van Pretoria, het deurlopend 'n aktiewe rol gespeel deur (i) met die opstel van die vloeikanaal en uitvoer van modeltoetse te help, (ii) inligting en advies oor hidroulika-aspekte te voorsien, (iii) detailontledings te maak van hidrouliese toestande by verskeie damoorlope, en (iv) op te tree as medestudieleier vir twee MSc-studente in die Departement Geologie.

Verskeie beamptes van die Departement van Waterwese en Bosbou het insette gelewer deur inligting oor erosie by damoorlope te voorsien, lugfoto's en kontoerplanne van oorlope te laat maak, hidrologiese data beskikbaar te stel, hulp te verleen met die voorbereiding en toets van materiale vir modeltoetse, en toerusting te voorsien vir die uitvoer van hoëdrukspuittoetse.

Die S A Raad vir Geowetenskap (voorheen die Geologiese Opname) het toestemming aan 'n beampte, mnr N Dooge, verleen om twee jaar lank voltyds met navorsing te help ten einde 'n MSc-graad te verwerf. Sekere toetse is ook by die Raad se laboratoria uitgevoer.

EMATEK van die WNNR het 'n vloeikanaal aan die Universiteit van Pretoria geskenk ten einde die modeltoetse uit te voer en ook 'n pomp voorsien om watervloei te versterk.

Die Departement van Siviele Ingenieurswese van die Universiteit van Pretoria het ruimte vir die oprigting van die vloeikanaal asook materiaal verskaf en hulp verleen om gebreekte dele te vervang en watertoevoer te voorsien. Personeel en nagraadse studente van dié Departement het hulp verleen met die uitvoer van modeltoetse.

Verskeie studente van die Departement Geologie was behulpsaam met die insameling en verwerking van inligting. Twee studente het data van die projek gebruik om MSc-grade te verwerf.

Twee spesialiskonsultante, dr C H Saayman en dr H J Olivier, het hulp verleen met die ontwikkeling van geofisiese en meganiese metodes vir die evaluering van rotsmassatoestande.

2. LITERATUURSTUDIE

Tydens die literatuurstudie is daar aandag geskenk aan die volgende: (i) die vernaamste soorte damoorlope, (ii) gevallestudies van erosie by damoorlope, (iii) eksperimentele werk om die erosieproses te bestudeer, (iv) faktore wat erodeerbaarheid van rotsformasies bepaal, (v) meganismes van erosie in rotsformasies, (vi) rotsmassaklassifikasiestelsels vir verskillende toepassings, en (vii) bestaande metodes vir die evaluering van erodeerbaarheid.

2.1 Tipes damoorlope

Daar is 'n groot verskeidenheid damoorlope in gebruik en slegs die belangrikste tipes word hier kortliks beskryf (volgens Hoffman, 1977 en Van Schalkwyk, 1980).

(a) Vryvaloorloop

Hier val die water vrylik oor die kruin van die damwal soos in die geval van 'n dunboog- of stutmuurdam waar die stroomaf-kant oorhel of feitlik vertikaal staan. Geweldige groot skokkragte word deur die water op die grond of rots stroomaf van die damwal veroorsaak en indien daar nie 'n kunsmatige bekleding voorsien word nie, kan 'n plonsgat ontwikkel, soms ook in rots van goeie kwaliteit. 'n Betonskort om die rots te beskerm is ook onderhewig aan groot vibrasies en moet derhalwe op rots van baie goeie gehalte gebou word. 'n Voorbeeld van hierdie tipe oorloop is die Craigie Burndam (Foto 4.1, Album 4, Bylae 2).

(b) Oorvloei(ogee)-oorloop

Hierdie oorloop het 'n S-vorm wat so ontwerp word dat die waterplaat vas teen die stroomaf-kant van die damwal vloei. Hierdie tipe oorloop word meesal by swaartekragdamme gebruik, soos byvoorbeeld die Bridledrift-oorloopstruktuur (Foto 3.2, Album 3, Bylae 2). Energiedemping kan verkry word deur stroombrekers naby die kruin en 'n stilbak met of sonder stroombrekers by die toon van die oorloop te plaas.

(c) Sykanaaloorloop

By hierdie tipe oorloop word die beheerkruinmuur langs die kant en ongeveer parallel met die boonste deel van die afvoerkanaal geplaas. Vloei oor die muur val in 'n nou trog, draai ongeveer deur 'n regte hoek en vloei dan in die kanaal af. Water kan slegs van een kant of van beide kante af oor 'n U-vormige kruinmuur (badskottelontwerp) in die trog vloei. Hierdie tipe oorloop word gebruik in nou valleie waar 'n groter oorvloeilengte nodig is of waar 'n oorloop teen 'n steil flank langs 'n vuldam ingepas moet word. 'n Voorbeeld van hierdie tipe oorloop is die Hartebeespoortdam (Foto 9.1, Album 4, Bylae 2).

(d) Geutoorloop

Hierdie benaming geld vir enige tipe oorloop (sykanaal, hekbeheerde oorvloei, ens.) waarvan die afloopwater stroomaf met behulp van 'n oop kanaal na die riviervlak gevoer word. Die naam word egter meesal gebruik waar die beheerstruktuur naastenby loodreg op die rigting van die kanaal geplaas is. Hierdie tipe oorloop word dikwels by die konstruksie van vuldamme gebruik.

(e) Saagtandoorloop

Die idee van hierdie tipe oorloop is om die kruinlengte, waaroor die water vloei, te vermeerder sodat minder vryboorddiepte nodig is om 'n gegewe vloed te beheer. 'n Voorbeeld van hierdie tipe oorloop is die Marico Bosvelddam (Foto 13.1, Album 4, Bylae 2).

2.2 Gevallestudies van erosieskade wêreldwyd

(a) AUSTRALIË : Burrinjuckdam (Woodward, 1984)

Die oorloopstruktuur van hierdie dam is gedeeltelik beklee en het die vermoë om 200 m³/s/m oor goeie tot uitstekende kwaliteit graniet te laat vloei. Gedurende 'n vloed van 102 m³/s/m in 1974, was ernstige erosie die oorsaak dat 'n toevoerpylp na 'n kragstasie gebreek het. Die groot hoogteverskil (60 m) en steil helling (13 grade) van die kanaal word as rede vir die erosie aangevoer.

(b) AUSTRALIË : Copetondam (Woodward, 1984; Thomson & Woodward, 1980; Otto, 1990)

Die Copetondam is 'n 113 m-hoë vuldam met 'n hekbeheerde oorloop na 'n nek wat 500 m van die damwal geleë is. Die afvoerkanaal is vir die eerste 55 m beklee en val 130 m teen 'n gemiddelde helling van 14 grade. Die ontwerpvloei is 14 800 m³/s en 'n maksimum vloeisnelheid van 15 m/s is bereken. Die kanaal is geleë in redelik goeie kwaliteit graniet met matig gespasieerde nate. Die ontwerpers het besef dat daar 'n moontlikheid van erosie bestaan.

Tydens die eerste vloei van 460 m³/s is 'n kanaal van 10 m wyd en tot 30 m diep langs 'n bestaande vallei gekerf en die stroomaf-gedeelte van die bekleding ondergrawe. Na die vloed het die rots in die kanaal verdere agteruitgang getoon as gevolg van spanningsverligting en oopmaak van uitgebreide vertikale nate wat met laumontiet gevul is.

Die erosie is veroorsaak deur die hoë drukhoogte en steil helling wat water teen hoë snelheid in 'n smal vallei gekonsentreer het. Swak nate in die rots en 'n hoë horisontale spanning (15-20 MPa) het veroorsaak dat plaatswigting telkens die boonste rotslae laat los kom en aan verwydering blootgestel het.

Gedurende die daaropvolgende herstelwerk is verskeie gebiede in die afvoerkanaal van betonbekleding voorsien en 'n keermuur tussen die vyfde en sesde hekke aangebring sodat vier hekke as diensoorloop en die ander vyf, waar die erosiekanaal gevorm het, as noodoorloop gebruik kan word.

(c) KANADA : Grand Rapids kragstasie (Mason, 1985)

Grand Rapids kragstasie het 'n oorloop wat 4 000 m³/s water op goeie kwaliteit kalksteen kan laat val. Na die eerste vier jaar waartydens die rots aan oormatige, gekonsentreerde en asimetriese vloei blootgestel was, is die boonste goeie kwaliteit rotslaag van 3-5 m dik verwyder en daarna het die onderliggende hoogs genate sagte kalksteen vinnig uitgeskuur tot 'n diepte wat 30 persent meer was as die verwagte diepte vir die volle leeftyd. Gedurende herstelwerk is die geut tot by die plonspoel verleng en water met behulp van 'n getande drumpel na die stroomaf kant van die poel gerig.

(d) PAKISTAN : Tarbeladam (Mason, 1985)

Die Tarbeladam is 'n 143 m-hoë vuldam met 'n diensoorloop van 18 600 m³/s en 'n hulpoorloop van 24 300 m³/s. Die diensoorloop het 'n 530 m-lange geut teen 'n helling van 63 grade en 'n wipskoep, terwyl die noodoorloop 'n veel korter geut het en ook van 'n wipskoep voorsien is.

Binne een jaar na die dam in bedryf gestel is, het ernstige erosie in kalksteen met intergelaagde filliet in 'n band van harde stolrots stroomaf van die diensoorloop ontwikkel en, tesame met 'n swigting langs die kant van die plonspoel, het dit sowat 400 000 m³ materiaal verwyder. Tydens herstelwerk aan die diensoorloop is die noodoorloop meer dikwels gebruik en ook daar het ernstige erosie voorgekom.

Herstelwerk het stabilisering van hellings om die plonspoele, verankering van die wipskoepstrukture, gedeeltelike verwydering van die stolrotsliggaam en beskerming van die plonspoelwande met rolbetonmure, wat ook dreineringsgange en verankering behels het, ingesluit. Die totale koste het US\$ 210 miljoen beloop.

(e) PORTUGAL : Picotedam (Mason, 1985)

Die Picotedam is 'n 100 m-hoë boogdam wat van 'n geut en wipskoep voorsien is wat water vanuit hekbeheerde vloeduitlate met 'n uitlaatvermoë van 11 000 m³/s na 'n smal kloof in goeie kwaliteit graniet afvoer. Tydens 'n vloed in 1962, is 'n gat van 20 m diep in die rots uitgeskuur en die 15 m-hoë opeenhoping van puin stroomaf daarvan het die kragstasie se lewering ernstig verminder. 'n Bestaande verleggingstonnel is verleng ten einde vloedwater verby die

beskadigde gebied te kon vervoer, waarna herstelwerk in die rivier gedoen en puin verwyder kon word.

(f) SUID-AFRIKA

Pitsiou (1990) en Dooge (1993) bespreek alle gevalle van erosie by damoorlope in Suid-Afrika wat tydens die duur van hierdie projek ondersoek is. Bylae 1 bevat hierdie inligting.

(g) VERENIGDE STATE VAN AMERIKA : Alderdam (Mason, 1985)

Die Alderdam (VSA) is 'n 100 m-hoë vuldam met syoorloop op die linkerflank wat 'n uitlaatvermoë van $2\,265\text{ m}^3/\text{s}$ het en voorsien is van 'n wipskoep wat water op blokkerige andesiet vrylaat. Oormatige gebruik van die oorloop tussen 1945 en 1953 waartydens die maksimum vloei $566\text{ m}^3/\text{s}$ was, het 'n plonsoel van $30 \times 45 \times 24\text{ m}$ diep langs 'n verskuiwingsone in die rots uitgekalwe.

Tydens herstelwerk is die rots in die plonsoel gesementeer en geanker, die verskuiwingsone met beton opgevul en 'n stuwal gebou. In totaal is ongeveer $6\,000\text{ m}^3$ beton hiervoor gebruik.

(h) VERENIGDE STATE VAN AMERIKA : Black Buttedam (Cameron et al, 1986)

Die Black Buttedam is 'n vuldam en het 'n onbeklede afvoerkanaal met 'n gemiddelde helling van 9 persent. Die boonste gedeelte van die kanaal is in basalt met intergelaagde piroklastiese materiaal, terwyl sedimente laer af voorkom. Matige erosie is veroorsaak nadat water vir 'n periode van 66 uur in die kanaal afgevoer is. Die piekvloei was ongeveer $46\text{ m}^3/\text{s}$. Die erosie is toegeskryf aan die heterogene aard en teenwoordigheid van afkoelnate in die rots, die steil helling en die route van die kanaal.

(i) VERENIGDE STATE VAN AMERIKA : Blue Riverdam (Cameron et al, 1986a)

Die Blue Riverdam is 'n rotsvuldam en beskik oor 'n hekbeheerde oorloop met 'n maksimum vermoë van $880\text{ m}^3/\text{s}$. Die afvoerkanaal en stilbak is in matig harde tot harde andesiet wat nate, skuifsones en hidrotermaal veranderde sonas bevat.

Nadat die oorloop 25 dae lank teen 'n tempo van tussen 73 en $78\text{ m}^3/\text{s}$ gevloei het, is ernstige erosie waargeneem. As oorsake vir die erosie word die heterogene aard en diskontinuiteite in die rots, die hoë vloeisnelhede en die teenwoordigheid van klein bome in die kanaal aangegee.

Herstelwerk het die verwydering van bome en bekleding met beton behels.

(j) VERENIGDE STATE VAN AMERIKA : Grapevinedam (Cameron et al, 1986a)

Die Grapevinedam is 'n 41 m-hoë vuldam wat 150 m lank en 37,7 m hoog is en 'n onbeheerde afvoerkanaal het. Die maksimum uitlaatvermoë is $5\,348\text{ m}^3/\text{s}$. Die afvoerkanaal word beslaan deur afwisselende sag tot matig harde sandsteen, sagte koolstofhoudende skalie en dun lagies harde sandsteen.

'n Vloed wat 21 dae geduur het en 'n maksimum tempo van $255\text{ m}^3/\text{s}$ bereik het, het ernstige terugwaartse erosie tot dieptes van 9 m veroorsaak. Die oorsake vir die erosie was die gebrek aan energiebrekers aan die end van die kanaal, die kritieke verandering in kanaalhelling, 'n natuurlike sloep binne die kanaal, relatief swak sedimente, en die teenwoordigheid van 'n geplaveide pad in die bedding van die kanaal wat 'n knakpunt laat ontstaan het.

Tydens verbeteringe is 'n stilbak by die einde van die kanaal aangebring en die pad oor die kanaal is verwyder.

(k) VERENIGDE STATE VAN AMERIKA : Lake Brownwooddam (Cameron et al, 1986a)

Die Lake Brownwooddam is 'n 39 m-hoë rotsvuldam met 'n 144 m-lange onbeheerde oorloopkruin, wat water in 'n onbeklede kanaal vrylaat. Die boonste gedeelte van die kanaal strek oor weerstandbiedende kalksteen met tussengelaagde skalie en sandsteen terwyl die laer gedeelte oor sagte tot matig harde skalie en sandsteen strek.

Tydens 'n vloed waar $364\text{ m}^3/\text{s}$ deur die kanaal gevloei het, is aansienlike erosie aangerig en verdere vloede het die skalietussenlae eerste geërodeer en sodoende terugwaartse migrasie van knakpunte tot gevolg gehad.

Gedurende herstelwerk is uitgrawings gedoen om die helling meer egalig te verkry, terwyl die blootgestelde skalielae met spuitbeton bedek is.

(l) VERENIGDE STATE VAN AMERIKA : Nacimientodam (Mason, 1985)

Die Nacimientodam (VSA) is 'n 82 m-hoë vuldam met 'n sy-oorloop, afvoergeut en wipskoep op die linkerflank. Die uitlaatvermoë is $1\,472\text{ m}^3/\text{s}$ by die oorloop en 'n verdere $142\text{ m}^3/\text{s}$ deur twee hekbeheerde uitlate. Tydens 'n vloed in 1969 kon die hekke nie oopmaak nie en het water 1,07 m diep oor die oorloop gestroom en ernstige erosie in moddersteen en sliksteen veroorsaak. Gedurende herstelwerk is die ou wipskoep afgebreek, die geut met 83 m verleng, 'n nuwe wipskoep aangebring, die geut aan weerskante weer opgevul, en 'n nuwe stilbak uitgegrawe.

(m) VERENIGDE STATE VAN AMERIKA : Saylorvilledam (Cameron et al, 1986a)

Die Saylorvilledam is 'n 31 m-hoë vuldam en beskik oor 'n 129 m-wye onbeheerde oorloop wat water in 'n 60 m-lang beklede geut en 1 500 m-lange onbekte kanaal vrylaat.

Die kanaal kruis 'n opeenvolging van gebakte skalie, kalkryke sliksteen, dun lagies kalksteen, steenkool en sandsteen met 'n geringe helling.

Tydens 'n vloed wat sowat 15 dae geduur het en 'n maksimum tempo van $476 \text{ m}^3/\text{s}$ (90 persent van die oorloopvermoë) bereik het, is dramatiese trapvormige erosie van tot 9 m diepte in die kanaalvloer veroorsaak. Die erosie word toegeskryf aan die lae kohesie van die gesteentes, die gebrek aan litologiese en stratigrafiese kontinuïteit en die vernouing van die stroomaf gedeelte van die kanaal.

Herstelwerk het die volgende ingesluit: die opvul en gelykmaak van die vloer van die kanaal, die aanplant van weerstandbiedende gras in die gelyk gedeelte van die kanaal, en betonopvulling van die erosiesloot in die boonste gedeelte van die kanaal.

(n) ZIMBABWE : Karibadam (Mason, 1985; Mason & Arumugam, 1985)

Die Karibadam is 'n 130 m-hoë boogdam met ses vloeduitlate wat 'n waterstraal van meer as 100 m stroomaf op goeie kwaliteit gneis laat stort. Die maksimum uitlaatvermoë is $9\,500 \text{ m}^3/\text{s}$.

Modeltoetse het getoon dat 'n erosiegat van $\pm 30 \text{ m}$ in die plonspoel verwag kan word, en die dam se ontwerp is daarvolgens aangepas.

As gevolg van 'n vertraging met die konstruksie van die kragstasie het oormatige gebruik van die oorloop tussen 1962 en 1967 tot gevolg gehad dat 'n 50 m-diep plonspoel gevorm het. Teen 1975 toe die kragstasie in bedryf gestel is, was die plonspoel reeds sowat 10 m dieper en tans is dit sowat 70 m diep.

Alhoewel 'n addisionele tonneluitlaat voorgestel is om oorloopwater te verdeel, is dit nooit ten uitvoer gebring nie.

2.3 Eksperimentele werk

(a) Erosie van grondmateriale

Hanson (1990a) het erosietoetse in 'n volskaalse eksperimentele kanaal uitgevoer. Vier verskillende soorte grondmateriaal is in die kanaal geplaas en verdig. Die erosietempo (ϵ_r) as volume grond per eenheidstyd per

eenheidsoppervlak is soos volg bereken en 'n opsomming van die resultate verskyn in Tabel 2.1:

$\epsilon_r = K(\tau_e - \tau_c)$
 waar
 ϵ_r = erosietempo ($\text{cm}^3/\text{u}/\text{cm}^2$)
 K = koëffisiënt van erodeerbaarheid ($\text{cm}/\text{u}/\text{Pa}$)
 τ_e = lokale effektiewe skuifspanning (Pa)
 $\tau_e = \gamma * D * S (n'/n)^a$
 τ_c = kritieke spanning (Pa)
 γ = eenheidsgewig van water (N/m^3)
 D = vloediepte (m)
 S = energiegradiënt (m/m)
 n' = Manning-ruheidskoëffisiënt vir korrelruheid
 n = Manning-ruheidskoëffisiënt vir bodemruheid
 a = veranderlike eksponent met waardes tussen 4/3 en 2 en hier as 3/2 geneem

Dit blyk duidelik dat kleierige gronde minder geërodeer is as die skoon sanderige grond maar dat ander faktore ook 'n rol speel.

Die spesifieke toestande van hierdie eksperimentele studie maak dit moeilik om hierdie resultate elders toe te pas. 'n Prosedure om erodeerbaarheid van terrein tot terrein te bepaal is noodsaaklik.

Tabel 2.1 Opsomming van erosietoetse deur Hanson (1990a)

GRONDEIENSKAPPE	GROND A	GROND B	GROND C	GROND D
Plastisiteits-indeks	4	18	6	0
% Klei	16	27	19	7
Unified-klas	CL-ML	CL	CL-ML	SM
Erodeerbaarheidskoëff. (K)	0,36	0,005	0,8-0,002	2,77

Hanson (1990b) het ook 'n metode ontwikkel waarvolgens die erodeerbaarheid van grond in situ met behulp van 'n waterstraal bereken kan word. Hierdie straalspuittoets is maklik om te gebruik, is vervoerbaar en gebruik redelik min water. 'n Uitstekende korrelasie is tussen die teoretiese en die waargenome omvang van erosie verkry.

Kamphuis (1990) het die erosie van gekonsolideerde kohesiewe sediment wat sommige rivierbeddings beslaan, bestudeer. Die eienskappe van die sediment, soos klei-inhoud, kleimineralogie, skuifsterkte, konsolidasie, waterinhoud, plastisiteitsindeks en die chemie van die eroderende vloeistof, is belangrike faktore wat die erosietempo beïnvloed. Hiermee saam is die invloed van sand en/of gruis wat in die eroderende vloeistof teenwoordig mag wees, bepaal. Daar is vasgestel dat die teenwoordigheid van klein hoeveelhede sand en/of gruis die erosiepotensiaal

drasties verhoog deur abrasie.

Die modeltoetse en ook die tipe materiaal wat deur Kamphuis (1990) getoets is, was twee belangrike komponente van hierdie navorsingsprojek. Toetse is in die laboratorium uitgevoer om die skuifspanning waarby erosie begin plaasvind te bepaal. Materiaal is van die toetsterrein opgegrawe sodat dit in die laboratorium getoets kon word. Monsters is in 'n groot pers saamgedruk en teen hoë watersnelhede in 'n kanaal getoets. Die water in die kanaal kon snelhede (naby die bedding) van tot 3,5 m/s bereik wat ooreenstem met 'n skuifspanning van 26 Pa. Uit die 25 toetse wat gedoen is, is daar gevind dat erosie-inisiasie verband hou met die grondeienskappe, veral klei-inhoud en digtheid, wat die skuifsterkte bepaal.

Die studie van erosie van kohesiewe materiaal is moeilik omdat dit parameters soos chemiese en fisiese binding van individuele partikels insluit (Kamphuis & Hall, 1983). Die skuifspanning wat nodig is om 'n kohesiewe sediment te erodeer word beïnvloed deur die hoeveelheid en tipe kleimineraal, mikroskopiese en makroskopiese kleieienskappe, waterinhoud, pH en temperatuur van die eroderende water, poriewater en die tiksotropie en konsolidasie van die klei en kleistruktuur.

Kamphuis en Hall (1983) het 'n konsekwente verband tussen skuifspanning en kritieke snelheid verkry. Die variasie van kritieke skuifspanning met eenassige druksterkte en skuifsterkte staan in 'n lineêre verhouding tot mekaar. Die vermoë van 'n kohesiewe materiaal om erosie te weerstaan, verhoog met klei-inhoud en gepaardgaande verhoging in plastisiteitsindeks. Die verwyderbare partikels neig om groter te wees vir 'n grond met 'n lae klei-inhoud. Die skuifspanning wat nodig is om erosie van 'n kohesiewe materiaal te inisieer verhoog met konsolidasiedruk. Vir die kleimateriaal wat getoets is, toon die resultate dat as die konsolidasiedruk groter as 200 kPa is, sal die grond bestand wees teen erosie onder normale vloeitoestande.

Nadat die kritieke skuifspanning bereik is, vind erosie onmiddellik plaas. Daar is min of geen afhanklikheid van vorige vloeiageskiedenis waar geen of min erosie plaasgevind het. Wanneer die oorspronklike kleioppervlak gebreek word, vind erosie vinniger plaas as gevolg van die verhoging in hidrodinamiese ruheid van die oppervlak. Modeltoetse kan waardevolle inligting voorsien in hierdie verband.

Erosie vind plaas wanneer die vloeisnelheid, of meer spesifiek die skuifspanning, die drumpelwaarde oorskry (Burt, 1990). Die drumpelwaarde is afhanklik van die digtheid van die materiaal. Die erosietempo is direk eweredig met die oormaat skuifspanning wat deur die watervloei veroorsaak word. Burt (1990) het die volgende formule vir skuifspanning gebruik:

$$\tau = \rho * u^2$$

waar

$$\tau = \text{skuifspanning}$$

$$\rho = \text{digtheid van vloeistof}$$

$$u = \text{skuifsnelheid}$$

Die gevolgtrekking wat Burt (1990) in sy artikel maak, is dat toetse wat uitgevoer is op skaalmodelle waarin daar van kohesiewe materiaal gebruik gemaak is, nie realisties en verteenwoordigend is nie.

Raudkivi en Tan (1984) het eksperimente op drie kleie gedoen om die erosie van kohesiewe materiaal te ondersoek. Die oppervlak van die geërodeerde kleie was vol gaatjies, wat aangedui het dat die klei as klonte uitgelig is. Die fisika van die erosie van kohesiewe grond is 'n baie komplekse probleem. Die drie kleie wat gebruik is, is "Koclay" en "Ball clay" wat kaoliene is en 'n bentoniet, "Calben".

Rauws (1988) het laboratoriumeksperimente uitgevoer om die variërende invloed van vloeiwrywing in dun watervloei as gevolg van ruheid op steil hellings te bestudeer. Die hidroulika van oorlandvloei is baie kompleks. Vloei kan laminêr, oorgangsvloei of turbulent wees. Subkritieke en superkritieke vloei kan ook voorkom. Die oppervlakweerstand teen oorlandvloei kan deur 'n hidrouliese ruheidskoëffisiënt uitgedruk word soos Manning se n-waarde en die D'Arcy-Weisbach-wrywingsfaktor (λ):

$$n = D^{2/3} * S^{1/2} / \bar{u}$$

$$\lambda = 8 * g * D * S / \bar{u}^2$$

waar

$$n = \text{Manning-waarde}$$

$$\lambda = \text{D'Arcy-Weisbach-faktor}$$

$$D = \text{vloediepte (m)}$$

$$S = \text{energiehelling}$$

$$\bar{u} = \text{maksimum vloei snelheid (m/s)}$$

$$g = \text{gravitasieversnelling (m/s}^2\text{)}$$

Stroomdrywing (P) is die tempo van werkverrigting as gevolg van die wedersydse skuifspanning tussen die grondoppervlak en die oorlandvloei (**Bagnold, 1966**). Stroomdrywing is die krag per eenheidsoppervlak wat beskikbaar is om werk te verrig. Indien die vloei uniform versprei word oor 'n gelykte met helling S, word eenheidstroomdrywing (P_a) gegee deur:

$$P_a = \rho * g * S * q$$

waar

$$\rho = \text{digtheid van vloeistof}$$

$$q = \text{watervloei per eenheidsbreedte}$$

Nie al die oormaat stroomdrywing dra daartoe by om grond te erodeer nie, maar van die oormaat stroomdrywing word gedissipeer as hitte en geraas.

Kohesiewe sterkte is 'n eienskap van die grondmatriks as 'n geheel en nie van 'n individuele partikel nie. Wanneer die kohesiewe sterkte oorkom word, is hierdie proses nie grootte-afhanklik nie (Hairsine & Rose, 1992a). Indien vloei uniform versprei word oor 'n oppervlak, kan die eenheidstroomdrywing ook soos volg uitgedruk word:

$$P_a = \rho * g * S * D * v$$

waar

$$D = \text{vloediepte}$$

$$v = \text{gemiddelde plaatvloeisnelheid}$$

Indien die vloei van water in 'n stroom plaasvind, is 'n meer omvattende uitdrukking nodig om erosie te bepaal (Hairsine & Rose, 1992b). Reghoekige en driehoekige kanaalvloeie kan as spesiale gevalle van 'n trapesoëdriese kanaalvloei beskou word. Die vermoë van stroomvloeie om grond te erodeer word as eenheidstroomdrywing uitgedruk (Bagnold, 1977).

$$P_a = \tau * v$$

waar

$$\tau = \text{gemiddelde skuifspanning per eenheidsoppervlak van benatte oppervlak}$$

$$v = \text{gemiddelde stroomvloeisnelheid}$$

Skuifspanning kan uitgedruk word as:

$$\tau = \rho * g * S * R$$

waar

$$R = \text{hidrouliese radius}$$

Rooseboom en Mülke (1982) het 'n studie onderneem om kritieke toestande vir beide kohesielose en kohesiewe materiaal te bepaal in terme van aangewende drywing. Hierdie studie is onderneem sodat erosie teen steil hellings wat deur reënval veroorsaak word, voorspel en voorkom kan word.

'n Stroom sal sediment vervoer slegs as die kritieke toestande oorskry word. 'n Kritieke toestand word bereik wanneer die vervoervermoë van die stroom gelyk is aan die vermoë wat nodig is om materiaalbinding met die kanaalvloer te verbreek. Indien bestaande verwantskappe in aanmerking geneem word, het Lane (1953) tot die gevolgtrekking gekom dat data van kritieke toestande vir kohesiewe materiaal 'n groot speling ten opsigte van verstrooiing toon.

Beskou 'n uniforme eendimensionele stroom met vloediepte D en helling S . Die drywing wat toegepas word om vloeistof in beweging te hou, word voorsien deur 'n bestendige vrylating van potensiële energie deur vallende elemente.

Potensiële energie word vrygelaat teen 'n tempo van $\rho * g * S * v$ per eenheidsvolume (Rooseboom & Mülke, 1982)

waar S = energiegradiënt
 v = snelheid van vloeiende element

Die maksimum eenheidsdrywingwaarde vir ru turbulente vloei word soos volg gedefinieer (drywing nodig om vloeistof in beweging te hou):

$$\tau (dv/dy)_{\text{maks}} = 74 * \rho * g * S * D \sqrt{g * D * S / k}$$

waar

D = vloeidiepte
 k = absolute ruheidswaarde (grootte van onreëlmatighede op vloer)

(In die geval van kohesiewe materiaal is die k -waarde gewoonlik groter as die d_{90} -partikelgrootte.)

'n Definitiewe korrelasie word tussen toegepaste stroomdrywing en skuifkrag gekry wat die benadering vir erosie deur toegepaste drywing op steil hellings bevestig.

Parchure & Mehta (1985) het 'n vergelyking ontwikkel om erosietempo van die boonste laag van 'n riviermondbedding te bepaal. Die laboratoriumprosedure wat in hierdie artikel beskryf word, is van belang.

Mirtskhoulava (1981) het veldondersoeke van gronderosie met behulp van mobiele sprinkelaars gedoen. 'n Metode om die kohesiewe kragte van die grond wat weerstand bied te meet, is beskryf. 'n Sterk korrelasie is gekry tussen skuursnelhede en kohesie, wat weerstand teen skuring voorstel. Kohesie van grond, 'n fisiese kenmerk van weerstand teen erosie, word beskou as 'n indeks van grondsterkte.

Mirtskhoulava (1981) het ook 'n nuwe metode ontwikkel om kohesiewe kragte van grond in 'n totaal versadigde toestand te bepaal. Die tegniek is gebaseer op 'n sterk korrelasie tussen kohesie en diepte van lokale skuring wat deur 'n waterstraal op 'n versadigde grond uitgeoefen word. Die kohesie kan deur die volgende vergelyking bereken word:

$$C = 16(u * d' / (H + 20d'))^2$$

waar

C = kohesie (10^4 Pa)
 H = diepte van lokale skuring veroorsaak deur waterstraal (m)
 u = snelheid van uitvloei uit spuitstuk ($m.s^{-1}$)
 d' = diameter van spuitstukgat (m)

Met hierdie korrelasie tussen kohesie en diepte kan 'n kwantitatiewe vooruitberekening van kohesie gemaak word. Die kohesie van versadigde grond en dus van die stabiliteit van die grond onder erosietoestande kan bepaal word. Die invloed van oorspronklike vogtoestande op die eksperimentele waardes word uitgeskakel deur die toetsoppervlak met water te versadig. Die voordeel van

hierdie toets is dat dit eenvoudig, vinnig en akkuraat is. Weerstand teen skuring en erosie word direk gemeet.

(b) Erosie van rotsformasies

Reinius (1986) het modelstudies uitgevoer om die waterdrukke rondom 'n gesimuleerde rotsblok in 'n afvoerkanaal te bepaal. Hy het bevind dat hoë waterdrukke in nate ontstaan as gevolg van water wat met hoë snelhede teen uitstaande rotslae bots. Hierdie drukke word oorgedra aan omliggende nate sodat 'n rotsblok in sy geheel uit die omliggende rotsmassa gelig en weggevoer kan word.

Stroomafhellende laagvlakke of nate is baie meer vatbaar vir die ontwikkeling van interne waterdruk as stroomophellende vlakke, en selektiewe bedekking of verankering van blootgestelde stroomafhellende vlakke word voorgestel.

2.4 Faktore wat erodeerbaarheid bepaal

Daar is 'n groot aantal faktore wat die gedrag van rotsformasies onder verskillende vloeitoestande bepaal. Hierdie faktore kan geklassifiseer word as geologies, hidroulies en geometries van aard.

(a) Geologiese faktore

Die geologiese faktore wat die erodeerbaarheid van 'n rotsformasie beïnvloed, behels die eienskappe van die intakte rotsmateriaal en die eienskappe van die diskontinuïteite.

Eienskappe van die rotsmateriaal

Die weerstand van 'n gesteente teen erosie is afhanklik van die bindsterkte (kohesie) tussen korrels en die duursaamheid van die minerale.

Sterkte

Die eenassige druksterkte, kohesie en skuifsterkte van rotsmateriaal word beïnvloed deur die mineraal-samestelling, die korrelgrootte, korrelvorm, korrelpakking en korrelbinding. Hierdie eienskappe van die gesteente word op hulle beurt bepaal deur die gesteentetipe, verweringsgraad, poreusheid, digtheid en maaksel.

Volgens die geotegniese definisie word alle geologiese materiaal met eenassige druksterkte van groter as 1 MPa as rots beskou. 'n Rotsformasie bevat egter ook swakker materiale wat as vulling in diskontinuïteite voorkom en

waarlangs erosie voorkeur sal geniet.

By intakte kohesiewe materiale (beide swak en sterk) vind erosie plaas omdat die korrelbinding deur waterkrag gebreek en die korrels deur bewegende water verwyder word. Selfs die swakste onverweerde gesteentes het 'n eenassige druksterkte van minstens 5 MPa en ondervinding het getoon dat, indien sulke gesteentes geen diskontinuiteite bevat nie, hulle voldoende weerstand bied teen erosie in afvoerkanale. Daar is bevind dat intakte gesteentes met druksterkte van 100 MPa weerstand kan bied teen die waterstraal van selfs die hoogste vryvaloorloop.

Die sterkte van rotsmateriaal kom egter ook by rotsmassas ter sprake en beïnvloed die skuifweerstand (wrywing) van een rotsblok teen 'n ander. Wanneer rotsblokke teen mekaar skuur of beweeg, bied die ruheid van sterk wande 'n groot mate van weerstand. By swak rotsmateriaal skuur die ruheid maklik af en die skuifweerstand verminder.

Digtheid

Die massa van rotsblokke dra ook daartoe by om die kragte wat op hulle uitgeoefen word, byvoorbeeld gravitasie, wrywings- en kinetiese energie, te weerstaan. Die vermoë van vloeiende water om rotsblokke te vervoer hang dus ook af van die digtheid van die rots.

Duursaamheid

Sekere gesteentetipes wat uitsetbare minerale bevat, byvoorbeeld deuterites veranderde doleriet en basalt, hoogs amandelhoudende basalt, moddersteen, skalie en verskeie verweerde gesteentes, disintegreer by blootstelling aan die atmosfeer of by sikliese benatting en uitdroging. Hierdie soort gesteentes sal progressief in 'n oorloop erodeer tensy dit voortdurend onder water is.

Eienskappe van diskontinuiteite

'n Diskontinuiteit word gedefinieer as enige onderbreking in litologiese en fisiese eienskappe van 'n rotsformasie (Cameron et al, 1988). Dit verteenwoordig gewoonlik die swakste plekke in 'n rotsmassa en speel dus 'n belangrike rol by die geotegniese eienskappe, insluitende erodeerbaarheid.

Gelaagdheid

Die oorsprong van sedimentêre gesteentes lei tot die vorming van afsettingsoppervlakke wat opeenvolgende

gesteentelae van mekaar skei. Laagvlakke is vlakke van swakheid waarlangs die rots sal neig om te splyt en speel 'n baie belangrike rol by erosie.

Sedimentêre strukture

Kruisgelaagdheid, fossiel akkumulasie sones, konsentrasies van lae plaatvormige minerale soos onder andere die glimmerminerale en swak tussenlae kan ook as diskontinuïteite beskou word.

Stollingskontakte

Hierdie kontaksones beskik oor meganiese eienskappe wat verskil van die omgewingsgesteentes en dra by tot die nie-uniforme toestande van die rots. Sulke sones word dikwels gekarakteriseer deur diggespasiëerde nate.

Are

Are is breuke wat opgevul is met minerale wat verskil in hul weerstandsvermoë teen erosie van dié van die gesteente waarin hulle voorkom.

Foliasie of skisagtigheid

Foliasie of skisagtigheid kom voor in alle metamorfe rots. Gefolieëerde rots neig om langs die foliasie of skisagtigheid te splyt.

Verskuiwings

Verskuiwings word geassosieer met 'n sone waarlangs verbrokkeling van rots plaasgevind het. Hierdie sones is onderhewig aan vinniger erosie as dié van die omliggende gesteentes.

Plooiing

Plooiing vind plaas as gevolg van horisontale spannings wat laterale defleksie tot gevolg het (Mathewson, 1981). Opwaartse kragte veroorsaak 'n antiklien terwyl afwaartse kragte verantwoordelik is vir die vorming van 'n sinklien. Daar is tangensiële trekspanning teenwoordig by die kruin van 'n antiklien en by die onderpunt van die sinklien. Trekspanningsnate langs hierdie sones lei tot 'n groter erosiepotensiaal.

Nate

Nate is verreweg die mees algemene tipe diskontinuïteit wat

in rotsmassas voorkom. Hulle word gedefinieer as breuke of krake in rots, waarlangs min of geen beweging plaasgevind het. Nate kan as plat of gegolfde oppervlakke geklassifiseer word en kan as 'n interne strukturele swakheid in die rots beskou word. Nate kom gewoonlik voor as parallelle stelle wat gevorm het as gevolg van interne spannings deur afkoeling van die rots of deur tektoniese aktiwiteit (Cameron et al, 1988).

Naatstelle is afhanklik van die rotstipe en die kragte waardeur die breuke gevorm word. In sedimentêre gesteentes is daar gewoonlik 'n naatstel wat loodreg op die gelaagdheid is. Afkoeling van stollingsgesteentes veroorsaak gewoonlik trekspanningsnate. Druk- en skuifkragte kan tydens indringing ontstaan en addisionele naatstelle vorm.

Spanningsverligtingsnate

Rots wat onder hoë druk gevorm of deur opvolgende strata bedek was, sal in situ-spannings behou. Sodra verdere oorliggende materiaal verwyder word, en verligting van spannings voorkom, word spanningsverligtingsnate gevorm.

Ontwikkeling van nate as gevolg van skietwerk

In die meeste gesteentes, veral harde, bros rots, kan nate gevorm word deur skietwerk tydens uitgraving. Hierdie skietnate het 'n maklik uitkenbare patroon wat radiaal van 'n punt uitbeweeg.

(b) Hidrouliese parameters

Daar is 'n groot aantal hidrouliese en geometriese faktore wat die vloei van water in en stroomaf van damoorlope beïnvloed.

Ontwerp van die oorloop

Die vloei patroon word beïnvloed deur (i) die wydte van die oorloop, (ii) die helling van die stroomaf oppervlak van 'n oorvloei-oorloop, (iii) die radius van die boogwal met 'n vryval-oorloop, (iv) die hoek wat 'n wipskoep met die horisontaal maak, (v) die effek van energiebrekers, (vi) die effek van 'n plonsoel, (vii) die helling van die afvoerkanaal, en (viii) die ruheid van die afvoerkanaal.

Die ruheid van die vloer en kante van 'n afvoerkanaal is belangrik vir die bepaling van kragte wat kan ontwikkel. Die ruheid word bepaal deur die rotsstruktuur, rigting van

uitgraving ten opsigte van die strekking van die gesteentes of diskontinuiteite tydens konstruksie, skietmetode wat gebruik is, en vorige erosie. Ruheid van 'n afvoerkanaal het 'n effek op die snelheid van die water wat daarin vloei. Turbulente vloei wat weens die ruheidselemente ontwikkel, gee aanleiding tot sones van hoë en lae druk en ook tot maalkolke en drukfluktuasies. Die kragte wat hierdeur opgewek word, kan moontlik nie die rotsblokke opstig nie, maar vibrasie van die blok kan die nate laat oopgaan en stabiliteit van die blok affekteer (Reinius, 1986).

Hidrologie

Die effek wat die waterstraal kan uitoefen, sluit in (i) die vloedfrekwensie (aantal/jaar) van die oorloop tydens die operasionele geskiedenis, (ii) die maksimum uitloopkapasiteit (m^3/s), (iii) die volume (m^3) van die maksimum uitloop, (iv) die tydsduur (ure) van die maksimum uitloop, en (v) die waterhoogte (m) bo die oorloopkruin.

Aangesien die beskikbare inligting oor baie van hierdie faktore by verskillende oorlope grootliks verskil en dikwels ontbreek, is daar besluit om vir die doel van hierdie studie van vereenvoudigde metodes gebruik te maak. Die hidrouliese en geometriese faktore wat hiervoor gebruik is, word vervolgens bespreek.

Vryvaloorlope

In die geval van vryvaloorlope kan die hidrograaf van die grootste bekende vloed gebruik word om die maksimum vloei (m^2/s) oor die kruin te bepaal.

Die oorlooplengte en hoogteverskil tussen die kruin en die watervlak in die plonspoel kan van ontwerptekeninge verkry word.

Die grootte van die oppervlakte waarop die water val, kan bereken word deur die volle wydte van die oorloopkruin met een-derde van die hoogteverskil te vermenigvuldig. Hier word dus aangeneem dat die waterstraal progressief uitsprei terwyl dit val.

Die effek van stroombrekers by die kruin en van water wat in die plonspoel val wat die krag van die neervallende water kan demp, is nie in berekening gebring nie. Die meeste van die oorlope wat ondersoek is, beskik nie oor plonspoele nie.

Afvoerkanale

Die hidrograafrekord van die grootste bekende vloed kan ook gebruik word om die maksimum vloei in die kanaal te bepaal.

Die wydte en helling van die kanaalvloer kan op verskillende plekke gemeet word om die eenheidsvloei en gradiënt te bereken. As gevolg van 'n gebrek aan beter inligting kan daar aangeneem word dat die energiegradiënt ongeveer gelyk sal wees aan die gradiënt van die kanaal.

2.5 Meganisme van erosie

Die meganisme van erosie in damoorlope word deur verskeie gepubliseerde gevallestudies geïllustreer.

(a) Gevallestudies

Woodward (1984) het 14 damoorlope in Australië ondersoek en tot die gevolgtrekking gekom dat die potensiaal vir uitskuring by 'n bepaalde punt in 'n onbeklede kanaal, bepaal word deur die vloeisnelheid, die verskil tussen die hoogste en die laagste punt van die kanaal, en die eienskappe van die rots. Benewens vloeisnelheid, speel operasionele parameters, soos die eenheidsvloei, eenheidskrag, frekwensie van vloei en duurte van vloei, ook belangrike rolle. Die rotsmassa-eienskappe waarna Woodward gekyk het, is soos volg:

- Duursaamheid
- Verweringsgraad
- Rotskwaliteitswaarde (RKW)
- Opening en aaneenlopendheid van naatvlakke
- Aantal en oriëntasies van naatvlakke
- In situ-rotsspanning
- Eenvormigheid van geologiese toestande

Volgens Woodward se gevolgtrekking is die vereiste vir onbeklede oorlope (sonder energieverstrooiing) soos volg:

- Duursame, ongenate rots wat onder min spanning verkeer, met RKW van meer as 75% en sonder erodeerbare vulmateriaal.
- Addisionele perke is 'n maksimum breukfrekwensie van 4 en deurlatendheid van 5 Lugeons.

Cameron et al (1986a) het 'n omvattende studie van onbeklede noodoorlope van 'n aantal damme in die VSA vir die US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station (WES) onderneem. Hulle gevolgtrekking was dat uitskuring deur die volgende faktore beheer word:

- Frekwensie, grootte en duurre van vloei
- Ingenieursontwerp van oorloopbeheerstruktuur en afvoerkanaal
- Kanaalgradiënt en gradiëntwisseling
- Diskontinuiteite in rots en residuele grond
- Erodeerbaarheid van rots en residuele grond

Wisseling in kanaalgradiënt is dikwels die gevolg van litologiese verskille wat lei tot die vorming van knakpunte in die profiel waar meer weerstandbiedende gesteentes die normale erosieproses vertraag. Sulke knakpunte het versteuring van die vloei patroon, uitskuring van sagter lae en vinnige terugwaartse erosie tot gevolg.

Diskontinuiteite sluit in verandering in litologie of gesteentetoestand wat vlakke van swaakte, soos verskuiwings, nate en laagvlakke, insluit. Sones van relatief swaakte materiaal skuur vinniger uit, en met vloei wat dan langs die dieper kanale konsentreer, word die erosieproses versnel.

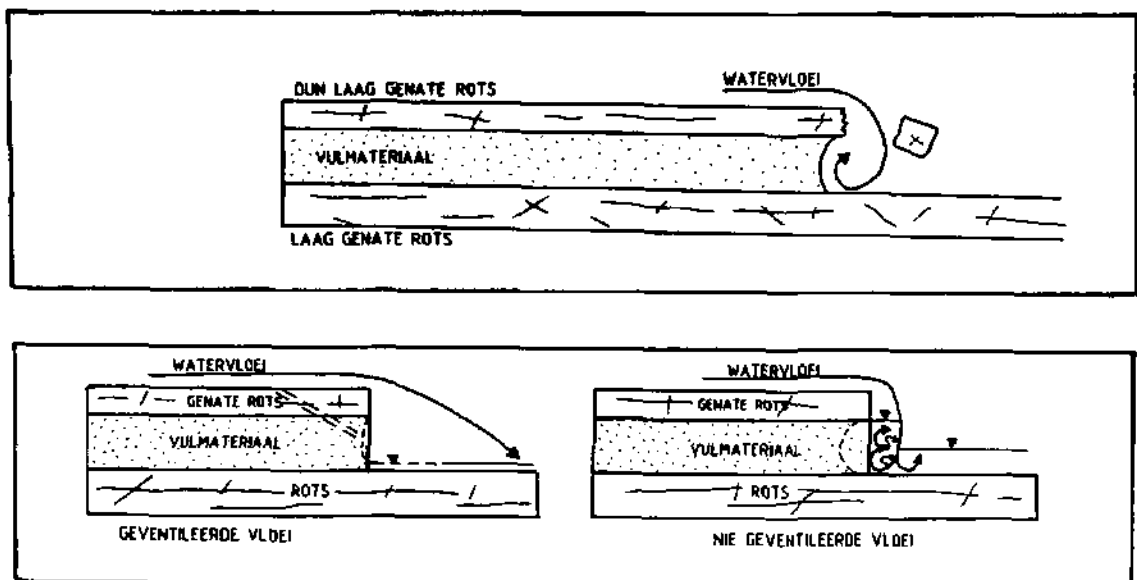
Volgens Cameron et al (1986a) word erodeerbaarheid bepaal deur faktore soos die digtheid, skuurweerstand en hardheid van die rotsmateriaal asook die treksterkte, voorkoms en toestand van diskontinuiteite.

In die geval van noodoorlope, het Cameron et al (1986a) bevind dat die hidrouliese kragte tydens die groot vloede, wanneer die oorlope in werking kom, meesal op die grootskaalse diskontinuiteite gekonsentreer word en dat die effek van kleiner diskontinuiteite daardeur oorskadu word. Volgens hom kan dit dus gebeur dat laevloeitoestande die meeste erosieskade aanrig.

Aangesien die rots tydens vloede aan groot hidrouliese kragte blootgestel word, beveel Cameron et al (1986a) aan dat die uitgraafbaarheidsklassifikasie van Weaver (1975) as vertrekpunt gebruik, en met 'n faktor vir die litostratigrafiese aaneenlopendheid aangepas word.

Otto (1989) het 'n ondersoek onderneem om die effek van horisontale spannings op die erodeerbaarheid van harde andesitiese rots in die rivierbedding by Burdekin Fallsdam (Australië) te ondersoek. In 'n horisontale spanningsveld sal die morfologiese onreëlmatighede 'n lokale spanningstoename in die rots veroorsaak wat groot genoeg kan wees om die rots te kraak. Die vloedwater sal die gekraakte rots uitspoel, en derhalwe nuwe rots blootstel aan hierdie spannings om die proses weer te herhaal. Dit is dus feitlik 'n onophoudelike proses. Dit is belangrik om vas te stel of in situ-spannings groot genoeg is om breuke of spanningsnate te vorm en of die vloedwaters hierdie breuksone kan binnedring om die rots stelselmatig op te breek. Blokke op die oppervlak word deur waterdruk opgelig en word maklik geërodeer of weggevoer om die onderste rots bloot te stel aan erosiekragte.

'n Nie-geventileerde vloei (Figuur 2.1) rig ook meer skade aan as 'n geventileerde vloei (Palmerton *et al*, 1991).



Figuur 2.1 Geventileerde en nie-geventileerde vloei

Spurr (1985) gee 'n baie omvattende uiteensetting van die meganisme van kolkgatvorming benede die oorloopstraal van 'n vryvaloorloop en kom tot die gevolgtrekking dat die weerstand teen die vorming van 'n plonspoel teen erosie bepaal word deur die geometriese en meganiese eienskappe van die bodemrots. Die belangrikste meganiese eienskappe is die volgende:

- Die rotsmassa se weerstand teen hidrouliese kraking, soos bepaal deur sy treksterkte, graad van genaathed en spasiëring van breuke en laagvlakke.
- Die bodemrots se weerstand teen skuifkragte wat op sy oppervlak deur die aksie van die waterstraal veroorsaak word.

Die effek van partikelgrootte op die weerstand van ongekonsolideerde materiale (grond, rolstene, stortklip, ens.) teen erosie in rivier- en afvoerkanale, word in talle handboeke en tydskrifartikels bespreek. Hierdie inligting is van belang vir die huidige studie omdat dit 'n korrelasie voorsien tussen vloeisnelheid en die vermoë van water om rotsblokke wat reeds los is, weg te voer.

Spurr (1985) klassifiseer 'n rotsmassa in drie klasse van erosieweerstand deur op die volgende geologiese eienskappe te let:

- Rotskwaliteitswaarde (RKW)
- Diskontinuiteitspasiëring
- Druksterkte van rotsmateriaal
- Toestand van nate en breuke
- Hoek tussen invalrigting van waterstraal en vlak van hoofbreuke en laagvlakke
- Geskatte effektiewe druksterkte van rotsmassa
- Hardheid
- Verweringsgraad

Die effektiewe druksterkte van die rotsmassa (S_e) word soos volg bereken:

$$S_e \approx (S \cdot \sigma_c^2)^{0,5}$$

waar

$$S = \exp(\text{RMR} - 100) / 8$$

$$\sigma_c = \text{eenassige druksterkte van rotsmateriaal}$$

$$\text{RMR} = \text{rotsmassawaarde van Bieniawski (1973)}$$

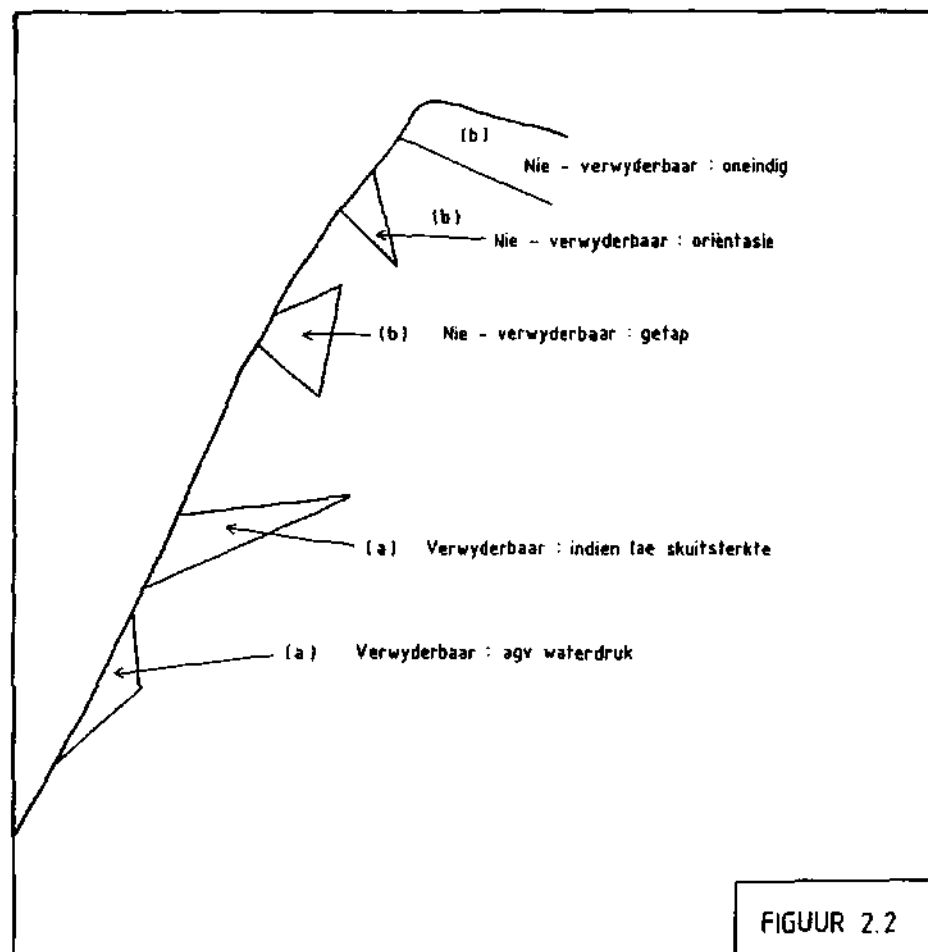
Met behulp van die erosieweerstandklas bereken Spurr dan 'n Energie-uitskuurindeks (Energy Scouring Index-ESI) waarmee bestaande empiriese formules vir kolkgatdiepte vir spesifieke terreintoestande aangepas word.

Goodman & Shi (1985) gebruik die term sluitblok vir 'n rotsblok wat sodanig deur nate begrens word dat dit, onder

die invloed van swaartekrag alleen, uit die wande of dak van 'n tunnel sal val. Wanneer so 'n sluitblok verwyder word, ontstaan verdere sluitblokke en dit lei tot grootskaalse onstabiliteit. Die verskillende bloktipes wat onderskei kan word, word in Figuur 2.2 getoon.

Met data oor die oriëntasies van nate en vryvlakke, kan die moontlike teenwoordigheid van verwyderbare blokke in 'n rotsmassa ondersoek word, terwyl die beskikbaarheid van 'n naatkaart die uitkenning van spesifieke blokke en bepaling van hulle afmetings moontlik maak.

In die geval van 'n afvoerkanaal kan daar sluitblokke in die wande en verwyderbare blokke in sowel die wande as die vloer van die kanaal voorkom. Verwydering van potensiële sluitblokke kan veroorsaak word deur hidrostatiese druk in die nate en druk-, trek- en skuifkragte op blokke wat aan watervloei blootgestel word.



Figuur 2.2 Verwyderbare (a) en nie-verwyderbare (b) blokke

Volgens Cook & Harvey (1974) kan die doeltreffendheid van enige tegniek van uitgraving geëvalueer word in terme van die spesifieke energie van opbreking van rots en die spesifieke drywing wat beskikbaar is. Dus word die tempo van penetrasie aangedui deur die verhouding van spesifieke drywing tot spesifieke energie. Verskeie uitgrawingsprosesse, waaronder waterstraalerosie, is volgens bogenoemde parameters bestudeer.

Reinius (1986) het die erosie van rots deur water wat parallel aan die rotsoppervlak vloei, soos byvoorbeeld stroomaf van oorlope, bestudeer. Na aanleiding van sy studie is daar aangeneem dat die rots krake in verskeie rigtings het en dat water in die krake kan vloei wat veroorsaak dat druk in die krake kan opbou. As gevolg van hierdie druk word die rotsblok opgelig sodat dit deur die water weggevoer kan word. Sodra die eerste blok verwyder is, kan die waterkragte die daaropvolgende blok makliker aanval. Agt modelstudies is deur Reinius (1986) in 'n vloeikanaal uitgevoer sodat die waterdruk om 'n gesimuleerde rotsblok bestudeer kon word. Die nate en rotsblokke is in verskillende oriëntasieposisies getoets. Die gesimuleerde rotsblokke het uit identiese betonblokke, 0,2 m wyd, 0,15 m lank en 0,3 m hoog, bestaan.

Daar is vasgestel dat die waterdruk, wat deur hoë vloeisnelhede veroorsaak is, op die rots uitgeoefen en na die nate asook ander aaneengeskakelde oop nate oorgedra word. Die druk om die rotsblok veroorsaak dat die blok uitgelig word mits die oriëntasie van die nate dit toelaat. Indien die druk oor 'n groot oppervlak plaasvind, sal die hele oppervlak onderhewig wees aan opligting.

Drukfluktuasies of turbulensie dra by tot opligkragte, terwyl vibrasie ook die stabiliteit kan affekteer.

Stroomafhellende laagvlakke of nate is baie meer onderhewig aan die ontwikkeling van intense waterdruk as stroomophellende vlakke en sal dus baie vinniger of makliker erodeer. 'n Goedkoper manier om die verwante erosie te verhoed is om die nate met beton te seël en dreineringsgate aan te bring wat die opligdruk verlig. Hierdie metode kan ook met rotsankers gekombineer word.

(b) Opsomming

Algemeen

Aan die stroomaf kant van 'n oorloop word groot hoeveelhede energie deur die water gedissipeer. 'n Gedeelte van hierdie energie word aan die materiaal in die skortgebied of afvoerkanaal oorgedra. Die tempo van energietoedrag bepaal die sterkte van die aanval op die materiaal terwyl die tydsduur van die vloei die totale arbeid wat deur die water verrig word, bepaal.

Oordrag en verlies van energie in die oorloopstruktuur vind plaas deur die vrystelling van hitte, insluiting van lug, botsing van water teen rotsoppervlakke, skuifweerstand tussen die watervloei en die omliggende materiaal, dissipasie van druk deur nate in die rots, vervoer van gesuspendeerde materiaal en vervoer van materiaal op die bedding van 'n afvoerkanaal.

'n Rotsformasie bevat rotsblokke met verskillende groottes, vorms en sterktes. Die rotsblokke word van mekaar geskei deur diskontinuiteite met verskillende oriëntasies, wandskeidings en vulmateriale. Die belangrikste eienskappe van 'n rotsformasie wat energietoedrag beïnvloed, is die geometrie van die oppervlak (helling, ruheid, onreëlmatighede) en die teenwoordigheid van oop diskontinuiteite.

Erosie kan plaasvind as gevolg van verwering, drukverligting, verwydering van kohesielose materiaal, afskuur van kohesiewe materiaal, en beweging en uitspoel van blokke uit 'n gepakte rotsmassa. Die proses wat erosie veroorsaak, hang ook af van die hidrouliese toestande wat kan wissel van plaatvloei tot hoogs turbulente vloei of direkte impak van 'n vryvallende waterstraal.

As gevolg van die komplekse aard van rotsformasies, vind verskillende meganismes van erosie gelyktydig plaas. Die erosieprosesse verander ook met tyd omdat materiaal wat verwyder word, nuwe geometriese diskontinuiteite en geologiese materiaal aan die erosieproses blootstel.

Vervoer van kohesielose materiaal

Na die konstruksie van 'n skortgebied of afvoerkanaal, is

die oppervlak dikwels bedek met los grond of rotsblokke wat toevallig daar gelaat of daarin geplaas is om die oppervlak gelyk te maak. Dié materiaal word gevolglik maklik uitgespoel en die erosieproses word versnel deur onreëlmatighede in die vloer bloot te lê.

Wanneer die in situ-rotsformasie bestaan uit rotsblokke omsluit deur oop nate met 'n wye wandskeiding, sal dit ook as 'n kohesielose materiaal reageer. Indien die nate egter 'n nou wandskeiding het, reageer die rotsformasie nie as 'n kohesielose materiaal nie maar as 'n gepakte rotsmassa.

Die vermoë van water om kohesielose materiale te vervoer (erodeer) is 'n funksie van die beskikbare stroomdrywing en die valsnelheid van die partikels (Rooseboom & Mülke, 1982). Die valsnelheid hang af van die digtheid van die water en die digtheid, vorm en grootte van die partikels.

Wanneer rotsblokke oor die vloer van 'n skortgebied of afvoerkanaal beweeg word, dien dit as skuurmiddel om erosie van sagter gedeeltes te versnel.

Verwering van rotsmateriaal

Rots wat periodiek in 'n skort of kanaal blootgestel word, ondergaan siklusse van drukverligting as gevolg van temperatuur- en vogveranderings.

Sekere gesteentetipes soos moddersteen, skalie, tilliet en sommige doleriete en basalte, is besonder sensitief vir wisseling in vogtoestande en kan binne die bestek van enkele dae blussing ondergaan. Die gebluste materiaal vorm 'n dun skil van sagte, los materiaal wat tydens die volgende vloed verwyder word om 'n nuwe oppervlak aan verwering bloot te stel. Hierdie proses sal voortgaan totdat 'n meer duursame gesteentetipe blootgestel word.

Harde rots wat onder toestande van residuele spanning verkeer, vorm krake as gevolg van drukverligting. Die los rotsblokke wat omsluit word deur die krake word dan deur watervloei verwyder en verdere drukverligting vind plaas. Hierdie proses kan homself herhaal totdat die erosieholte sodanige vorm aangeneem het dat lokale spannings nie langer die sterkte van die rots oorskry nie.

Afskuur van intakte materiaal

Intakte materiaal bestaan uit individuele partikels wat aan mekaar gebind is deur kohesie en wat nie (groter) diskontinuiteite, soos nate of gelaagdheid, bevat nie.

Indien water op intakte materiaal val of daaroor vloei, kan dit nie maklik tussen die partikels indring nie en oefen dus slegs van die oppervlak af 'n skuuraksie uit. Erosie vind plaas wanneer die skuifspanning wat deur die water veroorsaak word, die interpartikelkohesie oorskry.

Uitskuur van vulmateriaal langs diskontinuiteite

Vulmateriaal van diskontinuiteite skei individuele rotsblokke in 'n rotsmassa van mekaar. Die vulmateriaal kan bestaan uit kohesielose materiaal (sand of slik), relatief sagte kohesiewe materiaal (klei) of uit sekondêre minerale wat somtyds selfs sterker as die rotsblokke self is.

Die meganisme van uitskuring van vulmateriaal hang af van die korrelgrootte (in die geval van kohesielose materiaal) en die kohesie van klei of sementeringsmateriaal. Die prosesse is soortgelyk aan dié van verwering en afskuring, maar die tempo van erosie word beïnvloed deur die oriëntasie van die diskontinuiteite ten opsigte van die rigting van watervloei en die teenwoordigheid van relatief weerstandbiedende rots aan die kante daarvan.

Nadat die vulmateriaal deur erosie verwyder is, kry water toegang tot die diskontinuiteite en die oorblywende rotsblokke kan dan optree as 'n kohesielose materiaal (in die geval van 'n groot naatvolume) of as 'n gepakte rotsmassa (klein naatvolume).

Erosie van 'n gepakte rotsmassa

'n Gepakte rotsmassa bestaan uit rotsblokke wat deur oop nate van mekaar geskei word. Die nate se wandskeiding is egter klein genoeg dat blokke nie rotasie binne die aangrensende rotsmassa kan ondergaan nie.

Die verwyderbaarheid van rotsblokke hang af van hulle vorms en posisies in ooreenstemming met die sluitblokbeginsel soos voorgestel deur Goodman en Shi Gen-Hua (1985). 'n Wigvormige blok wat nie deur 'n aanliggende rotsblok

begrens word nie ('n vryvlakbegrensing), is vry verwyderbaar, terwyl 'n getapte blok nie verwyderbaar is alvorens die aangrensende wigvormige blokke weg is nie. Kubiese of prismatiese blokke is verwyderbaar, maar beweging word deur wrywing met aangrensende blokke beïnvloed.

Inperking speel 'n belangrike rol omdat dit die wrywing of skuifsterkte tussen rotsblokke bepaal. Dit word beïnvloed deur bestaande residuele spannings in die aardkors en die mate van begrensing wat deur geometriese kenmerke bepaal word.

Oormatige drukspanning kan buiging en swigting van rotslae by die grondvlak veroorsaak, terwyl matige drukspannings die wrywing tussen blokke sodanig kan verhoog dat dit erosie weerstaan. Trekspanning veroorsaak oop nate met blokke wat relatief makliker verwyder kan word.

Die aantal vryheidsgrade of aantal kante van 'n blok wat deur vry vlakke begrens word, speel ook 'n belangrike rol. Hoe meer vryheidsgrade daar is, des te meer verminder die interaksie (wrywing) tussen blokke en vermeerder die aantal rigtings waarin die blok kan beweeg.

Die kragte wat 'n blok kan laat beweeg, is swaartekrag (teen hellende vlakke) en waterdruk. Water wat in naatvlakke dring, het die volgende effekte:

- Naatwande word verswak en die wrywingshoek verlaag.
- Effektiewe druk tussen naatvlakke verminder en skuifsterkte verlaag dienooreenkomstig.
- Waterdruk word uitgeoefen in rigtings van vry vlakke waarheen die blok kan beweeg.
- Plaatvormige blokke is baie sensitief vir waterdruk van onder omdat waterkrag die swaartekrag en wrywing kan oorskry.

'n Vallende waterstraal of turbulente watervloei kan groot druk in oop nate laat ontstaan. Hierdie drukke fluktrueer gewoonlik vinnig en dit veroorsaak dinamiese kragte wat die rotsmassa kan laat vibreer en sodoende die skuifsterkte verder verlaag om blokbeweging te versnel.

Die oriëntasie van naatvlakke speel 'n belangrik rol. Indien die naatvlak ongeveer parallel met die vloeirigting

is, word hoër waterdrukke daarin voortgeplant en blokke makliker stroomaf beweeg.

Knakpunterosie

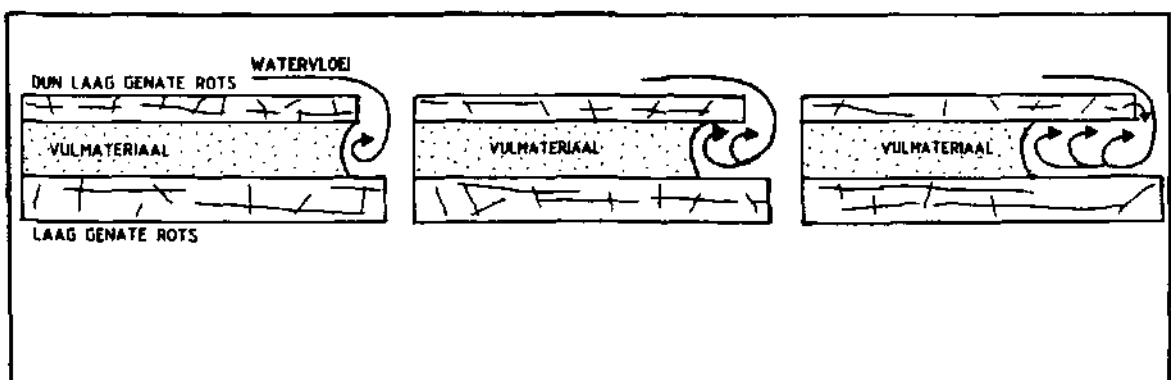
'n Knakpunt is 'n punt waar erosie in 'n afvoerkanaal gekonsentreer word as gevolg van 'n verandering in gradiënt, 'n sone van dieper erosie of 'n versperring soos 'n groot rots of boomstomp in die pad van die watervloei.

Hierdie punte veroorsaak groter turbulensie en daar vind meer erosie plaas. Volgens Mathewson (1981) begin erosie gewoonlik by 'n knakpunt en vreet terugwaarts (retrogressief).

Veranderings in kanaalgradiënt is dikwels die gevolg van litologiese verskille wat lei tot die vorming van knakpunte in die profiel waar meer weerstandbiedende gesteentes die normale erosieproses vertraag.

Knakpunterosie, waar harder en sagter lae voorkom, word in Figuur 2.3 geïllustreer. Die sagter materiaal word uitgespoel en sodra genoeg materiaal verwyder is, breek die oorliggende laag en die proses begin van voor af.

Indien daar sones van swakheid in die rotsformasie voorkom, word dit vinniger uitgeskuur, watervloei word langs daardie sone gekonsentreer en die proses word versnel. In die veld is waargeneem dat diskontinuiteite soos nate, verskuiwings, lineamente, ensovoorts wat mekaar kruis, knakpunterosie veroorsaak.



Figuur 2.3 Terugwaartse knakpunterosie

Gevolgtrekkings

Die belangrikste meganisme van erosie in 'n rotsformasie is die losmaak en verwydering van rotsblokke uit die rotsmassa. Dit vind plaas deurdat water die vulmateriaal tussen blokke uitspoel of langs oop nate die rotsmassa binnedring en dinamiese drukfluktuasies daarin veroorsaak. Die kleinste blokke en blokke met die minste inperking sal eerste beweeg en sodoende ruimte skep vir groter blokke om ook te beweeg.

Die komponente van die erosieproses wat tydgebonde is, is die verwydering of binnedring van kohesiewe naatvulmateriaal en die verwerking of drukverligting van die boonste rotslae. Sodra waterdruk toegang tot 'n bepaalde gedeelte van die rotsformasie verkry, vind erosie vinnig plaas totdat daardie gedeelte van die formasie alles verwyder is. In die meeste gevalle word alle materiaal wat onder 'n bepaalde grootte van stroomdrywing erodeerbaar is, binne die tydbestek van 'n enkele vloedepisode verwyder. Verdere erosie kan dan eers plaasvind wanneer daar 'n groter vloei voorkom of nadat verwerking of drukverligting 'n verdere gedeelte van die rotsmassa verswak het.

2.6 Rotsmassaklassifikasiestelsels

(a) Definisie

'n Rotsmassa bestaan uit blokke intakte rotsmateriaal wat van mekaar geskei word deur diskontinuiteite, soos laagvlakke, nate, breuksone, ensovoorts.

Die intakte rots kan geklassifiseer word volgens tipe, maaksel en verweringsgraad (AEG, 1978), hardheid (Jennings Brink & Williams, 1973), eenassige druksterkte (Bieniawski, 1973), seismiese snelheid, droë digtheid, poreusheid, vervormbaarheid, deurlatendheid en duursaamheid (Olivier, 1979), en verskeie ander minder belangrike eienskappe.

Diskontinuiteite word beskryf in terme van posisie, soort, oriëntasie, spasiëring, wandskeiding, wandsterkte, wandruheid, vulmateriaal en aaneenlopendheid (Brown, 1981).

Rotsmassaklassifikasie het ten doel om eienskappe van die rotsmateriaal en die diskontinuïteite te kombineer ten einde 'n algemene oorsig van die rotsmassatoestand te voorsien. Die keuse van insetparameters, hulle waardebepaling ten opsigte van belangrikheid en die wyse waarop hulle gekombineer word, hang af van die doel van die klassifikasie. In die algemeen word daar dus van 'n klassifikasiestelsel verwag om toestande by 'n bepaalde terrein in verband te bring met toestande by ander terreine waar gedragsrekords reeds beskikbaar is.

(b) Klassifikasiestelsels

Altesaam 23 rotsmassaklassifikasiestelsels is in die literatuur opgespoor. Verreweg die meeste van hulle het ten doel om tonneltoestande, soos onbestutte staantyd, rotslas, vereiste bestutting en tonnelboumetodes, te probeer vooruitskat.

Al die stelsels maak van dieselfde soort insetparameters gebruik en 'n lys van die mees algemene parameters is soos volg:

Rotsmateriaalparameters

- Gesteentetipe
- Sterkte/hardheid
- Verweringsgraad
- Duursaamheid
- Swelpotensiaal

Diskontinuïteite

- Aantal stalle
- Oriëntasie
- Spasiëring
- Breukfrekwensie
- Struktuur
- Aaneenlopendheid
- Wandsterkte
- Wandskeiding
- Wandruheid
- Verwering en/of vulling

Ander parameters

- Grondwatertoestand en/of druk
- In situ-spannings
- Seismiese snelheid
- Effekte van skietwerk

Rotskwaliteitswaarde (RKW) soos voorgestel deur Deere (1964) is 'n kwantitatiewe indeks wat op kernherwinning tydens diamantboorwerk met NX-grootte boortoerusting gebaseer is:

$$RKW = \frac{\text{som van alle lengtes van boorkernstukke} > 100 \text{ mm} * 100\%}{\text{lengte geboor}}$$

Die RKW-waarde van 'n rotsmassa word as insetparameter in talle rotsmassaklassifikasies gebruik en kan ook as enigste parameter gebruik word.

Bieniawski (1973) se Rock Mass Rating (RMR)-stelsel maak gebruik van die volgende parameters elk met relatiewe prioriteitswaarde:

■	Rotsmateriaalsterkte	(15%)
■	Rotskwaliteitswaarde (RKW)	(20%)
■	Naatspasiëring	(30%)
■	Naattoestand	(25%)
■	Grondwatertoestand	(10%)

Elke parameter word in vyf klasse ingedeel en elke klas kry 'n puntetelling tussen nul en die maksimum persentasie soos hierbo aangedui. Die somtotaal van die punte van die parameters gee die RMR-waarde. Die RMR-waarde kan verder aangepas word vir naatorientasie met 'n soortgelyke puntestelsel wat verskil, afhangende daarvan of die toepassing tunnels, fondamente of hellings is. Daar is vyf rotsklasse (baie swak; swak; redelik; goed; baie goed) en afgesien van tunnelbestutting, kan afleidings oor rotsmassasterkte en rotsmassavervormbaarheid van die klasindeling gemaak word.

Barton, Lien & Lunde (1974) se rotsmassakwaliteit (Q) word soos volg bereken:

$$Q = [RKW/J_n] * [J_r/J_a] * [J_w/SRF]$$

waar

RKW	=	rotskwaliteitswaarde (10-100)
	=	$115 - 3,3J_c$
J_c	=	aantal nate per m^3
J_n	=	naatstelnommer (0,5-20)
J_r	=	naatruheidsnommer (0,5-4)
J_a	=	naatverweringsnommer (0,75-20)
J_w	=	naatwaterverminderingfaktor (0,05-1)
SRF	=	spanningsverminderingfaktor (0,5-20)

Bogenoemde waardes word, volgens 'n beskrywing van die rotsmassa, met behulp van tabelle bepaal.

Die Q-waarde word saam met 'n Uitgrawingsbestuttings-verhouding gebruik om die tipe permanente tonnelbestutting van tabelle af te lees.

In die gevalle van die stelsels van sowel Bieniawski as Barton et al, het Suid-Afrikaanse outeurs aanpassings gemaak ten einde dit te kan toepas as klassifikasiestelsels vir die uitgraafbaarheid van rots en grond.

Weaver (1975) het Bieniawski se stelsel as basis gebruik en die parameters RKW en grondwatertoestande vervang met dié van seismiese snelheid en verweringsgraad. Die gewigte van verskeie parameters is gewysig en onder naattoestand is afsonderlike gewigte aan aaneenlopendheid en wandskeiding toegeken. 'n Klassifikasie van hierdie aard kan waarskynlik met sukses op erodeerbaarheid toegepas word indien parameters soos duursaamheid, eienskappe van naatvulmateriaal, vorm en/of gradiënt van kanaal en effek van skietwerk bygewerk, en 'n bevredigende indeling vir naatorientasie verkry kan word.

Kirsten (1982) se uitgraafbaarheidsklassifikasie is soortgelyk aan die stelsel van Barton et al (1974), maar verskeie nuwe parameters is gedefinieer en die waardes van Barton se parameters is aangepas. Die uitgraafbaarheidsindeks (K_n) word soos volg bereken:

$$K_n = M_s * [RKW/J_n] * J_s * [J_r/J_a]$$

waar

M_s	=	massasterktenommer (van tabelle verkrygbaar)
RKW	=	$115 - 3,3J_c$ (met minimum waarde van 5)
J_c	=	aantal nate per m^3
J_n	=	naatstelnummer (1-5)
J_s	=	struktuurnommer (0,45-1,50)
J_r	=	naatruheidsnummer (0,5-20)
J_a	=	naatverweringsnummer (0,75-20)

Tabelle wat gebruik word vir die bepaling van die verskillende parameters verskyn in Hoofstuk 3.

Waardes van K_n kan wissel van 0,01-10 000 en daarvolgens word die rotsmassa in 8 klasse van uitgraafbaarheid ingedeel.

'n Vergelyking tussen die K_n -waarde, materiaaltipe en toepaslike uitgraaftoerusting, word in Tabel 2.2 gegee: (Die skeurbaarheid verwys na 'n Caterpillar-stootskraper met enkeltandskeurploeg.)

Tabel 2.2 Definisie van uitgraafbaarheidsklassifikasiesistels vir grond en rots (volgens Kirsten, 1982)

MATERIAAL-TIPE	KLAS	K_n -WAARDE	BESKRYWING VAN UITGRAAFBAARHEID	TREKKER-TIPE	VLEGWIEL-DRYING (kW)
GROND	1	<0,01	Graaf	D3	46
	2	0,01-0,09	Pik en graaf	D4/D5	56/78
	3	0,1-0,9	Kraggereedskap	D6D	104
ROTS	4	1-9,9	Maklik skeurbaar	D7G	149
	5	10-99,9	Moeilik skeurbaar	D8K	224
	6	100-999	Baie moeilik skeurbaar	D9H	306
	7	1000-9999	Uiters moeilik skeurbaar	D10	522
	8	>10000	Skietwerk		

Volgens Kirsten is daar ongeveer 'n logaritmiese verhoging in vliegwieldrywing met opvolgende tipe Caterpillar-stootskraper. Hierdie waardes word gekorreleer met K_n -waardes wat ook logaritmies toeneem met opvolgende klasse.

'n Rotsmassaskeurbaarheidsindeks (Rock Mass Rippability Index-RMRI) word deur Goktan en Eskikaya (1991) soos volg uitgedruk:

$$RMRI = [0,5/CMW] * \sigma_c \quad (\text{MPa})$$

waar

$$\begin{aligned} CMW &= \text{die koëffisiënt van massaswakheid} \\ &= f_a * f_b \end{aligned}$$

f_a en f_b = frekwensie van die twee dominante naatstelle

$$\sigma_c = \text{eenassige druksterkte van rotsmateriaal}$$

'n Uitstekende korrelasie is gevind tussen die skeurtempo (m^3/u) en die RMRI.

2.7 Metodes om erodeerbaarheid te bepaal

Volgens 'n loodsondersoekverslag (Van Schalkwyk, 1989) word daar onderskei tussen die meganisme van erosie benede 'n vryvaloorloop en uitskuring in 'n afvoerkanaal.

(a) Vryvaloorloop

Talle artikels en handboeke bespreek die vorming van 'n kolk gat benede 'n vryvaloorloop, en slegs die belangrikstes word aangehaal.

Mason & Arumugan (1985) gee 'n lys van 31 formules wat tussen 1932 en 1980 gepubliseer is vir die berekening van die diepte van kolk gatvorming deur die afvoerstraal van 'n vryvaloorloop.

Die standaardformule wat in die meeste ouer handboeke verskyn, is dié van Veronese (1937) wat soos volg daar uitsien (in metrieke mate):

$$D = 1,9 * q^{0,54} * H^{0,225}$$

waar

$$D = \text{maksimum diepte van uitskuring (m) benede stroomaf watervlak}$$
$$q = \text{uitvloei in m}^3/\text{s per meterwydte van oorloop}$$
$$H = \text{drukhoogte (m) van die reservoirstroombedding tot stroomaf watervlak}$$

Volgens bogenoemde vergelyking speel die aard van die materiaal benede die oorloop geen rol by die uiteindelijke diepte van die kolk gat nie. Die USBR (1987) gee toe dat die erodeerbaarheid van die stroomaf materiaal aanvanklik die tempo van erosie bepaal, maar dat die uiteindelijke kolk gat vir alle praktiese doeleindes by 'n beperkende diepte, onafhanklik van die "materiaalgrootte", sal stabiliseer.

Na aanleiding van 'n studie van erosie by 26 oorlope en 47 modelle van oorlope, stel Mason (1985) die volgende empiriese vergelyking vir die bepaling van uitskuurdiepte (D) voor:

$$D = K * g^x * H^y * h^w / g^v * d^z$$

waar

$$g = \text{swaartekragversnelling (m/s}^2\text{)}$$
$$H = \text{valhoogte in meter}$$
$$h = \text{onderloopwaterdiepte in rivier (m)}$$
$$d = \text{gemiddelde rotspartikelgrootte van stroombeddingmateriaal in meter}$$

en

$$\begin{aligned}K &= (6,42 - 3,10 H^{0,10}) \\x &= (0,60 - H/300) \\y &= (0,05 + H/200) \\w &= 0,15 \\v &= 0,30 \\z &= 0,10\end{aligned}$$

(In die geval van die meeste soorte bodemrots word 'n waarde van $d = 0,25$ m voorgestel.)

(b) Afvoerkanale

'n Erodeerbaarheidsindeks is deur Cameron et al (1988) voorgestel vir gevalle waar erosie in noodafvoerkanale in die VSA voorgekom het. Die Erosiewaarskynlikheidsindeks (Erosion Probability Index-EPI) is gebaseer op die konsep dat die geotegniese faktore wat die erosie tydens afvoervloei beheer, vervat word in die rotsmassa-uitgraafbaarheid en die litostratigrafiese kontinuïteit, en dat hierdie faktore semi-kwantitatief bepaalbaar is. Die Geotegniese Erosiewaarskynlikheidsindeks (EPI_g) word deur die Uitgraafbaarheidsparemeter (E_r) en die Kontinuïteitsparemeter (E_c) bepaal (Tabel 2.3). Die waardes in hierdie tabel is gebaseer op die parameters wat vir die Weaver-uitgraafbaarheidstoekenningskaart (Weaver, 1975) gebruik word. Die toekenningswaardes is egter effens aangepas. Die Hidrouliese Erosiewaarskynlikheidsindeks (EPI_h) is bepaal deur hidrouliese studies in die laboratorium. Die EPI word soos volg bereken:

$$\begin{aligned}EPI &= EPI_g + EPI_h \\ \text{waar} \quad EPI_g &= E_r + E_c\end{aligned}$$

Tabel 2.3 Metode om die geotegniese EPI te bereken

GEOTEGNIESE EROSIewaarskynlikheids-INDEKS (EPI _g)	
UITGRAAFBAARHEIDSPARAMETERS (E _p)	WAARDE
Rotsmassaparameters	
Rotshardheid	0-10
Rotsverwering	1-15
Waatspasiering	5-30
Naatkontinuiteit	0-5
Naatskeiding	1-5
Strekking en/of helling	3-15
Seismiese P-golfsnelheid	5-20
Totale waarde	15-100
KONTINUÏTEITSPARAMETERS (E _c)	WAARDE
Vertikale kontinuiteit (laagdikte)	5-15
Laterale kontinuiteit	5-25

Moore (1991) het 'n tegniese verslag opgestel oor metodes vir die skatting en beskrywing van rots ten opsigte van hidrouliese erodeerbaarheid. In die verslag word sekere geologiese en ingenieursgeologiese eienskappe van die rots beskryf. Die onderskeid tussen grond en rots het tot verwarring van standaard ingenieursdefinisië gelei. Daar is dus voorgestel dat die volgende toestande moet heers voordat die materiaal as rots geklassifiseer kan word:

- Die materiaal moet 'n eenassige druksterkte $\geq 1,25$ MPa besit.
- Meer as 75% van die massa moet uit rotspartikels met 'n gemiddelde diameter $\geq 0,2$ m bestaan.

Data van die rots moet so aangeteken word dat tersaaklike en betroubare inligting beskikbaar gestel word. Prosedures vir rotsbeskrywing en diskontinuiteitsopnames is opgestel sodat alle data maklik en eenvoudig in die veld versamel kan word. Die volgende rotsmateriaaleienskappe word beskryf:

- Rotstipe
- Kleur
- Rotspartikelgrootte en/of -tekstuur
- Hardheid
- Sterkte

'n Diskontinuïteitsopname word volledig gedoen en die naatoriëntasies word op 'n Schmidt-net gestip.

Fisiese eienskappe soos seismiese snelheid, verwerking en sekondêre openinge kan ook die hidrouliese erodeerbaarheid en uitgraafbaarheidseienskappe van die rots beïnvloed.

2.8 Gevolgtrekkings van die literatuurstudie

Probleme met erosie by onbeklede damoorlope word wêreldwyd ondervind en verskeie instansies is besig met navorsing in hierdie verband.

Daar is metodes beskikbaar waarvolgens die erodeerbaarheid van kohesielose en sagte kohesiewe materiale onder verskillende vloeitoestande bepaal kan word. Toetse met waterspuite word veral dikwels aangewend.

Empiriese formules vir die berekening van kolkgatdiepte by vryvaloorlope gee 'n redelik goeie korrelasie met waargenome toestande, maar bring nie die geotegniese eienskappe van die rotsformasie in berekening nie. Verdere navorsing hieroor word deur die EMATEK van die WNNR onderneem.

Natuurlike rotsformasies bestaan uit 'n komplekse samestelling van rotsblokke en diskontinuïteite waarop vloeiende water op baie verskillende maniere kan inwerk. Alhoewel die meganisme van erosie en die tersaaklike rotsmassaparameters reeds ondersoek is, bestaan daar egter geen bevredigende metode om die graad en tempo van erosie van rotsformasies met die verwagte hidrouliese toestande waaraan dit blootgestel sal wees, te voorspel nie.

Diskontinuïteite in 'n rotsformasie verteenwoordig gewoonlik die swakste materiaal wat eerste sal erodeer en toegang aan water verleen om die rotsmassa binne te dring en rotsblokke te verwyder. Daar bestaan dus 'n behoefte aan navorsing om die eienskappe van diskontinuïteite, en veral naatvulmateriaal, beter te kan beskryf in terme van erodeerbaarheid en om die meganisme van erosie van sulke vulmateriaal tussen starre rotswande beter te verstaan. Hierdie soort navorsing kan slegs met behulp van vloeikanaaltoetse onder gekontroleerde toestande in 'n laboratorium uitgevoer word.

Verskeie navorsers het tot die gevolgtrekking gekom dat dit, vanweë die komplekse interaksie tussen rotsformasies en

hidrouliese parameters, nie moontlik is om 'n streng wetenskaplike metode vir die bepaling van erodeerbaarheid daar te stel nie. Die enigste alternatief is om met behulp van werklike gevallestudies van erosie 'n korrelasie te probeer vind tussen sekere hidrouliese, geotegniese en erosieparameters.

Die belangrikste aksie gedurende die huidige navorsingsprojek het dus gekonsentreer op die insameling van data oor die graad van erosie wat deur verskillende vloeitoestande by 'n aantal tipiese rotsformasies veroorsaak is. Met behulp van hierdie data kan verskillende rotsmassaparameters dan met vloeitoestande en erosiegraad vergelyk word om sodoende die mees geskikte parameter(s) vir die karakterisering van rotsformasies te identifiseer.

3. DATA OOR EROSIE BY DAMOORLOPE

3.1 Inleiding

Ten einde die erodeerbaarheid van 'n rotsmassa te kan evalueer, is dit nodig om parameters wat geredelik beskryf en gekwantifiseer kan word, van sowel die rotsmassa as die watervloei, met mekaar te korreleer en dit met die graad en tempo van erosie te vergelyk.

As gevolg van die uiters komplekse aard van rotsmassas en stroomvloei, het dit duidelik geword dat 'n streng wetenskaplike of teoreties gegronde korrelasie tussen die weerstand van 'n rotsmassa en die eroderende vermoë van 'n waterstroom nie prakties uitvoerbaar sal wees nie.

Die benadering van hierdie studie was dus om met behulp van 'n groot aantal gevallestudies 'n geskikte korrelasie te probeer vind tussen geselekteerde parameters van die rotsmassa, die stroomvloei en die waargenome erosie. Gesamentlik word hierna as erosieparameters verwys.

3.2 Ondersoeke van damoorlope in Suid-Afrika

Die Damveiligheidskantoor van die Departement van Waterwese en Bosbou het waardevolle hulp verleen met die aanwysing van damme waar daar 'n mindere of meerdere mate van erosie by die oorlope plaasgevind het. Die vereistes waaraan 'n oorloop moes voldoen om by die studie ingesluit te word, is soos volg:

- Daar moet 'n onbeklede skortgebied of afvoerkanaal in rots wees.
- Meetbare erosie moes plaasgevind het.
- Vloeierekords moet beskikbaar wees.

In totaal is daar by 29 damoorlope ondersoeke uitgevoer, waarvan slegs 18 aan bogenoemde vereistes voldoen het. Hierdie strukture verteenwoordig 4 vryvaloorlope en 14 oorlope met afvoerkanaale. Elkeen van hierdie oorlope het 'n verskillende vloedpiek ondervind en 8 verskillende gesteentesoorte is verteenwoordig. Gegewens wat verkry is tydens waarnemings by die ander 11 oorlope kon egter steeds gebruik word om die meganismes van erosie te bestudeer.

By die meeste van die oorlope kon meer as een tipiese erosiepartoon geïdentifiseer word. Daar kon dus altesaam 43 erosiepunte beskryf word wat elkeen 'n ander kombinasie van rotsformasie, vloeitoestande en erosiegraad verteenwoordig.

'n Opsomming van gegewens oor die naam, ligging, tipe oorloop, gesteentetipe in oorloop, datum voltooi en rivier van elk van die geselekteerde damme verskyn in Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Opsomming van gegewens oor geselekteerde oorlope in Suid-Afrika

NR.	DAMNAAM	PROVINSIE STAD/DORP	TIPE OORLOOP	ROTS IN OORLOOP	VOL- TOOI	RIVIER
1	Applethwaite	Kaap Grabouw	Sykanaal	Sandsteen kwartsiet	1952	Palmiet
2	Bellair	Kaap Ladismith	Sykanaal	Moddersteen sliksteen	1920	Brak
3	Bridledrift	Oos-Kaap Oos-Londen	Ogee met kanaal	Doleriet	1969	Buffels
4	Craigie Burn	Natal Greytown	Vryval	Doleriet	1963	Mnyamvubu
5	Floriskraal	Kaap Laingsburg	Ogee met kanaal	Tilliet	1957	Buffels
6	Gankapoort	Kaap Ladysmith	Ogee met wipskoep	Kwartsiet sandsteen	1969	Gamka
7	Goedertrouw	Natal Eshowe	Ogee, wipskoep kanaal	Tilliet	1982	Mhlatuze
8	Hans Strydom	Transvaal Ellisras	Sykanaal	Sandsteen	1980	Mogol
9	Hartebeespoort	Transvaal Pretoria	Geut met kanaal	Kwartsiet	1923	Krokodil
10	Kammanassie	Kaap Oudtshoorn	Sykanaal	Sandsteen sliksteen moddersteen	1923	Kammanassie
11	Katrivier	Kaap Seymour	Vryval	Doleriet	1969	Kat
12	Klipfontein	Natal Vryheid	Kanaal	Doleriet	1983	Wit - Mfolozi
13	Marico Bosveld	Transvaal Grt/Marico	Saagtand/ kanaal	Kwartsiet	1933	Groot Marico
14	Mziki	Natal Hluhluwe	Kanaal	Tuf	?	?
15	Prinsrivier	Kaap Swellendam	Ogee met kanaal	Moddersteen sliksteen	1917 1982	Prins
16	Rodeplaat	Transvaal Pretoria	Vryval	Felsiet	1959	Pienaars
17	Tuinroete	Kaap George	Ogee met kanaal	Skis	1979	Swart
18	Wagendrift	Natal Estcourt	Vryval	Skalie moddersteen	1964	Boesmans

Inligting oor die naam van die dam, die wydte en valhoogte van oorloop, die vloeitempo's, geskatte herhaalperiodes en datums van vloedpieke vir die 18 damme wat vir detailondersoeke geselekteer is, verskyn in Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Opsomming van data oor oorlope en vloedpieke in Suid-Afrika

NR	DAMNAAM	WYDTE (m)	VAL- HOOGTE (m)	VLOED- PIEK (m ³ /s)	HERHA- LINGS- PERIODE (jaar)	VLOED- PIEK- DATUM
1	Applethwaite	36,3		762	100	-
2	Bellair	60		144	-	02/81
3	Bridledrift	107,4		2200	100	11/85
4	Craigie Burn	122	35	367	50	09/87
5	Floriskraal	61		4620	200	01/81
6	Gamkapoort	101		3111	50	03/81
7	Goedertrouw	160		590	10	09/87
8	Hans Strydom	200		82,3	2	02/81
9	Hartebees- poort	127		1046 825	10	02/44 02/78
10	Kammanassie	199		2471 936	200	01/32 05/81
11	Katrivier	120	38	115	10	12/85
12	Klipfontein	101		980	100	01/84
13	Marico Bosveld	166		138 417	20	02/44 03/76
14	Mziki	33		150	-	-
15	Prinsrivier	107		1030	200	01/81
16	Roodeplaat	143	49	1151	50	01/78
17	Tuinroete	26		54	10	10/85
18	Wagendrift	103	32	687	50	09/87

Aangesien die maksimum historiese vloei by die meeste oorlope feitlik 'n ordegrötte groter was as die tweede grootste vloei, was dit in baie gevalle moontlik om spesifieke voorkomste van erosie met die vloei wat daarvoor verantwoordelik was, te verbind.

Erosiepunte is sorgvuldig gekies sodat die tipe materiaal wat deur die vloed verwyder is, eerder as dit wat behoue gebly het, beskryf kon word. In enkele gevalle is die oorblywende materiaal beskryf en as punte van geen erosie gedokumenteer.

Die belangrikste doelwitte met veldwaarnemings van bestaande onbeklede damoorlope was om erosiemeganismes te bestudeer, tipiese erosiepunte te identifiseer en te beskryf, en die verskillende rotsmassaparameters by elke erosiepunt aan te teken. Terselfdertyd moes daar ook inligting ingesamel word om 'n berekening van hidrouliese parameters moontlik te maak.

Volledige beskrywings van die geologiese en rotsmateriaal-toestande, die topografie en die omvang van erosieskade by elk van die 43 erosiepunte verskyn in Bylae 1 van hierdie verslag.

(a) Identifikasie en beskrywing van erosiepunte

By elke damoorloop is die belangrikste vloeikanale geïdentifiseer en tipiese erosiepunte gekies waar verskillende rotsmateriaaltoestande, grade van erosie en vloeitoestande in kombinasie kan voorkom. Elke erosiepunt is met verf gemerk (E1, E2, ens.) en gefotografeer.

Met die inligting van 'n literatuurstudie, laboratoriumtoetse en waarnemings van die meganisme van erosie by damoorlope, is vasgestel dat die erodeerbaarheid van 'n rotsformasie hoofsaaklik deur die sterkte van die rotsmateriaal, die eienskappe van die diskontinuïteite en die heersende spanningstoestand bepaal word.

Vir elkeen van die volgende rotsmassaparameters is 'n beskrywing gemaak en 'n waarde toegeken. Die term "naat" in hierdie bespreking verwys na nate en ander diskontinuïteite in die rotsmassa.

Eenassige druksterkte

Die eenassige druksterkte van rotsmateriaal is indirek met behulp van 'n Puntlasapparaat of 'n Schmidthamer bepaal en uitgedruk in MPa. In sommige gevalle is indekstoetse met 'n knipmes of geologiese pik uitgevoer en die sterkte is met behulp van Tabel 3.3 (volgens Kirsten, 1982) bepaal.

Tabel 3.3 Sterkte van rots met indekstoetse volgens Kirsten (1982)

Hardheid	Identifikasie met mes of geologiese pik	Eenassige druksterkte (MPa)	Massasterkte-waarde (M_s)
Baie sagte rots	Materiaal krummel met stewige houe deur skerp punt van geologiese pik en kan met 'n mes geskil word.	1,7	0,87
		1,7 - 3,3	1,86
Sagte rots	Kan net geskraap en geskil word met 'n mes. Duik 1 tot 3 mm in van stewige houe met pik se punt.	3,3 - 6,6	3,95
		6,6 - 13,2	8,39
Harde rots	Kan nie geskraap of geskil word met mes nie. 'n Monster wat in die hand gehou word, kan deur een stewige pikhou gebreek word.	13,2 - 26,4	17,7
Baie harde rots	Monster wat in die hand gehou word, breek na meer as een pikhou.	26,4 - 53,0	35
		53 - 106	70
Uiters harde rots	Baie houe nodig om monster met pik om te breek.	106 - 212	140
		>212	280

Kohesie

Aangesien die erosieproses in die eerste plek deur 'n oorskryding van kohesie tussen partikels of rotsblokke aan die gang gesit word, moet sterkte eerder in terme van kohesie uitgedruk word.

In die geval van die meeste intakte natuurlike materiale is dit bekend dat die kohesiewaarde gewoonlik tussen een-tiende en een-helfte van die eenassige druksterkte beloop.

In die geval van verweerde rots of naatvulmateriaal, is slegs van indekstoetse gebruik gemaak en die kohesie is bepaal volgens Tabel 3.4 (Kirsten, 1982).

Tabel 3.4 : Kohesie van kohesiewe materiaal volgens Kirsten (1982)

Stewigheid	Identifikasie in profiel	Wiek-skuifsterkte (kPa)	Massasterkte-waarde (Ms)
Baie sag	Punt van pik kan maklik tot by steel ingedruk word. Maklik gevorm met vingers.	0 - 80	0,02
Sag	Maklik penetreerbaar met duim. Skerp punt van pik kan 30 - 40 mm ingedruk word. Kan met 'n bietjie druk van vingers gevorm word.	80 - 140	0,04
Ferm	Kan met moeite met duim ingedruk word. Skerp punt van pik kan tot 10 mm ingedruk word. Baie moeilik om met vingers te vorm. Kan net gepetreer word met 'n handgraaf.	140 - 210	0,09
Styf	Duimnael kan materiaal penetreer. Effense duik word veroorsaak deur indruk van pik punt in grond. Kan nie deur vingers gevorm word nie. Benodig handpik vir uitgrawing.	210 - 350	0,19
Baie styf	Kan met moeite met duimnael ingedruk word. Effense induik deur 'n hou van pikpunt. Benodig kragtoerusting vir uitgrawing.	350 - 750	0,41

Rotskwaliteitswaarde (RKW)

Die RKW is met behulp van die volgende formule bereken en as 'n persentasie aangegee:

$$\text{RKW} = 115 - 3,3 * J_c$$

waar

$$J_c = \text{Aantal nate per m}^3$$

Die aantal nate per kubieke meter is bereken deur die naatfrekwensie (aantal nate per meter) vir elke naatstel te bepaal en dit bymekaar te tel.

Naatspasiëring

Die naatspasiëring (gemiddelde loodregte afstand tussen nate van een naatstel) is vir elke naatstel gemeet en in meter aangeteken.

Naatstelnommer (J_n)

Die naatstelnommer soos beskryf deur Kirsten (1982) is volgens Tabel 3.5 bepaal.

Tabel 3.5 Naatstelnommer (J_n) (volgens Kirsten, 1982)

Aantal naatstelle	Naatstelnommer (J_n)
Intak, geen of min nate	1,00
Een naatstel	1,22
Een naatstel plus willekeurig	1,50
Twee naatstelle	1,83
Twee naatstelle plus willekeurig	2,24
Drie naatstelle	2,73
Drie naatstelle plus willekeurig	3,34
Vier naatstelle	4,09
Veelvuldige naatstelle	5,00

Naatoriëntasie

Die helling (onderkant horisontaal) en die hellingsrigting (kloksgewys vanaf ware noord) is met 'n geologiese kompas gemeet en in grade aangedui. Die rigting van watervloei is op dieselfde wyse bepaal.

Relatiewe struktuurnommer (J_s)

Die oriëntasie en spasiëring van diskontinuïteite beïnvloed die krag wat nodig is om individuele blokke los te maak. So byvoorbeeld erodeer stroomafhellende lae makliker as stroomophellende lae. Tabel 3.6 is 'n gewysigde weergawe van die tabel deur Kirsten (1982).

Naatwandruheid

Die ruheid van nate is beskryf volgens die metode van Kirsten (1982) en soos in Tabel 3.7 geklassifiseer:

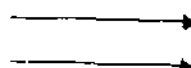
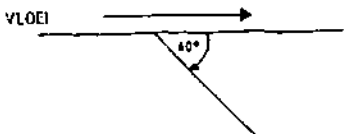
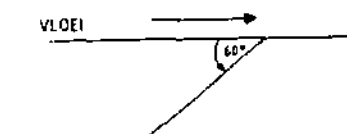
Naatvuleienskappe

Die naatvuleienskappe is met behulp van Kirsten (1982) se metode getoets en soos in Tabel 3.8 beskryf.

Naatverhouding (J_v)

Die naatverhouding is die volume naatmateriaal gedeel deur die volume van die rotsmassa. Dit word vir elke kubieke meter bereken deur die aantal nate per m^3 met die gemiddelde naatwandskeiding te vermenigvuldig. Hierdie berekening moet verkieslik afsonderlik vir elke naatstel gedoen word voordat die totale volume bereken word.

Tabel 3.6 Relatiewe struktuur nommer (J_s) (aangepas vanaf Kirsten, 1982)

Hellings- rigting (grade)	Hellings- hoek ² (grade)	Naatspasieringsverhouding ³ (r)				Verduidelikende snitte vir hellende rotslae
		1:1	1:2	1:4	1:8	
180/0	90	1,00	1,00	1,00	1,00	<u>Stroomafhellende lae</u> Uitgraafrigting  0° Hellingsrigting  60°
0	85	0,72	0,67	0,62	0,56	
0	80	0,63	0,57	0,50	0,45	
0	70	0,52	0,45	0,41	0,38	
0	60	0,49	0,44	0,41	0,37	
0	50	0,49	0,46	0,43	0,40	
0	40	0,53	0,49	0,46	0,44	
0	30	0,63	0,59	0,55	0,53	
0	20	0,84	0,77	0,71	0,68	
0	10	1,22	1,10	0,99	0,93	
0	5	1,33	1,20	1,09	1,03	
0/180	0	1,00	1,00	1,00	1,00	<u>Stroomophellende lae</u> Uitgraafrigting  180° Hellingsrigting  60°
180	5	0,72	0,81	0,86	0,90	
180	10	0,63	0,70	0,76	0,81	
180	20	0,52	0,57	0,63	0,67	
180	30	0,49	0,53	0,57	0,59	
180	40	0,49	0,52	0,54	0,56	
180	50	0,53	0,56	0,58	0,60	
180	60	0,63	0,67	0,71	0,73	
180	70	0,84	0,91	0,97	1,01	
180	80	1,22	1,32	1,40	1,46	
180	85	1,33	1,39	1,45	1,50	
180/0	90	1,00	1,00	1,00	1,00	

Notas: 1. Hellingsrigting relatief tot uitgraafrigting
 2. Skynbare hellingshoek in vertikale vlak wat rigting van uitgraving bevat
 3. $r = a:b$ (blokgruotteverhouding) waar a = kleiner sy en b = groter sy

Opsommings van data wat by die 43 erosiepunte ingesamel is, verskyn in Tabele 3.9 en 3.10, terwyl Bylae 1 volledige beskrywings van terreine bevat.

(b) Opmetings

Die afvoerkanale van die Goedertrouw- en die Hans Strydomdam is deur middel van fotogrammetriese metodes opgemeet. Die topografiese kaart van die afvoerkanaal van die Hans Strydomdam is ook vir geologiese kartering gebruik. Die topografiese kaart van die afvoerkanaal van die Goedertrouwdam is gebruik om die hoeveelheid erosie in die afvoerkanaal te bepaal deur die nuwe kaart met die

oorspronklike opmetings te vergelyk. Hierdie kaarte verskyn in Bylae 1.

Daar is ook vlaktafelkartering van die hoofvloeikanale gedoen om lengte- en dwarssnitte te bekom vir die berekening van hidrouliese parameters soos vloeisnelheid en stroomdrywing. Hierdie lengtesnitte is ook vir rekorddoeleindes gebruik om erosiepunte aan te dui. 'n Voorbeeld van so 'n lengtesnit word in Figuur 3.1 uitgebeeld, terwyl al die opmetings in Bylae 1 opgeneem is.

Tabel 3.7 Naatruheidsonommer (J_p) (volgens Kirsten, 1982)

Wandskeiding	Toestand van naat	Naatruheids - nommer (J_r)
Dig	Nie-aaneenlopend (brugging)	4,0
	Ru of onreëlmatig, golwend	3,0
	Glad en golwend	2,0
	Wryfspieëlvakke en golwend	1,5
	Ru of onreëlmatig, plat	1,5
	Glad en plat	1,0
	Wryfspieëlvakke en plat	0,5
Oop	Nate/splete óf oop óf bevat relatiewe sagte vulling van genoegsame dikte sodat naat/spleetwande nie kontak maak gedurende uitgraving nie. Versplinterde of mikro-versplinterde kleie	1,0

Tabel 3.8 Beskrywing van naatvulmateriaal (volgens Kirsten, 1982)

Beskrywing van vulmateriaal	Naatvulmateriaalnommer (J_a) vir naatskeiding (mm)		
	<1,0 ¹	1,0-5,0 ²	>5,0 ³
Dig gehersementeer, ondeurlatend, word nie sag in water nie.	0,75	1,0	3,0
Onveranderde naatwand, slegs oppervlakvlakke.	1,0	3,0	5,0
Effens veranderd, word nie sag nie, kohesielose vulling.	2,0	4,0	6,0
Word nie sag nie, effens kleierig, kohesielose vulling.	3,0	6,0	10,0
Word nie sag nie, stewige klei met of sonder vergruisde rots.	3,0	6,0	10,0
Word sag in water of lae wrywing, dun kleilagies en min swetklei	4,0	8,0	13,0
Word sag in water, matig stewige klei, met of sonder rotsgruis.	4,0	8,0	13,0
Versplinterde of mikroversplinterde (swel) kleivulling, met of sonder rotsgruis.	5,0	10,0	18,0

Notas: 1. Naatwande in kontak
2. Naatwande kom in kontak na ongeveer 100 mm skuifskuur
3. Naatwande kom glad nie in kontak tydens skuifskuur nie

Skuins lugfoto's van verskeie damme is van die Departement van Waterwese en Bosbou verkry. Hierdie foto's is in Album 4 van Bylae 2 opgeneem.

Tabel 3.9 Besonderhede oor rotsmassaparameters by erosiepunte in Suid-Afrika

DAMNAAM	EROSIE- PUNT- NR.	GESTEENTESOORT	VERWERINGS- GRAAD	DOMINANTE GEOLOGIESE STRUKTUUR	EROSIE- DIEPTTE (m)	EROSIE- GRAAD
Appelthwaite	1-E1	Kw. s/steen	Effens	Verskuiwing	1,5	Matig
Bellair	2-E1	Sk.+ sliks.	Effens	Laagvlakke	<0,2	Geen
	2-E2	Sliksteen	Matig	Laagvlakke	1,0	Min
Bridledrift	3-E1	Doleriet	Onverweer	Hor. nate	0,3	Min
	3-E2	Doleriet	Effens	Hor. nate	1,0-2,0	Matig
	3-E3	Doleriet	Matig	Talle nate	5,0	Baie
Craigie Burn	4-E1	Doleriet	Effens	Hor. nate	0,5-1,0	Matig
Floriskraal	5-E1	Tilliet	Matig	60° s/a nate	1,0-2,0	Matig
	5-E2	Tilliet	Matig	4 naatstelle	<2,0	Baie
Gankapoort	6-E1	Kw. s/steen	Matig	45° s/o nate	2,5	Baie
Goedertrouw	7-E1	Tilliet	Matig	Laagvlakke	0,5	Min
	7-E2	Tilliet	Hoogs	Laagvlakke	2,5	Baie
	7-E3	Tilliet	Effens	Laagvlakke	<0,2	Geen
	7-E4	Tilliet	Hoogs	Vert. nate	4,0	Baie
Hans Strydom	8-E1	Sandsteen	Effens	Laagvlakke	<0,2	Geen
	8-E2	Sandsteen	Hoogs	Verskuiwing	8,0	Baie
	8-E3	Sandsteen	Matig	Talle nate	5,0	Baie
	8-E4	Sandsteen	Effens	Laagvlakke	<0,2	Geen
	8-E5	Fe/puin	-	Matriks	>2,0	Baie
Kartebeespoort	9-E1	Kwartsiet	Matig	Laagvlakke	1,0	Matig
	9-E2	Kwartsiet	Effens	Laagvlakke	1,0	Matig
Kammanassie	10-E1	S/steen + sk.	Effens	Laagvlakke	0,5	Min
	10-E2	Sandsteen	Effens	Laagvlakke	<0,2	Geen
	10-E3	A/steen + sk.	Matig	Talle nate	>3,0	Baie
Katrivier	11-E1	Doleriet	Hoogs	Sferoïdaal	0,5	Baie *
	11-E2	Doleriet	Onverweer	Digte nate	0,2	Min
Klipfontein	12-E1	Doleriet	Effens	Digte nate	<0,2	Geen
	12-E2	Doleriet	Matig	Sferoïdaal	1,0	Matig
	12-E3	Doleriet	Matig	Sferoïdaal	>2,0	Baie
	12-E4	Doleriet	Effens	Digte nate	<0,2	Geen
Marico Bosveld	13-E1	Kwartsiet	Hoogs	Vert. nate	>4,0	Baie
	13-E2	Kwartsiet	Effens	3 naatstelle	<0,2	Min
	13-E3	Kwartsiet	Matig	Skuifskur	2,0	Matig
	13-E4	Diabaas	Totaal	Verwering	>4,0	Baie
Mziki	14-E1	Tuf	Hoogs	Talle nate	>3m	Baie
	14-E2	Tuf	Matig	Talle nate	1,0	Matig
Prinsrivier	15-E1	Mod.+ sliks.	Matig	Talle nate	3,0	Baie
	15-E2	Mod.+ sliks.	Matig	Talle nate	2,5	Baie
	15-E3	Mod.+ sliks.	Matig	Talle nate	>4,0	Baie
Rooddeplaar	16-E1	Felsiet	Hoogs	Breksie	0,3	Min
	16-E2	Felsiet	Effens	Digte nate	<0,2	Geen
Tuinroete	17-E1	Skis	Matig	60° s/a lae	1,0	Matig
Wagendrift	18-E1	Slikst.+ sk.	Matig/hoog	Laagvlakke	1,5	Matig

* Die hele laag (0,5 m) hoogs verweerde materiaal is verwyder.

Tabel 3.10 Besonderhede oor diskontinuiteite by erosiepunte in Suid-Afrika

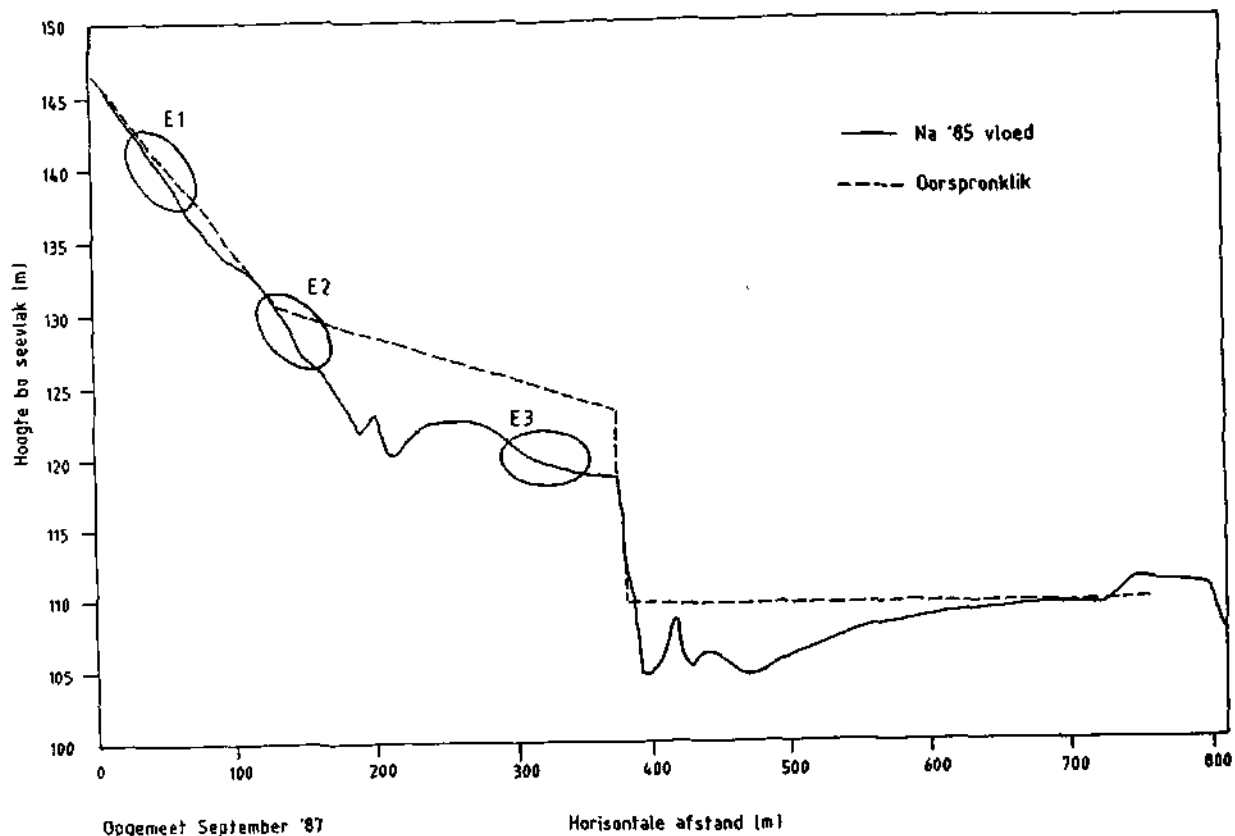
DAMNAAM	EROSIE- PUNT- NR.	NAAT STEL NR.	ORIËNTASIE TOV VLOEI- RIGTING	NAAT- SPAS. (m)	WAND SKEI. (mm)	RUHEID	NAAT- VULLING
Applethwaite	1-E1	-	-	-	-	Glad/plat	Vlek
Bellair	2-E1	1	Laagvlak	0,3	5	Ru/golwend	Slik/dig
		2	Parallel	0,2	2	Ru/plat	Slik/dig
		3	Loodreg	0,2	5	Ru/plat	Vlek/oop
Bridledrift	2-E2	1	Laagvlak	0,1	2	Ru/plat	Slik/dig
		2	Parallel	0,2	2	Ru/plat	Vlek/oop
		3	Loodreg	0,01	1	Brugging	Klei/styf
		4	Laagvlak	1,0	5	Ru/golwend	Slik/dig
		5	Loodreg	0,5	2	Glad/golw.	Vlek/oop
	3-E1	1	Parallel	0,5	5	Ru/plat	Slik/dig
		2	Loodreg	0,2	2	Brugging	Vlek/oop
		3	Skuins	1,0	1	Ru/plat	Slik/dig
		4	Laagvlak	0,5	2	Ru/golwend	Slik/dig
		5	Parallel	0,5	30	Ru/plat	Slik/dig
Craigie Burn	3-E2	1	Loodreg	0,2	20	Ru/golwend	Slik/dig
		2	Skuins	1,0	5	Ru/golwend	Vlek/oop
		3	Loodreg	0,1	2	Brugging	Slik/dig
		4	Laagvlak	0,1	2	Ru/golwend	Slik/dig
		5	Loodreg	0,1	50	Glad/golw.	Slik/dig
	3-E3	1	Skuins	0,2	5	Ru/plat	Slik/dig
		2	Skuins	0,2	2	Glad/Golw.	Slik/dig
		3	Willekeurig	0,2	1	Ru/plat	Slik/dig
		4	Willekeurig	0,2	2	Glad/Golw.	Slik/dig
Floriskraal	4-E1	1	Parallel	0,3	5	Ru/plat	Slik/dig
		2	Loodreg	0,2	2	Ru/plat	Slik/dig
		3	Skuins	0,5	2	Ru/golwend	Vlek/oop
		4	Willekeurig	0,2	1	Brugging	Vlek/dig
	5-E1	1	Loodreg	0,5	2	Ru/plat	Vlek/oop
		2	Hel teen	0,3	1	Ru/plat	Vlek/dig
		3	Laagvlak	0,3	1	Ru/golwend	Vlek/dig
		4	Willekeurig	0,2	2	Brugging	Sand/dig
Gankapoort	5-E2	1	Parallel	0,2	5	Ru/plat	Sand/dig
		2	Loodreg	0,2	2	Ru/golwend	Sand/dig
		3	Laagvlak	0,5	2	Glad/plat	Vlek/oop
		4	Willekeurig	0,15	2	Ru/plat	Vlek/oop
	6-E1	1	Hel teen	0,2	10	Ru/plat	Sand/dig
		2	Parallel	0,3	5	Glad/plat	Sand/dig
		3	Skuins	0,5	2	Ru/plat	Vlek/oop
		4	Willekeurig	0,1	5	Brugging	Sand/dig
Goedertrouw	7-E1	1	Laagvlak	0,3	10	Ru/golwend	Slik/dig
		2	Parallel	0,5	1	Ru/plat	Slik/dig
		3	Loodreg	0,5	2	Ru/plat	Vlek/oop
		4	Skuins	0,1	1	Glad/plat	Vlek/dig
	7-E2	1	Laagvlak	0,3	10	Ru/golwend	Slik/dig
		2	Parallel	0,5	1	Ru/plat	Vlek/dig
		3	Loodreg	1,0	3	Glad/plat	Vlek/oop
		4	Willekeurig	0,01	2	Ru/golwend	Slik/dig
	7-E3	1	Laagvlak	0,5	10	Ru/golwend	Slik/dig
		2	Loodreg	0,5	5	Ru/plat	Vlek/oop
		3	Skuins	1,0	2	Ru/plat	Vlek/oop
		4	Parallel	0,5	2	Glad/golw.	Vlek/oop
	7-E4	1	Laagvlak	0,2	20	Ru/golwend	Slik/dig
		2	Loodreg	0,5	2	Glad/plat	Vlek/oop
		3	Parallel	0,2	2	Ru/plat	Vlek/oop
		4	Skuins	0,2	2	Ru/plat	Vlek/oop
		5	Willekeurig	0,1	5	Ru/golwend	Slik/dig

Hans Strydom	8-E1	1	Laagvlak	1,0	50	Ru/golwend	Slik/dig
		2	Skuins	0,5	10	Ru/plat	Vlek/oop
		3	Loodreg	1,5	3	Ru/golwend	Vlek/oop
		4	Willekeurig	0,2	1	Brugging	Vlek/dig
	8-E2	1	Laagvlak	0,3	10	Ru/plat	Slik/dig
		2	Skuins	1,0	20	Ru/golwend	Sand/los
		3	Skuins	0,1	5	Ru/golwend	Sand/los
		4	Loodreg	0,3	2	Ru/plat	Sand/los
		5	Willekeurig	0,1	2	Brugging	Sand/los
	8-E3	1	Laagvlak	0,3	50	Ru/golwend	Slik/dig
		2	Parallel	0,1	7	Ru/plat	Vlek/oop
		3	Loodreg	0,1	5	Glad/golw.	Vlek/oop
	8-E4	1	Laagvlak	0,3	5	Glad/golw.	Slik/dig
		2	Skuins	1,0	2	Ru/plat	Vlek/oop
		3	Loodreg	0,1	5	Brugging	Slik/dig
Wartebeespoort	9-E1	1	Laagvlak	0,2	20	Glad/plat	Slik/dig
		2	Skuins	0,6	5	Glad/plat	Slik/dig
		3	Skuins	0,3	2	Brugging	Slik/dig
		4	Willekeurig	0,1	1	Brugging	Slik/dig
	9-E2	1	Laagvlak	0,2	30	Glad/plat	Slik/dig
		2	Skuins	0,5	5	Glad/plat	Slik/dig
		3	Loodreg	1,0	2	Brugging	Vlek/oop
		4	Willekeurig	0,1	1	Brugging	Vlek/dig
Kammarnasie	10-E1	1	Laagvlak	0,3	5	Ru/plat	Slik/dig
		2	Loodreg	0,3	5	Ru/plat	Slik/dig
		3	Skuins	0,2	2	Ru/golwend	Slik/dig
		4	Parallel	0,2	2	Glad/plat	Vlek/oop
		5	Willekeurig	0,05	1	Brugging	Klei/dig
	10-E2	1	Laagvlak	0,5	5	Ru/golwend	Slik/dig
		2	Skuins	0,3	2	Ru/plat	Vlek/oop
		3	Skuins	0,3	2	Glad/golw.	Slik/dig
	10-E3	1	Laagvlak	0,2	10	Ru/plat	Slik/los
		2	Skuins	0,3	5	Glad/plat	Vlek/oop
		3	Parallel	0,2	5	Ru/plat	Slik/dig
		4	Willekeurig	0,05	2	Ru/plat	Slik/dig
Katrivier	11-E1	1	Loodreg	0,5	5	Ru/golwend	Slik/dig
		2	Parallel	1,5	2	Ru/plat	Vlek/oop
		3	Skuins	1,0	5	Ru/golwend	Slik/dig
		4	Willekeurig	0,1	1	Brugging	Klei/dig
	11-E2	1	Loodreg	0,3	5	Ru/golwend	Slik/dig
		2	Parallel	0,5	2	Glad/plat	Vlek/oop
		3	Skuins	1,5	1	Ru/plat	Vlek/dig
		4	Loodreg	2,0	2	Glad/golw.	Vlek/oop
		5	Willekeurig	0,2	1	Brugging	Klei/dig
Klipfontein	12-E1	1	Skuins	0,5	2	Glad/golw.	Slik/dig
		2	Loodreg	1,0	1	Glad/golw.	Slik/dig
		3	Willekeurig	0,2	2	Brugging	Slik/dig
		4	Parallel	1,0	10	Ru/golwend	Slik/dig
	12-E2	1	Loodreg	0,3	5	Glad/golw.	Slik/dig
		2	Skuins	0,5	1	Glad/golw.	Slik/dig
		3	Parallel	1,0	1	Glad/golw.	Slik/dig
		4	Skuins	0,05	1	Ru/golwend	Slik/dig
	12-E3	1	Loodreg	0,5	5	Glad/golw.	Vlek/oop
		2	Skuins	0,2	5	Glad/golw.	Vlek/oop
		3	Skuins	0,5	2	Ru/golwend	Vlek/oop
		4	Parallel	0,3	2	Glad/golw.	Vlek/oop
		5	Skuins	0,2	5	Ru/golwend	Vlek/oop
		6	Willekeurig	0,05	1	Ru/golwend	Slik/dig

	12-E4	1 2 3 4	Skuins Loodreg Parallel Willekeurig	0,3 1,0 3,0 0,2	1 2 2 1	Glad/golw. Glad/golw. Ru/golwend Ru/golwend	Slik/dig Vlek/oop Vlek/oop Vlek/dig
Marico Bosveld	13-E1	1 2 3 4 5	Laagvlak Parallel Loodreg Skuins Willekeurig	0,5 0,3 0,3 2,0 0,05	5 2 2 2 1		
		1 2 3 4	Laagvlak Parallel Loodreg Willekeurig	0,2 0,15 0,3 0,1	10 20 2 1	Ru/golwend Ru/plat Ru/golwend Brugging	Sand/dig Sand/los Sand/dig Vlek/dig
	13-E3	1 2 3 4	Laagvlak Parallel Loodreg Willekeurig	0,2 0,2 2,0 3,0	1 1 1 1	Ru/plat Ru/golwend Ru/plat Ru/plat	Vlek/dig Vlek/dig Vlek/dig Vlek/dig
	14-E2	1 2 3 4	Skuins Parallel Loodreg Willekeurig	1,0 0,3 0,3 0,05	10 5 5 2	Ru/golwend Ru/golwend Glad/golw. Ru/golwend	Slik/los Slik/dig Vlek/oop Slik/dig
Prinsrivier	15-E1	1 2 3 4	Parallel Skuins Laagvlak Willekeurig	0,2 1,0 0,2 0,05	5 2 3 2	Ru/plat Glad/plat Ru/golwend Brugging	Slik/dig Vlek/oop Slik/dig Slik/dig
	15-E2	1 2 3 4	Laagvlak Loodreg Skuins Willekeurig	0,2 0,2 0,1 0,10	5 3 1 2	Ru/golwend Glad/golw. Glad/golw. Ru/golwend	Slik/dig Slik/dig Slik/dig Slik/dig
	15-E3	1 2 3 4	Laagvlak Loodreg Skuins Willekeurig	0,2 0,2 0,1 0,01	5 3 1 2	Ru/golwend Glad/golw. Glad/golw. Ru/golwend	Slik/dig Slik/dig Slik/dig Slik/dig
Roodeplaat	16-E1	1 2 3 4	Parallel Skuins Loodreg Willekeurig	0,1 0,2 0,2 0,05	5 1 2 1	Ru/golwend Glad/golw. Ru/plat Brugging	Sand/dig Vlek/dig Sand/dig Slik/dig
	16-E2	1 2 3 4	Loodreg Parallel Skuins Willekeurig	1,0 0,5 2,0 0,5	2 5 2 1	Ru/plat Ru/plat Ru/golwend Glad/golw.	Vlek/oop Vlek/oop Vlek/oop Klei/dig
Tuinroete	17-E1	1 2 3 4	Parallel Skuins Skuins Willekeurig	0,05 2,5 2,5 1,0	0 5 5 5	Ru/plat Ru/golwend Ru/plat Ru/plat	Vlek/dig Slik/dig Slik/dig Slik/dig
Wagendrift	18-E1	1 2 3 4	Loodreg Parallel Skuins Willekeurig	0,5 0,1 0,1 0,1	10 5 2 2	Ru/golwend Glad/golw. Ru/plat Ru/plat	Slik/los Slik/dig Vlek/oop Slik/dig

(c) Hidrologiese data oor vloedgeskiedenis

Hidrograwe van vloeddata van meeste van die oorlope is van die Afdeling Hidrologie, Departement van Waterwese en Bosbou, verkry (kyk Bylae 3). Vir ander damme is die volledige dokumentasie in die Departement van Waterwese se vloeddokumentasieboeke (TRH) nageslaan. Die grootte en dokumentasie van vloede van die Bridledriftdam is van verslae van die Munisipaliteit van Oos-Londen verkry.



Figuur 3.1 Voorbeeld van lengtesnit langs afvoerkanaal van Bridledriftdam.

(d) Hidrouliese ontleding van vloeitoestande

Die totale vloei van oorlope kan van die vloedhidrograwe (Bylae 3) verkry word. Die totale vloei vind egter nie noodwendig by elke erosiepunt plaas nie, byvoorbeeld by Floriskraaldam het water ook oor die gedeelte van die dam gevloei wat nie gekoppel was aan die normale oorloop nie, terwyl die hidrografiese data by 'n punt, stroomaf van die wal, gemeet is. Die berekeninge van hierdie bykomende vloei word in Bylae 3 getoon.

Min vloeddata was vir die Applethwaite- en die Bellairdam beskikbaar. Vloedgroottes vir hierdie twee damme moes met behulp van die beskikbare data bereken word. Vir die Mzikidam was geen vloeddata beskikbaar nie en daar is van 'n video-opname gebruik gemaak om die vloeitempo te skat. Die berekeninge van vloeitoestande by damme waarvoor onvoldoende data beskikbaar was, kan in Bylae 3 gevind word.

In die meeste studies oor erodeerbaarheid, is die vloeisnelheid, skuifspanning, drukspanning of stroomdrywing as hidrouliese aanvalsparameter gebruik.

Volgens inligting uit die literatuurstudie en op grond van aanbevelings deur ander navorsers (Rooseboom, 1991; Kirsten, 1992 en Moore, 1992) is besluit om stroomdrywing en stroomsnelheid as die hidrouliese aanvalsparameters te gebruik.

Rooseboom het voorgestel dat stroomdrywing per eenheidsvolume water gebruik moet word. Dit geld egter slegs vir 'n plonsoel of met waterge vulde stilbak. Min van die oorlope wat bestudeer is, beskik egter oor sulke strukture.

Moore gebruik stroomdrywing per eenheidswydte van die afvoerkanaal. Hierdie waarde is egter moeilik om vir spesifieke punte langs 'n afvoerkanaal te bereken.

Eksperimentele werk deur Simons en Richardson (1966) en verskeie Russiese navorsers het getoon dat goeie resultate behaal word indien stroomdrywing per eenheidsoppervlak gebruik word. Aangesien die primêre weerstand van die rotsmassa deur sy kohesie, uitgedruk in terme van krag per eenheidsoppervlak, bepaal word, is daar besluit om van eenheidstroomdrywing as hidrouliese parameter gebruik te maak.

Die volgende vereenvoudigde formules is vir die berekening van eenheidsdrywing (P_a) gebruik:

Vir vloei in afvoerkanaale:

$$P_{a(e)} = \rho * g * q * S \quad (\text{Watt/m}^2)$$

waar

$$P_{a(e)} = \text{eenheidsdrywing soos bereken met behulp van energiegradiënt}$$

$$\rho = \text{digtheid van water (kg/m}^3\text{)}$$

$$g = \text{swaartekragversnelling (9,81 m/s}^2\text{)}$$

$$q = \text{vloei per eenheidswydte van afvoerkanaal (m}^2\text{/s)}$$

$$S_e = \text{energiegradiënt}$$

Die energiegradiënt is soos volg bereken:

$$S_e = V^2 / C^2 * R$$

waar

$$V = \text{stroomsnelheid} \approx q/h$$

$$h = \text{geskatte waterdiepte by erosiepunt}$$

$$C = 18 * \log 12 * R/k$$

$$R = \text{hidrouliese radius} \approx h/2$$

$$k = \text{ruheid van kanaal} \approx \text{gemiddelde blokgrrootte}$$

Waardes vir S_e word op Tabel 3.12 getoon.

In baie gevalle was dit nie moontlik om met behulp van beskikbare gegewens die energiegradiënt akkuraat te bepaal nie en daarom is vir elke erosiepunt ook 'n gemiddelde (S_g) en lokale (S_l) helling van die kanaalvloer bepaal. S_g is die helling van 'n lyn wat die oorloopkruin met die erosiepunt verbind, terwyl S_l 'n raaklyn aan die kanaalvloer by die erosiepunt verteenwoordig.

Die eenheidsdrywing $P_{a(g)}$ en $P_{a(l)}$ soos bereken vir die gemiddelde en lokale gradiënte van die kanaalvloer is ook bereken en verskyn op Tabel 3.13.

Vryvaloorlope:

$$P_a = \frac{\rho * g * Q * H}{A} \approx \frac{3 * g * q}{1} \quad (\text{kW/m}^2)$$

waar

$$\begin{aligned} H &= \text{valhoogte van waterstraal (m)} \\ Q &= \text{stroomvloei (m}^3/\text{s)} \\ A &= b * l \text{ (oppervlak waaroor straal versprei)} \\ b &= \text{wydte van stortgebied (oorloopwydte)} \\ l &= \text{lengte}^1 \text{ (stroomaf rigting) van stortgebied} \\ &\quad (^1 \text{ Daar is aanvaar dat die waterstraal eweredig versprei met valhoogte en dat } l = H/3.) \end{aligned}$$

(e) Bepaling van die graad van erosie

Die graad of omvang van erosie kan gemeet word in terme van volume of diepte of as 'n persentasie van die betrokke tipe rotsformasie wat verwyder is. Alhoewel laasgenoemde die mees geskikte metode sou wees, kon daar nie voldoende inligting oor die oorspronklike of oorblywende volume of dikte van die rotsformasie verkry word nie.

Die graad van erosie is met behulp van die klassifikasie in Tabel 3.11 bepaal.

Tabel 3.11 Klassifikasiestelsel vir bepaling van graad van erosie

DIEPTE VAN EROSIE (m)	GRAAD (KLAS) VAN EROSIE
0-0,2	Geen
0,2-0,5	Min
0,5-2,0	Matige
>2,0	Ernstige

'n Opsomming van data vir die berekening van eenheidstroomdrywing en die graad van erosie by erosiepunte in Suid-Afrika word in tabelle 3.12 en 3.13 gegee.

Tabel 3.12 Data oor stroomdrywing volgens energiegradiënt en erosieklas vir erosiepunte in Suid-Afrika

Nr.	Damnaam	Erosie Punt	Hoogte n	Breedte b	V (m/s)	R	k (m)	Totale Q(l)	Vloei Q	Vloei q	C	Se Energie	Drywing Pa(s)	Kirsten Kn	Erosie
1	Applethwaitedam	E1	3	14.5	20	1.5	1	889	889	61.31	23	0.545	334	847	Matige
2	Bellairdam	E1	0.5	10	38	0.3	0.1	192	192	19.20	27	8.343	1602	1176	Geen
3		E2	0.5	30	13	0.3	0.1	192	192	6.40	27	0.927	59	14	Matige
4	Bridle Driftedam	E1	8	53	5	4.0	0.5	2200	2200	41.51	38	0.005	2	944	Min
5		E2	5	23	19	2.5	0.3	2200	2200	85.65	32	0.143	137	1092	Matige
6		E3	5	30	13	2.5	0.3	2200	1900	63.33	38	0.050	31	33	Ernstige
7	Craigie Burndam	E1	37	122	27	*	1	367	367	3.01	*	*	90	1132	Matige
8	Floriskraaldam	E1	6	62	2	3.0	1.5	4820	907	14.63	25	0.003	0.47	2269	Matige
9		E2	3	61	10	1.5	2	4820	1913	31.38	17	0.247	77	322	Ernstige
10	Gamkapoortdam	E1	1	101	31	0.5	0.5	3111	3111	30.80	19	5.029	1549	538	Ernstige
11	Goedertrouwdam	E1	5	72	1	2.5	1	590	443	6.15	27	0.001	0.05	285	Matige
12		E2	4	52	2	2.0	0.3	590	443	8.92	34	0.002	0.18	28	Ernstige
13		E3	3	13	15	1.5	2	590	590	45.38	17	0.517	235	893	Geen
14		E4	3	8	25	1.5	1	590	590	73.75	23	0.789	582	60	Ernstige
15	Hans Strydomdam	E1	0.5	45	3	0.3	0.5	82.3	82	1.38	14	0.155	2	2713	Geen
16		E2	1	3	27	0.5	0.2	82.3	82	27.33	27	2.114	578	183	Ernstige
17		E3	1.5	5	11	0.8	0.2	82.3	82	18.40	30	0.180	30	87	Ernstige
18		E4	0.4	13	18	0.2	0.5	82.3	82	9.31	12	8.269	522	584	Geen
19		E5	1.5	5	11	0.8	0.1	82.3	82	18.40	35	0.129	21	0.10	Ernstige
20	Harlebeespoortdam	E1	3	12	7	1.5	0.2	1048	280	21.67	35	0.028	6	384	Matige
21		E2	3	10	24	1.5	0.4	1048	726	72.60	30	0.441	320	1383	Matige
22	Kammanassiedam	E1	15	20	8	7.5	0.5	2471	1853	92.65	41	0.003	3	142	Min
23		E2	10	25	7	5.0	0.5	2471	1853	74.12	37	0.008	8	1538	Geen
24		E3	10	80	4	5.0	0.5	2471	2471	41.18	37	0.002	1	19	Ernstige
25	Katrivierdam	E1	40	120	28	*	0.3	115	115	0.98	*	*	29	80	Ernstige
26		E2	40	120	28	*	0.3	115	115	0.98	*	*	29	1322	Min
27	Klipfonteinendam	E1	2	50	7	1.0	1	980	735	14.70	19	0.143	21	2052	Geen
28		E2	2	28	13	1.0	0.3	980	735	26.25	29	0.207	54	103	Matige
29		E3	2	42	9	1.0	0.3	980	735	17.50	29	0.092	16	10	Ernstige
30		E4	2	59	2	1.0	0.5	980	245	4.15	25	0.007	0.29	2185	Geen
31	Manico Bosvelddam	E1	1.5	15	9	0.8	0.3	417	200	13.33	27	0.149	20	85	Ernstige
32		E2	1.5	20	13	0.8	0.1	417	400	20.00	35	0.182	38	4752	Geen
33		E3	1.5	20	13	0.8	0.5	417	400	20.00	23	0.484	93	558	Matige
34		E4	1.5	20	7	0.8	0.5	417	200	10.00	23	0.118	12	0.40	Ernstige
35	Mzikidam	E1	1	25	8	0.5	0.3	150	150	6.00	23	0.131	8	1	Ernstige
36		E2	1	25	8	0.5	0.1	150	150	6.00	32	0.079	4	54	Matige
37	Prinsivierdam	E1	3	10	34	1.5	0.2	1030	1030	103.00	35	0.835	854	47	Ernstige
38		E2	3	15	18	1.5	0.3	1030	824	54.93	32	0.218	120	46	Ernstige
39		E3	3	5	89	1.5	0.1	1030	1030	208.00	41	1.907	3929	38	Ernstige
40	Rooipleatdam	E1	52	143	32	*	2	1151	1151	8.05	*	*	241	189	Min
41		E2	52	143	32	*	0.1	1151	1151	8.05	*	*	241	3440	Geen
42	Tuinroetledam	E1	2	26	1	1.0	1	54.2	54.2	2.08	18	0.003	0.08	76	Matige
43	Wagendriftdam	E1	34	103	26	*	0.5	687	687	8.67	*	*	200	192	Matige

Tabel 3.13 Data oor stroomdrywing volgens gemiddelde en lokale gradiënte en erosieklas vir erosiepunte in Suid-Afrika

Nr.	Damnaam	Erosie Punt	Hoogte H	Breedte b	Helling Grond	Sl Lokaal	Sg Gem	Totale Q(T)	Vloei Q	Vloei q	Drywing Pa(l)	Drywing Pa(g)	Kirsten Kn	Erosie
1	Appelthwaistedam	E1		14.5	5	0.09	0.05	889	889	61.31	54	31	647	Matige
2	Bellaardam	E1		10	3	0.05	0.03	192	192	19.20	10	6	1176	Geen
3		E2		30	3	0.05	0.01	192	192	6.40	3	1	14	Matige
4	Bridle Driftdam	E1		53	8	0.14	0.3	2200	2200	41.51	58	125	944	Min
5		E2		23	9	0.18	0.18	2200	2200	95.85	151	172	1092	Matige
6		E3		30	2.5	0.04	0.1	2200	1900	63.33	28	63	33	Ernstige
7	Craigie Burndam	E1	37	122	*	*	*	367	367	3.01	90	90	1132	Matige
8	Floriskraaldam	E1		62	14	0.25	0.2	4620	907	14.63	36	29	2289	Matige
9		E2		61	40	0.84	0.8	4620	1913	31.36	263	251	322	Ernstige
10	Gamkapoortdam	E1		101	0.3	0.68	0.68	3111	3111	30.80	209	209	538	Ernstige
11	Goederfrouwdam	E1		72	10.3	0.18	0.3	590	443	6.15	11	18	285	Matige
12		E2		52	14	0.25	0.28	590	443	8.52	21	24	28	Ernstige
13		E3		13	1.5	0.03	0.19	590	590	45.38	12	86	893	Geen
14		E4		8	2	0.03	0.17	590	590	73.75	26	125	60	Ernstige
15	Hans Strydomdam	E1		45	1.3	0.02	0.06	82.3	82	1.38	1	1	2713	Geen
16		E2		3	7	0.12	0.11	82.3	82	27.33	34	30	183	Ernstige
17		E3		5	6	0.11	0.1	82.3	82	18.40	17	16	87	Ernstige
18		E4		13	5	0.09	0.09	82.3	82	6.31	6	6	564	Geen
19		E5		5	5	0.09	0.08	82.3	82	18.40	14	13	0.10	Ernstige
20	Hartebeespoortdam	E1		12	17.1	0.31	0.1	1048	260	21.67	87	22	394	Matige
21		E2		6	27.7	0.53	0.11	1048	726	121.00	635	133	1383	Matige
22	Kammanassiedam	E1		20	5.4	0.09	0.04	2471	1853	92.65	88	37	142	Min
23		E2		25	1	0.02	0.03	2471	1853	74.12	13	22	1538	Geen
24		E3		60	11.2	0.20	0.06	2471	2471	41.18	82	25	19	Ernstige
25	Katrivierdam	E1	40	120	*	*	*	115	115	0.96	29	29	80	Ernstige
26		E2	40	120	*	*	*	115	115	0.96	29	29	1322	Min
27	Klipfontein dam	E1		50	1.3	0.02	0.05	980	735	14.70	3	7	2052	Geen
28		E2		28	8.6	0.15	0.05	980	735	28.25	41	13	103	Matige
29		E3		42	10.6	0.19	0.07	980	735	17.30	33	12	10	Ernstige
30		E4		59	3	0.05	0.05	980	245	4.15	2	2	2195	Geen
31	Marico Bosveld dam	E1		12	2.3	0.04	0.03	417	200	16.67	7	5	85	Ernstige
32		E2		18	10	0.18	0.14	417	400	25.00	44	35	4752	Geen
33		E3		18	10	0.18	0.14	417	400	25.00	44	35	558	Matige
34		E4		18	2	0.03	0.03	417	200	12.50	4	4	0.40	Ernstige
35	Mzikidam	E1		25	2	0.03	0.03	150	150	6.00	2	2	1	Ernstige
36		E2		25	4	0.07	0.03	150	150	6.00	4	2	54	Matige
37	Prinsivierdam	E1		10	8.4	0.15	0.27	1030	1030	103.00	152	278	47	Ernstige
38		E2		15	9	0.16	0.09	1030	824	54.93	87	48	46	Ernstige
39		E3		5	10	0.18	0.11	1030	1030	206.00	363	227	38	Ernstige
40	Roodeplaatdam	E1	52	143	*	*	*	1151	1151	8.05	241	241	188	Min
41		E2	52	143	*	*	*	1151	1151	8.05	241	241	3440	Geen
42	Tuinroetdam	E1		26	45	1.00	0.57	54.2	54.2	2.08	21	12	76	Matige
43	Wagendriftdam	E1	34	103	*	*	*	687	687	6.87	200	200	192	Matige

3.3 Data oor damoorlope in die VSA

Tydens 'n besoek in April 1992 aan die Soil Conservation Service (SCS) van die Departement van Landbou in Washington DC, is kontak gemaak met die SCS Emergency Spillway Study Task Group (ESSTG). Die doelstellings van hierdie werkgroep is om die gedrag van bestaande damoorlope te bestudeer en om bestaande en toekomstige ontwerpe van hierdie strukture te evalueer. Oorlope wat onderhewig was aan groot vloede of waar erosieskade voorgekom het, word besoek om geologiese en hidrouliese data te bekom. In 'n onlangse publikasie het Moore, Temple en Kirsten (1994) bevind dat onderskeid getref kan word tussen eroderende en nie-

eroderende oorlope deur 'n grafiek van die 'terugwaarts erodeerbaarheidsindeks (K_h)' teen piekstroombdrywing te stip.

In April 1992 het die SCS databasis inligting oor 14 groot vloede by 89 terreine in 10 verskillende state in die VSA bevat. Die volgende inligting is beskikbaar:

- Algemene inligting
 - Naam van opvanggebied
 - Terreininidentifikasienommer
 - Staat
- Topografiese inligting
 - Hoogte van afvoerpunt
 - Hoogte van vloedvlakte
 - Helling van afvoerkanaal
 - Vloeirigting
 - Afvoerwydte
- Hidrouliese data
 - Datum van vloed
 - Vloeipieksnelheid
 - Vloeddiepte
 - Energiehoogte
 - Stroomdrywing
- Rotseienskappe
 - Gesteentetipe
 - Materiaalsterkte
 - Materiaalsterktenommer (M_s)
 - Strekking
 - Helling
 - Hellingsrigting
 - Skynbare helling
 - Effektiewe helling
 - Naatspasiëring (vir twee stelle)
 - Laagvlakspasiëring
 - Gemiddelde blok grootte
 - Helling teen of met vloeirigting
 - Naatstruktuurnommer (J_s)
 - Nate per m^3 (J_c)
 - Naatruheidsnommer (J_r)
 - Naatverweringsnommer (J_a)
 - RKW
 - Naatstelnommer (J_n)
 - Kirsten-indeks (K_n)
- Graad van erosie
 - Beskrywende term
 - Volume rots per eenheidsafvoerkanaalwydte

Aangesien sekere data vir die berekening van eenheidstroombdrywing by sommige van bogenoemde oorlope ontbreek, kon slegs 48 verskillende erosiepunte by 24 van die stelsels vir die doel van hierdie studie gebruik word. 'n Opsomming van die berekening van eenheidsdrywing en besonderhede oor die graad van erosie verskyn in Tabel 3.14.

Tabel 3.14 Data oor eenheidsdrywing en erosieklas by erosiepunte in die VSA

TER- REIN- NR.	PUNT- NR.	V (PIEK) m/s	VLOEI- DIEPTE (m)	HEL- LING (°)	EENH. VLOEI (m ³ /s/m)	DRYWING (kW/m ²)	EROSIE- KLAS
1	1:1	2,7	0,58	2,1	1,6	0,6	MIN
	2:2	3,0	0,73	2,2	2,2	0,8	GEEN
	3:4	2,8	0,55	2,5	1,5	0,7	GEEN
	4:9	3,1	0,73	1,9	2,3	0,8	MIN
2	5:1	3,0	0,61	3,0	1,8	1,0	GEEN
3	6:2	2,9	1,28	0,5	3,7	0,3	GEEN
	7:3	3,9	0,79	2,0	3,1	1,1	MIN
	8:4	3,7	1,37	0,2	5,0	0,2	GEEN
	9:10	3,3	0,55	2,2	1,8	0,7	GEEN
	10:11	2,9	0,61	10,0	1,8	3,0	ERNSTIG
4	11:6	2,4	0,61	1,4	1,5	0,4	GEEN
	12:78	2,6	0,61	1,6	1,6	0,4	MIN
	13:9	3,1	0,55	8,5	1,7	2,5	GEEN
	14:9A	3,6	0,52	15,0	1,9	4,9	GEEN
	15:9B	2,6	0,70	2,4	1,8	0,8	GEEN
5	16:10	3,5	0,61	4,0	2,1	1,5	MIN
	17:3	2,9	0,67	2,4	1,9	0,8	MIN
6	18:11	3	0,94	2,2	2,8	1,1	GEEN
7	19:81-17	2,3	0,34	4,0	0,8	0,5	MIN
8	20:12	6,3	0,88	5,0	5,5	4,8	ERNSTIG
	21:13	6,2	0,30	5,0	1,9	1,6	ERNSTIG
	22:20	4,5	0,61	4,0	2,8	1,9	ERNSTIG
	23:22	4,4	0,58	4,0	2,6	1,8	ERNSTIG
9	24:4	4,9	0,61	4,0	3,0	2,1	MATIGE
10	25:12-3	3,7	0,88	4,0	3,3	2,3	ERNSTIG
	26:13-19	4,2	0,64	5,0	2,7	2,3	ERNSTIG
	27:14-35	4,3	0,67	4,0	2,9	2,0	GEEN
11	28:1	6,1	0,46	10,2	2,8	5,1	ERNSTIG
12	29:46	2,1	0,34	3,0	0,7	0,4	MIN
13	30:17-34	4,3	0,55	8,5	2,4	3,5	MATIGE
	31:17-36	4,6	0,88	11,0	4,0	7,8	MATIGE
14	33:57	2,3	0,24	3,0	0,6	0,3	GEEN
15	34:3	1,4	0,15	3,0	0,2	0,1	MIN
16	35:-	4,1	0,30	8,0	1,2	1,7	GEEN
17	36:14	2,4	0,43	27,0	1,0	4,5	GEEN
	37:17	2,7	0,58	22,0	1,6	3,7	GEEN
	38:19	3	0,30	16,0	0,9	2,5	MIN
18	39:78	1,8	0,30	22,0	0,5	2,0	GEEN
	40:81C	3,8	0,98	7,0	3,7	4,5	ERNSTIG
	41:82	4,3	0,85	22,0	3,6	13,6	ERNSTIG
	42:83	3,1	0,24	17,0	0,8	2,2	GEEN
19	43:4	2,3	0,61	9,0	1,4	3,2	MATIGE
20	44:5	5,3	0,40	16,0	2,1	5,8	MIN
21	45:10	4,3	0,21	11,0	0,9	1,7	GEEN
22	46:76	3,2	0,21	7,7	0,7	0,9	MIN
23	47:1	6,6	0,43	13,4	2,8	6,8	ERNSTIG
24	48:4	3,5	0,58	4,0	2,0	1,4	GEEN

4. VELD- EN LABORATORIUMTOETSE

Gegewens uit die literatuurstudie en veldwaarnemings het getoon dat naatvulmateriaal 'n belangrike rol speel by die erosiemeganisme in rotsformasies. Rotsmateriaal (rotsblokke in die rotsmassa) ondergaan geen of min verandering wanneer dit aan watervloei onderwerp word. Wanneer die sagter naatvulmateriaal rondom die rotsblokke egter uitgespoel word, kry waterdruk toegang tot die rotsmassa en word blokke uitgelig en weggevoer.

Openinge tussen rotsblokke kan gevul wees met een (of kombinasies) van die volgende soorte materiaal: lug; water; kohesielose slik, sand of gruis; kohesiewe klei; gesementeerde materiaal; rots in verskillende grade van ververing; en intrusiewe gange of are wat so sterk of sterker as die wandgesteentes kan wees.

Vorige studies op die erodeerbaarheid van (sagter) grondmateriale het getoon dat hulle erosieweerstand grotendeels bepaal word deur eienskappe soos digtheid, klei-inhoud en graad van sementering, maar dat ander faktore wat moeilik kwantifiseerbaar is, soos oppervlakruheid en onreëlmatighede, ook belangrike rolle speel.

Die literatuurstudie het ook aangetoon dat daar moontlik 'n verband bestaan tussen die aangewende eenheidstroomdrywing van 'n waterspuit, die soortlike energie van die materiaal waarop die spuit gerig word en die tempo van erosie.

Die doel met laboratoriumtoetse was om die effek van watervloei op verskillende kunsmatig vervaardigde naatvulmateriale onder gekontroleerde toestande te ondersoek. Verskillende sand-klei-, sand-klipslag-klei-, sand-sement- en sand-kalkmengsels is gekompakteer en aan 'n verskeidenheid indeks- en skuifsterktetoetse onderwerp. Daarna is hierdie materiale alleen, of in kombinasie met kleiteëls, in 'n vloeikanaal onder verskillende vloeitoestande aan erosie blootgestel.

4.1 Proewe met vervaardiging van monsters

(a) Materiale

Sement, bentoniet, kalk, kaolien, klipslag en water is afsonderlik of in verskillende kombinasies met 'n standaardsand gemeng en in blokkies van 150 x 150 x 51 mm verdig.

Sand

Die standaardsand is 'n windvervoerde materiaal afkomstig van Jacobsdal in die OVS. Hierdie sand is in groot hoeveelhede beskikbaar en toon min variasie in eienskappe. Die sand word as 'n slik (ML) volgens die Unified-grondklassifikasiestelsel geklassifiseer en in Tabel 4.1 word die eienskappe daarvan gelys.

Tabel 4.1-Eienskappe van Jakobsdalsand

EIENSKAP	WAARDE
Vloeigrens (VG) %	15,9
Plastisiteitsgrens (PG) %	12,1
Plastisiteitsindeks (PI) %	3,8
Krimprens (LV) %	0,7
Veldvoggehalte %	10,0
Droë digtheid (kg/m^3)	1 942
Wrywingshoek (skuifkas) °	30,3
Kohesie (skuifkas) kPa	15,0

Sement

PPC 15-sement is gebruik. Dit bestaan uit 85% OPC (Ordinary Portland Cement) en 15% Yskor Slagment.

Bentoniet

Twee tipes bentoniet, naamlik Culseal en Culbond "N", is met die sand gemeng ten einde die kohesie te verhoog. Beide tipes het 'n hoë aktiwiteit. Culbond "N" is fynkorrelrig terwyl Culseal meer grofkorrelrig is. Die bentoniet is van Cullinan Minerals Limited in Olifantsfontein gekry. Tabel 4.2 gee die eienskappe van die twee tipes bentoniet.

Kalk

Kalk is van "Lime Distributors CC" in Johannesburg gekoop. Die kalk staan as "Powerlime" bekend en word vir grondstabilisasie gebruik. Tabel 4.3 gee die chemiese samestelling van die kalk.

Tabel 4.2 Chemiese samestelling van die twee tipes bentoniet

SOORT	Culseal	Culbond "N"
BESTANDDEEL	%	%
SiO_2	66,80	65,90
Al_2O_3	17,00	18,00
Fe_2O_3	3,13	2,84
TiO_2	0,24	0,32
CaO	0,47	0,33
MgO	3,40	4,00
K_2O	0,47	0,38
Na_2O	2,97	2,55

Tabel 4.3 Chemiese samestelling van kalk

BESTANDEEL	%
CaO	64,25
Magnesium : MgO	0,11
R ₂ O ₃	3,21
SiO ₂	4,68
CO ₂	4,98
H ₂ O+	19,87
Na droging by 105°C : H ₂ O	2,90

Kaolien

Kaolienklei is in enkele toetse gebruik om die effek van 'n minder aktiewe klei op die erodeerbaarheid van 'n mengsel te ondersoek. Die chemiese analise van die kaolien verskyn in Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Chemiese analise van die kaolien

BESTANDEEL	PERSENTASIE
SiO ₂	46,0
Al ₂ O ₃	38,0
Fe ₂ O ₃	0,65
TiO ₂	0,58
CaO	0,10
NaO	0,18
K ₂ O	1,00
Na ₂ O	0,20

(b) Monsters vir indekstoetse

Agt verskillende mengsels is gebruik om monsters vir die indekstoetse te vervaardig. Die mengsels is in Standaard Proctor-kompaksievorms teen optimum voggehalte verdig. Besonderhede oor die mengsels en kompaksie verskyn in Tabel 4.5.

4.2 Indekstoetse

Die doel van die indekstoetse was tweeledig:

Om te bepaal watter mengsels geskik sal wees om as "modelmateriale", wat naatvulling simuleer, in die vloeikanaal te gebruik.

Om vergelykings te kan tref tussen die eienskappe van naatvulmateriale in die veld en kunsmatig vervaardigde materiale waarvan die eienskappe bekend is.

Tabel 4.5 Besonderhede oor monsters vir indekstoetse

MENGSEL-NR.	BYMIDDELS* TOT SAND	DIGTHEID (kg/m ³)	VOGINHOUD (%)
1	1% sement	1 930	9,2
2	3% sement	1 965	8,0
3	5% sement	1 930	9,5
4	23% Culseal	1 720	16,1
5	23% Culbond "W"	1 720	15,4
6	17,5% kalk + 0,5% sement	1 799	12,0
7	14% kalk + 1,0% sement	1 840	11,2
8	geen	1 942	10,0

(* % van die droë digtheid van die hoeveelheid sand)

Daar is dus hoofsaaklik klem gelê op toetsmetodes wat vinnig en sonder gesofistikeerde toerusting, in sowel die veld as die laboratorium uitgevoer kan word. Foto 4.1, Album 1, Bylae 2, toon die monsters wat vir die indekstoetse gebruik is.

(a) Watertoets

Vir hierdie toets word die monster 24 uur lank in water geplaas. Tydens die toets (na 10 minute, 12 uur en 24 uur) word daar met 'n platpuntskroewedraaier op die monster gedruk om te bepaal wanneer dit begin verswak. Die aard en gedrag van die monsters na elke tydinterval word waargeneem (Foto 4.1, Album 1, Bylae 2), beskryf en 'n indeks waarde volgens die diepte van penetrasie (in mm) van die skroewedraaier word toegeken (Tabel 4.6).

(b) Boortoets

'n Meganiese handboor met 'n 8 mm-boorpunt vir beton is gebruik. Die boor werk slegs onder sy eie massa en die diepte van die gat wat die boorpunt na 20 omwentelings maak, word met 'n passer gemeet. 'n Indeks waarde volgens die boordiepte (in mm) word toegeken (Tabel 4.6).

(c) Kraptoets

'n Vyf-millimeter-platpuntskroewedraaier is vir hierdie toets gebruik. Die skroewedraaier is 20 keer heen en weer onder sy eie massa oor die monster getrek en die diepte van die groef wat dit gemaak het, is gemeet en beskryf. 'n Indeks waarde volgens die diepte van die groef (in mm) word toegeken (Tabel 4.6).

(d) ETCOM-toets

Die ETCOM-toetser (Erosion Tester Chamber of Mines) is aanvanklik ontwikkel om slikdamme vir erosiepotensiaal te toets (Dorren & Blight, 1986; Blight, 1989). Vir die doel van hierdie projek is die apparaat aangepas sodat dit in die laboratorium gebruik kan word (Foto 4.2, Album 1, Bylae 2).

Die apparaat word gebruik om 'n 0,8 mm-straal water vertikaal afwaarts te spuit terwyl dit 25 mm weg van die monsteroppervlak gestel is. Die druk van die waterstraal neem toe teen 'n konstante tempo totdat die materiaal begin erodeer. Die druk waarby die materiaal begin erodeer, staan bekend as die ETCOM-erosie-indeks in kPa. Die maksimum druk wat die straal kan uitoefen, is 300 kPa. As die monster nog nie by hierdie druk begin erodeer het nie, is die materiaal te sterk om getoets te word.

Hierdie toets is drie keer vir elke tipe monster herhaal en die gemiddelde is geneem. Die toetswaardes is baie wisselvallig en daarom is vier erosieklasse gekies en indekswaardes tussen 0 en 10 toegeken (Tabel 4.6). (Indekswaarde : < 50 kPa = 10; 50-100 kPa = 7; 100-300 kPa = 3; > 300 kPa = 0)

(e) Skuurtoets

Die Franklin-blusduursaamheidsapparaat is gebruik om die vyf sterker monsters mee te toets. Nadat die monster gedroog en geweeg is, is dit in 'n drom geplaas wat van maasdraad met 2 mm-openinge gemaak is, en in water geroteer. Die monsters is na 10, 30 en 60 minute geweeg om die tempo van materiaalverlies te verkry. Die erosietempo word aangegee in g/min (Tabel 4.6).

Tabel 4.6 Opsomming van die indekstoetse wat op die monsters uitgevoer is

MONS- TERNR.	SOORT INDEKSTOETS					INDEKS- TOTAAL	STERKTE
	Water (mm)	Boor (mm)	Krap (mm)	Etcom EI	Skuur (g/min)		
1	5,0	10,0	2,0	3,0	20,0	40,0	Swak
2	2,0	4,0	1,5	0	3,5	11,0	Sterk
3	1,0	1,5	1,3	0	0,6	4,4	Baie sterk
4	40,0	14,0	3,0	7	50,0	114,0	Baie swak
5	30,0	15,0	3,0	7	50	105,0	Baie swak
6	0	1,0	2,0	0	0,3	3,3	Baie sterk
7	0	1,5	1,5	0	0,5	3,5	Baie sterk
8	40,0	17,0	6,0	10	50	123,0	Uiters swak

(f) Gevolgtrekkings

In Tabel 4.6 word die somtotaal van die indekswaardes gebruik as 'n aanduiding van die relatiewe sterkte of erosieweerstand van die verskillende monsters.

Die enigste indekstoetse wat prakties in die veld uitgevoer kan word, is die boortoets en die kraptoets. Volgens die resultate in Tabel 4.6 is dit duidelik dat slegs die boortoets redelik goed tussen verskillende materiale kan onderskei.

4.3 Skuifsterktoetse op monsters

Op grond van die indekstoetsresultate is daar besluit om die volgende agt mengsels vir skuiftoetse te gebruik:

Sand + 15% Culbond "N"
Sand + 23% Culbond "N"
Sand + 30% Culbond "N"
Sand + 30% Kaolien
Sand + 40% Culbond "N"
Sand + 40% Kaolien
Sand + 60% Culbond "N"
Sand + 60% Kaolien

Twee monsters is van elke mengsel voorberei. Daar is ongeveer 6 kg van elke mengsel met water gemeng om optimum voggehalte te verkry. Daarna is die massa los mengsel bereken wat nodig is om die maksimum droë digtheid te bereik na kompaksie in 'n vorm met afmetings 150 x 150 x 51,1 mm. Verdigting van die 51,1 mm-dik blokkies is in 'n vorm van betonkubusse met behulp van 'n hidrouliese pers gedoen.

Die werklike droë digtheid is met wasverseëling bepaal en die gemete waardes het met minder as 3% van die berekende waardes verskil.

Na verdigting is die monsters in plastiek toegedraai en in 'n kamer geberg waar die vog konstant gehou is.

Gedreineerde direkte skuiftoetse is gedoen om waardes vir kohesie en wrywingshoek van die verdigte monsters te kry. Op elke monster van 60 x 60 mm is daar vier normaalspannings van 81,8; 163,5; 245,2 en 327,0 kPa gebruik. Op sekere monsters is daar tot drie toetse uitgevoer. Vanweë die hoë klei-inhoud van die monsters is daar groot verskille in kohesiewaardes by sekere monsters gekry. Dit was ook moeilik om die presiese swigpunt van die monster te bepaal omdat die monsters plasties vervorm.

Elke monster is onder optimum vogtoestande getoets asook na 1 uur se onderdompeling in water (die nat toestand). Water is toegelaat om weg te dreineer deur poreuse plate bo en onder die monster te plaas. Die tempo van skuif was 1,2 mm/min. Die maksimum reikafstand van die apparaat was 25 mm.

Tabel 4.7 gee al die waardes wat vir die skuiftoetse verkry is.

Tabel 4.7 Opsomming van skuifsterktetoetsresultate

MONSTERNOMMER, KLEI-INHOUD EN VOGTOESTAND		c kPa	ϕ °
15% Culbond	Opt.	70,53	28,5
	Nat	104,50	8,17
23% Culbond	Opt.	77,07	31,83
	Nat	123,55	18,89
30% Culbond	Opt.	82,62	29,95
	Nat	114,96	14,22
40% Culbond	Opt.	113,21	30,93
	Nat	98,57	30,87
60% Culbond	Opt.	125,81	13,5
	Nat	130,75	10,04
30% Kaolien	Opt.	62,39	33,55
	Nat	16,99	28,18
40% Kaolien	Opt.	104,0	42,21
	Nat	49,64	26,42
60% Kaolien	Opt.	103,52	25,47
	Nat	3,96	28,18

Die kohesiewaardes vir die monsters wat onder optimum vogtoestande getoets is, neem toe volgens klei-inhoud, terwyl die wrywingshoek konstant bly tot by 'n klei-inhoud van 40% waarna dit vinnig afneem.

Versadiging laat die kohesie toeneem en die wrywingshoek afneem. Die effek hiervan is die grootste by die monster met die minste klei, waarskynlik vanweë die mengsel se groter deurlatendheid.

4.4 Vloeikanaaltoetse

(a) Inleiding

Die doel met die modelstudies in 'n vloeikanaal was om die erodeerbaarheid van naatvulmateriaal in 'n rotsmassa op 'n skaal van 1:1 te ondersoek. Ten einde verskillende soorte naatvulmateriaale te simuleer, is verskillende mengsels van sand, bentoniet, kaolien en water by optimum voggehalte tot 'n maksimum droë digtheid in blokkies van 150 x 150 x 51,1 mm gekompakteer.

(b) Vloeikanaal

Vir die doel van die projek is 'n vloeikanaal deur EMATEK (WNNR) in Stellenbosch aan die Universiteit van Pretoria geskenk. Opknapping van die kanaal is deur die Departement Siviele Ingenieurswese van die UP onderneem en die inlaat- en uitlaatgedeeltes van die kanaal moes herbou word om by die nuwe opstelling aan te pas. 'n Nuwe waterpomp is aangeskaf en 'n addisionele pomp is van EMATEK (WNNR) in Pretoria op bruikleen verkry.

Die eerste toetse is in Junie 1991 uitgevoer. Die kanaal, soos opgerig by die Universiteit van Pretoria, word op Foto 4.3 in Album 1, Bylae 2 getoon.

Aanvanklike pogings om vloeisnelhede met behulp van kwikmanometers te bepaal, het misluk as gevolg van luginsluiting, probleme met montering van buise en breek van buise sodra erosie plaasvind. Daar is besluit om van 'n stuwal en draagbare rotasietipe vloeimeters gebruik te maak om snelhede te bepaal.

Na afloop van die eerste toetse in die vloeikanaal, is vasgestel dat vloeisnelhede van minstens 5 m/sek nodig is om selfs die swakste monster te erodeer. Ook die tweede pomp kon nie naastenby sulke snelhede in die groot kanaal lewer nie en daar is besluit om 'n kleiner kanaal wat van Perspex gemaak is, binne-in die groot kanaal te monteer. Hierdie kanaal se afmetings was 160 mm wyd, 200 mm diep en ongeveer 2 000 mm lank.

Ses toetsprogramme is gedurende die tydperk Junie tot November 1991 in hierdie kanaal uitgevoer. Vloeisnelhede was egter steeds beperk tot ongeveer 4 m/sek. Groter snelhede kon verkry word wanneer die deurvloeigrootte vernou word deur die toetsgedeelte aan die bokant te begrens, maar dan het die verhoogde drukke die kanaal telkens laat breek.

Teen die einde van 1991 is 'n nuwe kanaal met ongeveer dieselfde afmetings as die vorige klein kanaal voltooi (Foto 4.4, Album 1, Bylae 2). Hierin kon snelhede van tot 10 m/sek en gepaardgaande drukke gehanteer word. 'n Verdere vier toetsprogramme is tussen Desember en April 1992 met behulp van die nuwe kanaal uitgevoer.

Vir al die toetsprogramme, behalwe program 4, is tussen een en vyf van die vervaardigde blokmonsters op die kanaalbodem geplaas en stewig aan die kante begrens. Verskillende mengsels is vir die monsters gebruik, die rangskikking van monsters in die kanaal is gewissel, en van verskillende vloeisnelhede en vloeiperiodes is gebruik gemaak.

(c) Toetsprogramme

'n Opsomming van die doelstellings van die verskillende toetsprogramme verskyn in Tabel 4.8

Tabel 4.8 Opsommende doelstellings van toetsprogramme

PROGRAM NOMMER	OPSOMMENDE DOELSTELLINGS	MONSTERBESKRYWING	STROOM SNELHEID (m/s)
1	Toets werking van kanaal Bepaal reaksie van monsters	Sand + sement (1-3%), kalk (14%) en/of Culbond "N" (23%)	4,7
2	Toets swakker monsters waarop indekstoeitse gedoen is	Sand + sement (1-3%), kalk (10-14%) en/of Culbond "N" (2-23%)	4,7
3	Toets effek van onreëlmatighede deur blokkies ongelyk te plaas	Sand + Culbond "N" (23%)	4,7
4	Toets effek van sterk wand- materiale op erosie van swakker invulling	Gebakte kleiteëls Kleiteëls met sand Kleiteëls met sand + Culbond "N" (15%)	1,5 - 3,5
5	Toets effek van lokale onreëlmatighede	4,75 - 19,0 mm klipslag (25 - 50%) + sand (42,5 - 64%) + Culbond "N" (7,5 - 17,7%)	1,5 - 4,4
6	Toetse teen hoër snelhede	Sand + Culbond "N" (15 - 40%)	5,0
7	Bepaal drumpelsnelhede en erosietempo teen verskillende (hoër) vloeisnelhede	Sand + Culbond "N" (15 - 60%)	2,4 - 10,0
8	Toets effek van voorafbenatting van monsters op erodeerbaarheid	Dieselfde monsters as vir Program 7 na benatting	3,0 - 10,0
9	Toets van monsters met kaolien in plaas van bentoniet (Culbond)	Sand + kaolien (15 - 60%)	2,0
10	Bepaal erosietempo teen vloei gelyk aan drumpelsnelheid	Sand + Culbond "N" (15 - 60%)	2,4 - 4,1

Program 1

Die doel met hierdie program was om die algemene werking van die vloeikanaal te toets en om te bepaal in welke mate verskillende toetsmonsters sal erodeer.

Besonderhede oor die monsters wat gebruik is, verskyn in Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Besonderhede oor toetsmonsters vir Program 1

MONSTERNOMMER	SAMESTELLING
1	Sand + 14% kalk en 1% sement
2	Sand + 3% sement
3	Sand + 23% Culbond "M"
4	Sand + 2% sement
5	Sand + 1% sement

Die monsters is in volgorde van 1 tot 5 (sterk na swak) van bo na onder in die kanaal gepak (Foto 4.5, Album 1, Bylae 2) en die volgende toetse is uitgevoer:

- i Die blokkies is almal op dieselfde vlak gemonteer (gelyke vloeioppervlak) en 15 minute lank aan 'n vloeisnelheid van 4,7 m/sek blootgestel.
- ii Monsters 2 en 4 is met 5 mm gelig om 'n ongelyke oppervlak te vorm. Watersnelheid was weer 4,7 m/sek en tyd 15 minute.
- iii Monsters is 48 uur lank laat staan om uit te droog en dan weer 15 minute lank aan 'n vloei van 4,7 m/sek blootgestel.

Na toets (i) is geen erosie waargeneem nie. Klein riffelmerke het na toets (ii) op monsters 2 en 4 wat hoër uitgestaan het, voorgekom en geringe erosie van monster 3 is waargeneem. Uitdroging van die monsters het geen effek op die erodeerbaarheid gehad nie.

Dit was duidelik dat die materiale te sterk was vir die haalbare vloeisnelhede.

Program 2

Die doel met hierdie program was om 'n reeks swakker monsters te toets ten einde meetbare erosie te verkry. Indekstoetse is ook op die monsters uitgevoer. Besonderhede oor die toetsmonsters verskyn in Tabel 4.10.

Die volgende twee toetsprosedures is gevolg:

- (i) Monsters 1 tot 5 (sterk tot swak) is van bo na onder in die kanaal geplaas met die bokante almal in gelyke vlak. Water is 2 uur en 40 minute lank teen 4,7 m/sek oor die monsters laat vloei. Waarnemings (ook foto's) is voor die vloei, na een uur en weer na twee uur gemaak.

(ii) Monster 6 is getoets teen 'n vloeisnelheid van 4,7 m/sek.

(Monster 7 het gebreek voordat dit getoets kon word.)

Tabel 4.10 Besonderhede oor toetsmonsters vir Program 2

MONSTER -NOMMER	SAMESTELLING	BOORINDEKS (Diepte in mm na 20 omwentelinge)
1	Sand + 3% sement	11,35
2	Sand + 23% Culbond "N"	18,50
3	Sand + 14% kalk + 1% sement	6,70
4	Sand + 10% kalk	9,70
5	Sand + 1% sement	12,80
6	Sand + 5% Culbond "N"	-
7	Sand + 2% Culbond "N"	-

Slegs monster 2 het duidelike erosie na toetsprosedure (i) getoon. Toetsprosedure (ii) het minder as 1 minuut geduur voordat die vloei alle materiaal weggespoel het.

Daar is tot die gevolgtrekking gekom dat slegs Culbond "N" as bymiddel gebruik moet word, dat die persentasies tussen 15 en 60 behoort te wissel, en dat dit ook noodsaaklik is dat die watersnelheid maklik veranderbaar moet wees.

Program 3

Die doel met hierdie program was om die effek van onreëlmatighede van die vloeioppervlak op die erosieproses te bestudeer.

Vyf monsters met 23% Culbond "N" is in die kanaal geplaas sodat monsters 2 en 4 sowat 5 mm bokant die ander uitgestaan het. Die monsters is van sterk na swak gerangskik op grond van boorindekstoetse waarvan die waardes van 16 mm vir monster 1 tot 30 mm vir monster 5 gewissel het (Foto 4.6, Album 1, Bylae 2)

Water is 60 minute lank teen 'n snelheid van 4,7 m/sek oor die monsters laat vloei.

Monster 1 het die meeste erosie ondergaan, monster 2 die tweede meeste en die ander drie monsters geringe erosie. Monster 4 het sigbaar meer geërodeer aan die stroomop kant wat uitgestaan het.

Die belangrikste gevolgtrekking wat gemaak kon word, was dat die stroomdrywing vinnig afneem van bo na onder in die toetsgedeelte. Hierdie toets het dus nie in sy doel geslaag nie.

Program 4

Die doel met hierdie program was om te bepaal in welke mate die erosie van naatvulmateriaal deur sterk wandmateriaal beïnvloed word. 'n Omleidingstelsel waarmee die watersnelheid verander kan word, is ook vir die eerste keer beproef.

Vir hierdie toets is gebakte kleiteëls regop langs mekaar in die kanaal gepak sodat openinge tussen die teëls vertikale nate in 'n rotsmateriaal kon voorstel. Die teëls is so gepak dat die nate beide parallel met en loodreg op die vloeirigting was (Foto 4.7, Album 1, Bylae 2). Die volgende opstellings is gemaak:

- i Teëls is sonder vulmateriaal teen mekaar gepak en aan die stroomaf kant gestut. Na 20 minute teen 'n vloeisnelheid van 1,5 m/sek is die snelheid vermeerder tot 2,5 m/sek en na 'n verdere 20 minute tot 3,5 m/sek.
- ii Teëls is 10 mm van mekaar geplaas en die openinge is met sand gevul en so goed moontlik gekompakteer. Vloeisnelhede van 1,5 en 2,5 m/sek is elk 20 minute lank gehandhaaf, maar toe die snelheid tot 3,5 m/sek verhoog is, het die blokke opgelig en die stelsel laat swig.
- iii Teëls is soos in opstelling (b) gerangskik maar met 15% Culbond "N" wat met die sand gemeng is. Vloeisnelhede van 1,5; 2,5 en 3,5 m/sek is elk 20 lank minute gehandhaaf.

Tydens die toets met opstelling (i) teen vloeisnelhede van 3,5 m/sek het waterdruk onder die monsters veroorsaak dat die hele stelsel effens begin ophig het maar geeneen van die teëls is uitgelig nie.

Tydens die toets met opstelling (ii) het erosie van sand tussen teëls wat loodreg op die vloeirigting georiënteer was, eerste plaasgevind as gevolg van werwelings wat deur die onreëlmatighede veroorsaak is. Die vulmateriaal in die nate parallel aan die vloeirigting het effens langer geneem om uit te spoel. Teen 2,5 m/sek het meer sand uitgespoel en die teëls het stroomaf begin oorhel. Die stelsel was egter steeds stabiel teen konstante vloei wat die teëls styf teen mekaar vasgedruk het. Teen 3,5 m/sek het waterdruk van onder af die teëls laat ophig en wegspoel.

Tydens die toets met opstelling (iii) het die hoeveelheid erosie toegeneem van feitlik niks teen 1,5 m/sek tot matig

(11-14 mm diep) teen 2,5 m/sek en redelik ernstig (26-30 mm) teen 3,5 m/sek. Anders as by opstelling (ii), het die parallelle nate die meeste (26-30 mm) geërodeer. By die loodregte nate het erosie aan die kante begin en geleidelik na die middel beweeg en 'n maksimum diepte van 17 tot 22 mm bereik.

Die volgende kan uit die resultate wat hierdie program opgelewer het, afgelei word:

- Waar geen vulmateriaal teenwoordig is nie, dra die wrywing tussen teëls by tot weerstand teen erosie.
- Met geen of waterdeurlatende (sand) vulmateriaal, veroorsaak waterdruk van onder af dat die teëls lig. Hierdie druk is 'n funksie van die vloeisnelheid.
- Die eienskappe van die kleierige vulmateriaal was nie goed genoeg bekend om die erodeerbaarheid daarvan met dié van ander monsters te kon vergelyk nie.

Program 5

Die doel met hierdie program was om die effek van lokale onreëlmatighede op die erodeerbaarheid van sand-kleimonsters te bepaal. Monsters is van 'n sand-klei-klipslagmengsel voorberei. Die klipslag veroorsaak lokale onreëlmatighede wat tot werwelings en verhoogde erosie kan lei.

Vier monsters met verskillende klei-inhoud, klipgroottes en hoeveelhede is saamgestel. Besonderhede oor die monsters verskyn in Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Besonderhede oor toetsmonsters vir Program 5

MONSTER-NOMMER	BESTANDELE
1	4,75 mm klipslag (50%) + sand (42,5%) + Culbond "N" (7,5%)
2	9,5 mm klipslag (25%) + sand (64%) + Culbond "N" (11%)
3	13,2 mm klipslag (25%) + sand (64%) + Culbond "N" (11%)
4	19,0 mm klipslag (25%) + sand (57,5%) + Culbond "N" (17,5%)

Die klei-inhoud van die sand-klei-"matriks"-materiaal is konstant by 15% gehou vir monsters 1, 2 en 3 omdat dit die swakste mengsel is wat nog steeds heel bly wanneer die monster gehanteer word. Vir monster 4 is die klei-inhoud van die matriks tot 23% verhoog om addisionele binding vir die groter klipslag te gee.

Vir die doel van hierdie en verdere toetse, is 'n meetapparaat gebou wat bestaan uit vyf verplasmingsmeters wat op 'n houtblokkie van 150 x 150 mm gemonteer is en waarmee die erosiediepte by vyf vaste punte op 'n monster bepaal kan word (Foto 4.8, Album 1, Bylae 2).

Die metode om vloeitempo en dus vloeisnelheid te meet, is ook verbeter deur die watervlak by 'n gekalibreerde stuwal in die groot kanaal stroomaf van die toetsseksie te monitor. Hierdie waardes is steeds met behulp van roteervloeimeters gekontroleer.

Die vier monsters is apart getoets en drie vloeisnelhede is gebruik. Elke vloeisnelheid is 20 minute lank gehandhaaf voordat die erosiediepte gemeet is. 'n Opsomming van die resultate verskyn in Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Gemiddelde erosiediepte vir Program 5

MONSTER-NOMMER	TOETS A (1,5-2,7 m/sek)	TOETS B (2,5-3,5 m/sek)	TOETS C (3,3-4,4 m/sek)
1	0 mm	10 mm	50 mm
2	2 mm	4,2 mm	13 mm
3	3,6 mm	4,2 mm	12,2 mm
4	0,1 mm	0,2 mm	0,9 mm

Die gevolgtrekkings wat gemaak kan word, is dat onreëlmatighede beslis die erosieproses versnel indien 'n swak bindmiddel gebruik word. Met 50% klipslag (monster nr. 1) is die globale kohesie van die mengsel so laag dat dit nie veel weerstand teen erosie bied nie. Met 25% klipslag in die sterker bindmiddel (monster nr. 4) is die effek van onreëlmatighede gering.

Program 6

Die doel met hierdie program was om sand-kleimonsters met 'n klei-inhoud van tussen 15 en 40% teen hoër vloeisnelhede te toets.

Die kleiner kanaal is aangepas deur die deurvloeihoogte oor die toetsgedeelte te beperk sodat watersnelhede van tot 8 m/sek verkry kon word.

Drie mengsels is gebruik, naamlik sand met onderskeidelik 15%, 30% en 40% Culbond "N".

Dit was egter nie moontlik om die toetse uit te voer nie omdat die kanaal telkens gebreek het wanneer die vloeisnelheid tot meer as 5 m/sek verhoog is.

Program 7

Die doel met hierdie program was om die drumpelwaarde vir erosie (vloei-snelheid waarby erosie begin) en die erosietempo teen verskillende snelhede vir monsters met 'n klei-inhoud van tussen 15 en 60% te bepaal.

Ten einde vloei-snelhede van tot 10 m/sek te verkry, is 'n nuwe sterker Perspex-kanaal gebou. Die groter snelhede is verkry deur die deurvloei-grootte tot ongeveer 10 mm te verklein. Die vloeitempo kon beheer word deur kleppe in 'n hooftoevoer-pyp en 'n omleiding. Die nuwe kanaal is ook nouer as die vorige kanaal sodat die monsters, wat 150 mm breed is, presies in die kanaal kon pas. Verplasmingsmeters is in 'n vorm geplaas wat oor die kanaal pas sodat erosiemetings makliker en vinniger geneem kon word.

Vir die verskillende vloei-snelhede is die skuifspanning (τ) en die eenheidstroomdrywing (P_a) in die pypvormige toetsseksie soos volg bereken:

$$P_a = \tau * u \quad (\text{Watt/m}^2)$$

waar

$$\tau = \rho * \delta * u^2 / 8$$

$$\delta = \text{Darcy-Weisbach-weerstandskoëffisiënt soos verkry van die Moody-diagram as 'n funksie van die relatiewe ruheid en Reynolds-nommer}$$

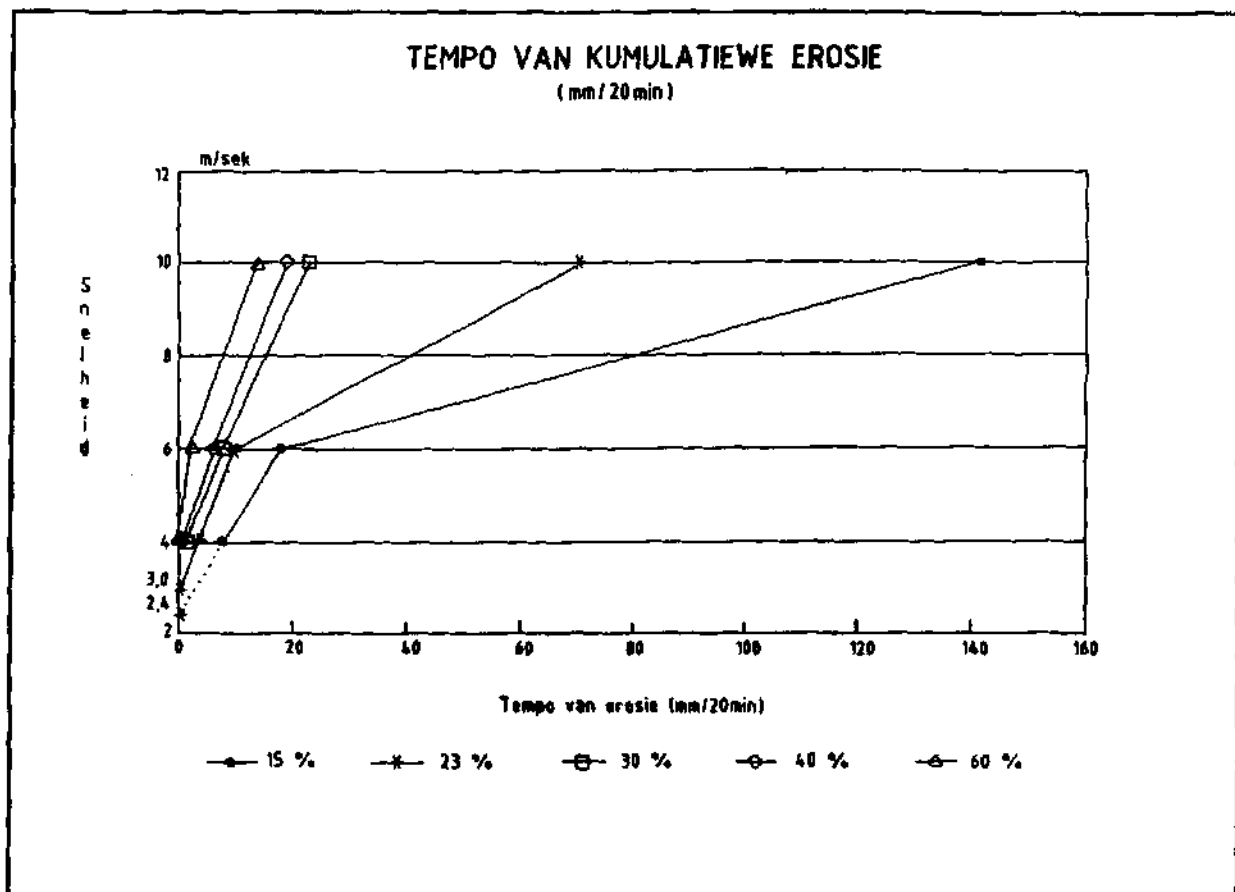
$$u = \text{gemiddelde vloei-snelheid (m/sek)}$$

Vyf monsters van sand, gemeng met 15, 23, 30, 40 en 60% Culbond "N", is afsonderlik getoets teen snelhede van 4, 6 en 10 m/sek wat elk 20 minute lank gehandhaaf is. Die monsters is teen natuurlike (optimum) vogtoestande in die kanaal gemonteer en direk daarna getoets. Na elke 20 minute is die water afgesluit en die erosiediepte gemeet.

Die resultate van die toetse word in Figuur 4.1 en Tabel 4.13 opgesom. Die resultate toon 'n duidelike verband tussen die klei-inhoud van 'n monster, die drumpelsnelheid waarby erosie begin en die tempo van erosie.

Tabel 4.13 Opsomming van drumpelwaardes en erosietempo's

NR.	CUL-BOND (%)	DRUMPELWAARDES			6 METER PER SEK		10 METER PER SEK	
		SNEL-HEID (m/sek)	SKUIF-SPANNING (N/m ²)	EENHEIDS-DRYWING (kW/m ²)	EENHEIDS-DRYWING (kW/m ²)	EROSIE-TEMPO (mm/20min)	EENHEIDS-DRYWING (kW/m ²)	EROSIE-TEMPO (mm/20min)
1	15	2,4	41	0,1	1,44	18,0	6,7	142,0
2	23	3,0	61	0,18	1,44	10,0	6,7	70,0
3	30	3,5	82	0,29	1,44	8,0	6,7	23,0
4	40	3,8	97	0,37	1,44	7,0	6,7	20,0
5	60	4,1	111	0,46	1,44	2,0	6,7	12,0



Figuur 4.1 Erosietempo vir verskillende vloeisnelhede

Program 8

Die doel met program 8 was om te bepaal in welke mate voorafbenatting van die monsters die erodeerbaarheid beïnvloed.

Dieselfde reeks monsters as dié wat vir program 7 gebruik is, is eers een uur lank in water gehou en daarna getoets. Die resultate vir monsters 2 tot 5 was feitlik identies aan dié vir program 7. Monster 1 met 15% Culbond "N" het egter 'n effens hoër drumpelsnelheid (3,0 m/sek) as die droër monster getoon, maar die erosietempo by 10 m/sek was byna twee maal meer. Die monster met minder klei is klaarblyklik meer deurlatend en word daarom meer deur benatting beïnvloed.

Program 9

Die doel met hierdie program was om die erodeerbaarheid van

monsters met minder aktiewe kaolienklei as bindmiddel te ondersoek.

Kaolienpoeier ($< 20 \mu\text{m}$), afkomstig van verweerde graniet in die Vishoek-gebied, is gebruik en monsters met 15, 23, 30, 40 en 60% kaolien is voorberei.

Geeneen van die monsters was vir langer as 4 minute teen die laagste vloeisnelheid (2 m/sek) bestand nie. Die monster met 60% kaolien was swakker as die monster met 15% Culbond "N".

Hierdie program het getoon dat 'n hoë klei-inhoud nie noodwendig groter erosieweerstand verseker nie, maar dat die tipe klei ook 'n belangrike rol speel.

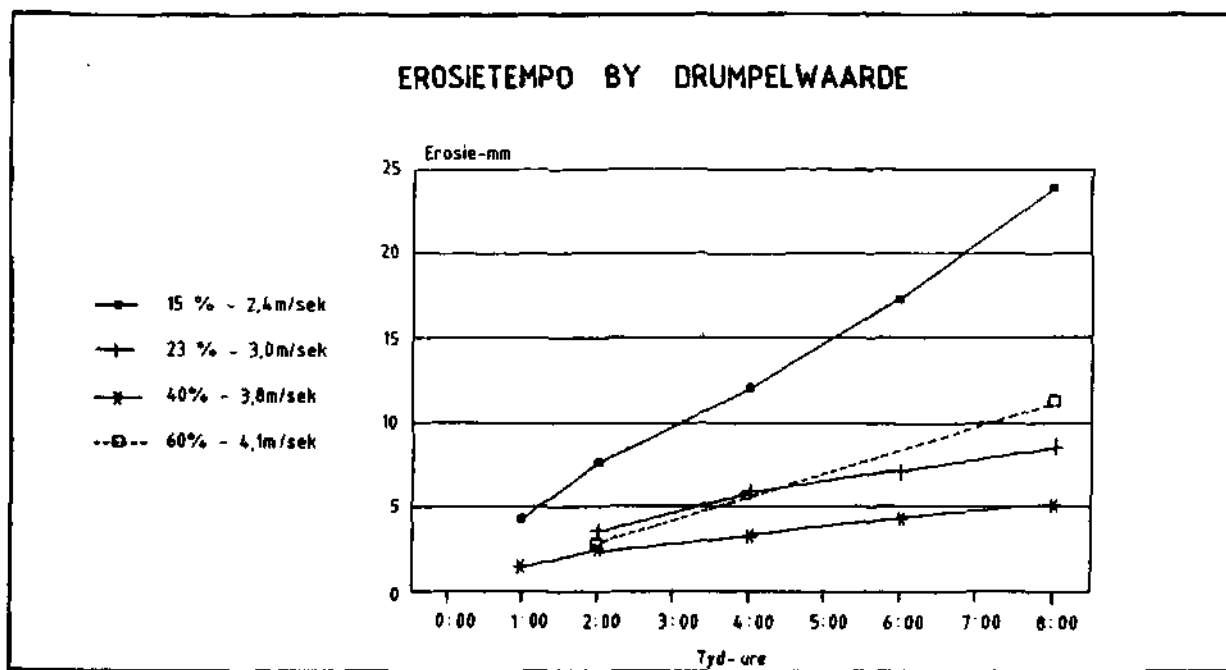
Program 10

Die doel met hierdie program was om vas te stel wat die erosietempo van monsters is indien hulle vir langer tye aan watervloei teen die drumpelsnelheid blootgestel word.

Vier monsters met 15, 23, 40 en 60% Culbond "N" is afsonderlik 8 uur lank teen hulle onderskeie drumpelsnelhede van 2,4; 3,0; 3,8 en 4,1 m/sek getoets. Die erosiediepte is na een uur en daarna elke tweede uur gemeet. 'n Opsomming van die resultate verskyn in Tabel 4.14 en in Figuur 4.2.

Tabel 4.14 Resultate van Program 10

NOMMER	CUL-BOND (%)	DRUMPEL-SNELHEID (m/sek)	DRUMPEL-DRYWING (KW/m^2)	EROSIE-TEMPO (mm/uur)
1	15	2,4	0,1	12,5
2	23	3,0	0,18	3,0
3	40	3,8	0,37	2,0
4	60	4,1	0,46	6,0



Figuur 4.2 Erosietempo by drumpelwaardes van vloeisnelhede

Dit was nie maklik om die resultate van hierdie toetsprogram te interpreteer nie. Die erosietempo van die monster met 15% klei is so vinnig dat dit wil voorkom asof die voorafbepaalde drumpelwaarde te hoog kan wees. Die resultate van monsters 2 en 3 dui op redelik betroubare drumpelwaardes en aanvaarbare weerstand teen erosie vir vloeisnelhede benede die drumpelwaarde. Monster 4 se resultate stem nie ooreen met die resultate van program 7 nie en kon as gevolg van 'n eksperimentele fout ontstaan het.

(d) Algemene gevolgtrekkings

- Monsters vir vloeikanaaltoetse is voorberei met sand waarby bindmiddels soos sement, kalk, bentoniet en kaolien in verskillende kombinasies en hoeveelhede gevoeg is. Die monsters is by optimum voggehalte tot die maksimum droë digtheid in die vorm van blokkies met afmetings 150 x 150 x 51,1 mm verdig.
- Daar is gevind dat monsters met kaolien as bindmiddel of met minder as 15% bentoniet (Culbond "N") te swak was om te hanteer of te vinnig in die vloeikanaal weggespoel het. Monsters wat met sement of kalk gemeng is, was weer te sterk om erosie te toon. Die mengsels waarmee die beste resultate verkry is, het sand met onderskeidelik 15, 23, 30, 40 en 60% Culbond "N" bevat.
- Dit was onmoontlik om in die vloeikanaal wat deur EMATEK geskenk is, vloeisnelhede van meer as 2,0 m/sek te verkry. Met hierdie snelheid het geen erosie selfs op die swakste monsters plaasgevind nie.

- Deur 'n kleiner kanaal binne die groot kanaal te plaas, kon vloeisnelhede van tot 4,7 m/sek verkry word. Selfs teen hierdie snelheid het min erosie plaasgevind en kon slegs sekere aspekte van die meganisme van erosie ondersoek word.

- Deur gebakte kleiteëls vertikaal in die kanaal te pak met sagter materiale tussenin, is vasgestel dat harde materiaal aan weerskante van sagte sones, die erosieproses versnel as gevolg van die ontstaan van lokale werwelings. Dieselfde resultaat is verkry deur klipslag in die mengsel te gebruik om lokale onreëlmatighede voor te stel.

- Gedurende die laaste vier toetsprogramme is betekenisvolle resultate verkry nadat die volgende aanpassings aan die toetsprosedure gemaak is:
 - Die monsters is gemaak van sand met 'n byvoeging van tussen 15 en 60% Culbond "N".
 - 'n Nuwe kanaal is vervaardig en aangepas sodat vloeisnelhede van tot 10 m/sek oor die toetsseksie verkry kon word.
 - Die toetsseksie is tot een monster beperk ten einde meer eenvormige vloeitoestande te verkry.
 - Die watertoevoerstelsel is van 'n omleiding en kleppe voorsien sodat die vloeitempo en vloeisnelhede akkuraat beheer en verander kon word.
 - Met behulp van 'n gekalibreerde stuwal en rotasievloeimeters kon vloeisnelhede akkuraat gemeet word.
 - 'n Apparaat is vervaardig om die relatiewe erosiediepte herhaaldelik by dieselfde vyf punte op 'n toetsmonster te kan meet.
 - Die toetsmonsters is vir langer tye aan vloei blootgestel.
 - Formules is gevind om die skuifspanning en eenheidsdrywing wat op die toetsmonsters toegepas word, te bereken.

Die belangrikste resultate van toetsprogramme 6 tot 10 word in Tabel 4.15 opgesom.

Tabel 4.15 Opsomming van resultate van Toetsprogramme 6 tot 10

NR.	CUL- BOND %	C kPa	DRUMPELWAARDES			EROSIE- TEMPO BY 6 m/sek, 1,44 kW/m ²	EROSIE- TEMPO BY 10 m/sek, 6,7 kW/m ²
			SNEL- HEID m/sek	DRY- WING, kW/m ²	EROSIE- TEMPO mm/uur	mm/uur	mm/uur
1	15	71	2,4	0,1	12,5	56	426
2	23	77	3,0	0,18	3,0	30	210
3	40	113	3,8	0,37	2,0	21	60
4	60	126	4,1	0,46	6,0	6	36

Bogenoemde resultate toon 'n duidelike verband tussen die klei-inhoud, die kohesie, die drumpelsnelheid en drumpeldrywing waarby erosie begin plaasvind, en in 'n sekere mate ook die erosietempo teen vloeisnelhede wat hoër as die drumpelwaardes is.

Alhoewel monsters met kaolien as bindmiddel ongeveer dieselfde skuifsterkte as monsters met Culbond "N" gegee het, was die erosieweerstand baie kleiner. Die tipe klei speel dus 'n groter rol by erosie as die persentasie klei.

4.5 Toetse met hoëdrukwaterspuit

Die doel met waterspuittoetse in die veld was om die moontlike verband tussen die aangewende eenheidstroomdrywing van 'n waterspuit, die soortlike energie van die materiaal waarop die spuit gerig word en die tempo van erosie te probeer bewys.

Dit sou ook dien as 'n volskaalse veldindekstoets om die erodeerbaarheid van swak gesteentes en naatvulmateriaal te bepaal.

Die volgende toerusting is vir die waterspuittoetse gebruik:

- 1 000 l Polycon-opgaartenk
- Honda WA 20-waterpomp
- 63 mm uitlaatpyp (25 m)
- 50 mm inlaatpyp (4 m)
- 12 mm AWG-spuitkop
- 8 mm reguit spuitkop
- 200 m Polypyp (25 mm diameter)
- 100 m Polypyp (32 mm diameter)
- koppelstukke en klampe
- templaat (0,5 x 0,5 m)

Die templaar en rooster is gebruik om 'n verwysingsbasis daar te stel sodat die erosiediepte by vaste punte gemeet kan word. Die templaar is met staalpenne in die rots vasgekap sodat dit nie tydens die toets kan beweeg nie.

(a) Loodsondersoek

'n Loodsondersoek is in die afvoerkanaal van die Hans Strydomdam uitgevoer deur spuittoetse by sewe verskillende punte te doen.

Die prosedure vir die uitvoering van die spuittoets is as volg:

- Die templaar (0,5 x 0,5 m) word met 150 mm spykers vasgekap oor die spesifieke oppervlak wat getoets word. Die templaar kan vertikaal of horisontaal geplaas word. Die rooster wat oor die templaar pas, bestaan uit 100 x 100 mm-openinge. Sodra die templaar vasgekap is, word die rooster aangebring en vasgemaak.
- Die afstande tot by die rotsoppervlak word dan met 'n maatband, vanaf elke individuele roosterinterval, gemeet.
- Die rooster word afgehaal en die oppervlak word dan onderwerp aan 'n straal water uit die waterspuit wat heen en weer oor die oppervlak beweeg word teen 'n konstante afstand van 1,5 m.
- Na tien minute word die rooster weer oor die templaar vasgemaak en word die afstande weer gemeet. Die volume materiaal verwyder, kan dan bereken word.

Gedurende die toets wat by die Hans Strydomdam uitgevoer is, was die waterkrag nie voldoende om groot rotsblokke te verwyder nie en daarom is op die breuksone en naatvulmateriaal gekonsentreer. Voorbeelde van die rotsmassa voor en na so 'n spuittoets verskyn op Foto's 4.9 en 4.10 (Album 1, Bylae 2).

Die eenheidstroombeweging as gevolg van die waterspuit is bereken volgens die vergelyking van Cook en Harvey (1974):

$$\begin{aligned}
 P_a &= 11,2 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot p^{1,5} \cdot 1\,000 / A \\
 \text{of } P_a &\approx 11\,200 \cdot p^{1,5} / \beta^2 \\
 \text{waar } d &= \text{diameter van spuitkop (m)} \\
 p &= \text{waterdruk (MPa)} \\
 A &= \text{oppervlak waarvoor water versprei word (m}^2\text{)} \\
 \beta &= \text{afstandverspreidingsfaktor (3-10)}
 \end{aligned}$$

Die volledige resultate van die toetse word in Bylae 4 weergegee. 'n Opsomming van die resultate verskyn in Tabel 4.16.

Tabel 4.16- Opsomming van resultate van hoëdrukwaterspuittoetse

PUNT- NO.	MATERIAAL	ORIENTASIE	EROSIE- GRAAD	EENHEIDS- DRYING (kW/m ²)	KOMMENTAAR
1	Versterkte kolluvium	Vert.	Erg (11-216 mm)	10	
2	Breuksone	Hor.	Lokaal erg (0-94 mm)	20	Wateropdamming beïnvloed resultaat
3	Breuksone	Vert.	Erg (0-148 mm)	80	In nate gekonsentreer
4	Tussengelaag met skalie	Vert.	Matig (0-55 mm)	30	
5	Breuksone	Vert.	Bale erg (2-327 mm)	100	Rotsblokke tussen vul- materiaal
6	Genate rots	Vert.	Gering	60	Slegs naatvulling
7	Tussengelaag met skalie	Vert.	Matig	40	Blusbare materiaal

(b) Gevolgtrekkings

- Die 12 mm-spuitkop veroorsaak relatief meer erosie en werk oor die algemeen beter as die 8 mm-spuitkop. Die 8 mm-spuitkop kan slegs op naatvul- en swakker rotswandmateriaal gebruik word.
- Die beskikbare eenheidsdrywing van die waterspuit is voldoende om redelike sterk materiaal te erodeer, maar die klein oppervlak wat aangeval word, verhoed dat groter rotsblokke beweeg. Slegs die sagter naatvulmateriaal word dus uitgespoel.
- Ten spyte van die gebruik van 'n templaar en rooster, is dit moeilik om die hoeveelheid materiaal wat verwyder word, akkuraat te bepaal.
- By 'n vertikale toets (templaar vertikaal ingepak) vloei die water maklik weg. Die probleem met 'n vertikale templaar is dat wanneer los rotsblokke uitval, dit deur die templaar gekeer word en sodoende word die erosie van materiaal beperk.
- Met die templaar horisontaal geplaas, vloei die water en losgemaakte materiaal nie alles weg nie en verminder opdamming die spuiteffek.
- Die afstand van die punt van die spuitkop na die toetsoppervlak moet konstant gehou word sodat die waterkrag vir elke toets dieselfde is.
- Dit is moeilik om die waterkrag konstant te hou as gevolg van variasies in die topografie van die terrein wat die drukhoogte beïnvloed.
- Die waterspuittoets is 'n goeie indeks van die erodeerbaarheid van naatvulmateriaal. Dit is egter te gelokaliseerd om kwantitatiewe inligting te voorsien.

5. EVALUERING VAN ERODEERBAARHEID

5.1 Inleiding

Ten einde die erodeerbaarheid van 'n rotsmassa te kan evalueer, is dit nodig om parameters wat geredelik beskryf en gekwantifiseer kan word, van beide die rotsmassa en die watervloei, met mekaar te korreleer en dit met die graad en tempo van erosie te vergelyk.

As gevolg van die uiters komplekse aard van rotsmassas en stroomvloei, het dit duidelik geword dat 'n streng wetenskaplike of teoreties gegronde korrelasie tussen die weerstand van 'n rotsmassa en die eroderende vermoë van 'n waterstroom nie prakties uitvoerbaar sal wees nie.

Die benadering van hierdie studie was dus om met behulp van 'n groot aantal gevallestudies, 'n geskikte korrelasie te probeer vind tussen geselekteerde parameters van die rotsmassa, die stroomvloei en die waargenome erosie. Gesamentlik word hierna as erosieparameters verwys.

5.2 Erosieparameters

(a) Hidrouliese parameters

Op grond van inligting uit die literatuurstudie en advies van kundiges is daar besluit om stroomdrywing per eenheidsoppervlak en stroomsnelheid as hidrouliese parameters te gebruik. Die formules vir die berekening van hierdie parameters is in Paragraaf 3.2(d) beskryf.

(b) Graad van erosie

Die enigste praktiese wyse waarop die graad van erosie by 'n bepaalde erosiepunt gemeet kon word, was die diepte of dikte van materiaal wat verwyder is. 'n Klassifikasie van graad van erosie in terme van diepte word in Tabel 3.10 getoon.

(c) Rotsmassaparameters

Met die inligting van 'n literatuurstudie, laboratoriumtoetse en waarnemings van die meganisme van erosie by damoorlope, is vasgestel dat die erodeerbaarheid van 'n rotsformasie hoofsaaklik deur die sterkte (kohesie) van die rotsmateriaal, die eienskappe van die diskontinuiteite en die heersende spanningstoestand bepaal word.

5.3 Korrelasies

Indien al die moontlike parameters van hidroulika en erosiegraad vir korrelasiedoeleindes gebruik sou word, raak die aantal kombinasies te veel. Daar is dus besluit om eers slegs die rotsmassaparameters te varieer ten einde die mees toepaslike enkele parameter of kombinasie van parameters vir die beskrywing en klassifikasie van die rotsmassa te vind.

Vir hierdie korrelasies is die eenheidstroomdrywing soos bereken met behulp van die lokale gradiënt ($P_{a(1)}$) by die erosiepunt bereken. Nadat die mees geskikte rotsmassaparameter geïdentifiseer is, is die korrelasie daarvan ook met stroomdrywing soos bereken met behulp van die gemiddelde en energie-gradiënte asook met stroomsnelheid getoets.

Vir hierdie korrelasies is slegs van erosiepunte by oorlope in Suid-Afrika gebruik gemaak omdat dit nie altyd duidelik was hoe data van die VSA geïnterpreteer moet word nie.

(a) Enkel parameters

As eerste stap, is elkeen van die tersaaklike rotsmassaparameters afsonderlik op normale, log-normale en log-log-grafiekpapier teen eenheidstroomdrywing volgens lokale gradiënt, vir al die erosiepunte by Suid-Afrikaanse damoorlope gestip.

Die ideale resultaat sou wees dat erosiepunte met geen, min, matige en ernstige erosie op verskillende gedeeltes van die grafiekvel sal val. In die meeste gevalle was daar geen of baie swak korrelasie en die enigste skeiding van punte het voorgekom waar eenheidsdrywing teen materiaalsterkte (M_g) en teen naatvolume op log-log-papier gestip is (Figure 5.1, 5.2).

Hierdie resultaat kan egter verwag word aangesien die rotsmassa se erodeerbaarheid nie deur 'n enkele parameter bepaal word nie.

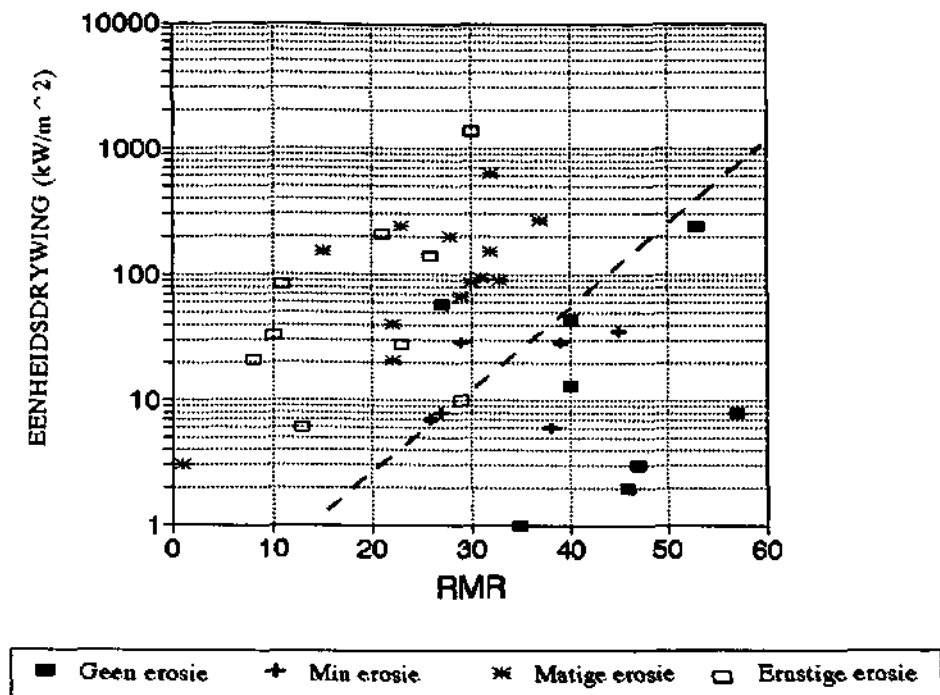
(b) Kombinasie van parameters

As 'n verdere proefneming is stelle van twee rotsmassaparameters gekombineer en telkens vir al die erosiepunte by Suid-Afrikaanse oorlope teen stroomdrywing gestip. Weer eens was die korrelasie oor die algemeen swak en groeperings kon slegs in die gevalle van RKW/J_n en $M_g * RKW/100$ gevind word (Figure 5.3 en 5.4).

(c) Klassifikasiestelsels

Vir rotsmassaklassifikasiestelsels soos dié van Bieniawski (1973) en Kirsten (1982) word waardes aan verskillende rotsmassaparameters toegeken en die parameters word gekombineer deur hulle waardes met mekaar te vermenigvuldig of by mekaar te tel om sodoende 'n globale rotsmassawaarde te kry.

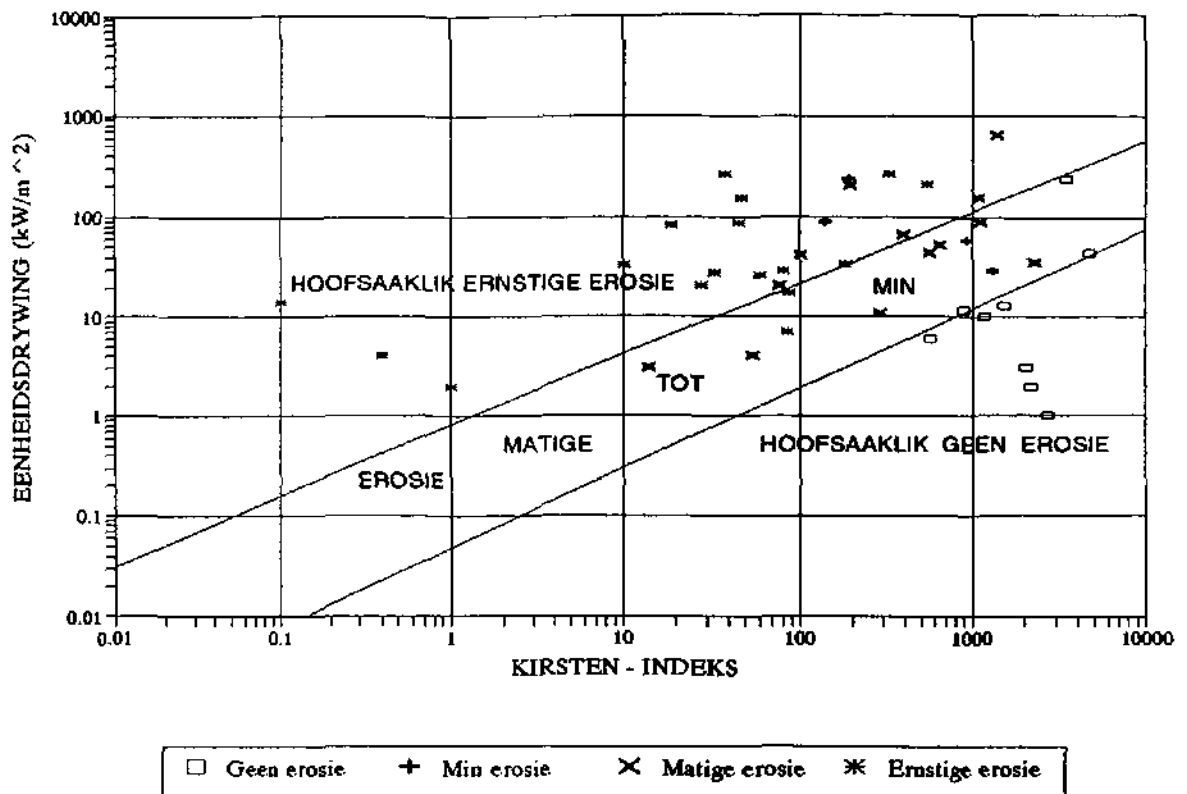
'n Redelike groepering is verkry met eenheidsdrywing ($P_{a(1)}$) op logskaal en die RMR-waarde op normale skaal (Figuur 5.5). Daar is egter baie punte wat heeltemal op die verkeerde plekke val.



Figuur 5.5 Grafiek van eenheidsdrywing ($P_{a(1)}$) teen Bieniawski-RMR-waarde

Met eenheidsdrywing bereken vir lokale gradiënt ($P_{a(1)}$) teen die Kirsten-indeks op log-log-papier is die beste korrelasie gevind met duidelike skeiding tussen punte wat geen, min tot matige en ernstige erosie ondergaan het (Figuur 5.6). Die data vir hierdie grafiek verskyn in Tabel 3.13.

Hierdie gunstige resultaat is daaraan te danke dat die Kirsten-indeks beskou kan word as 'n rotsmassasterkte deurdat die materiaalsterkte (of eenassige druksterkte) met behulp van verskeie rotsmassaparameters aangepas ("verswak") word.



Figuur 5.6 Grafiek van eenheidsdrywing ($P_{a(1)}$) teen Kirsten-indeks (K_n)

Die Kirsten-indeks word soos volg bereken:

$$K_n = \frac{M_s \cdot RKW}{J_n \cdot J_s \cdot J_r / J_a}$$

Indien M_s as 'n "rotsmassakohesie" ($C_m \approx 0,1 \cdot M_s$) en RKW as 'n verhouding (RKV) in plaas van 'n persentasie uitgedruk word, dan kan die produk van $M_s \cdot RKW$ soos volg geskryf word:

$$M_s \cdot RKW = C_m \cdot RKV \text{ (kPa)}$$

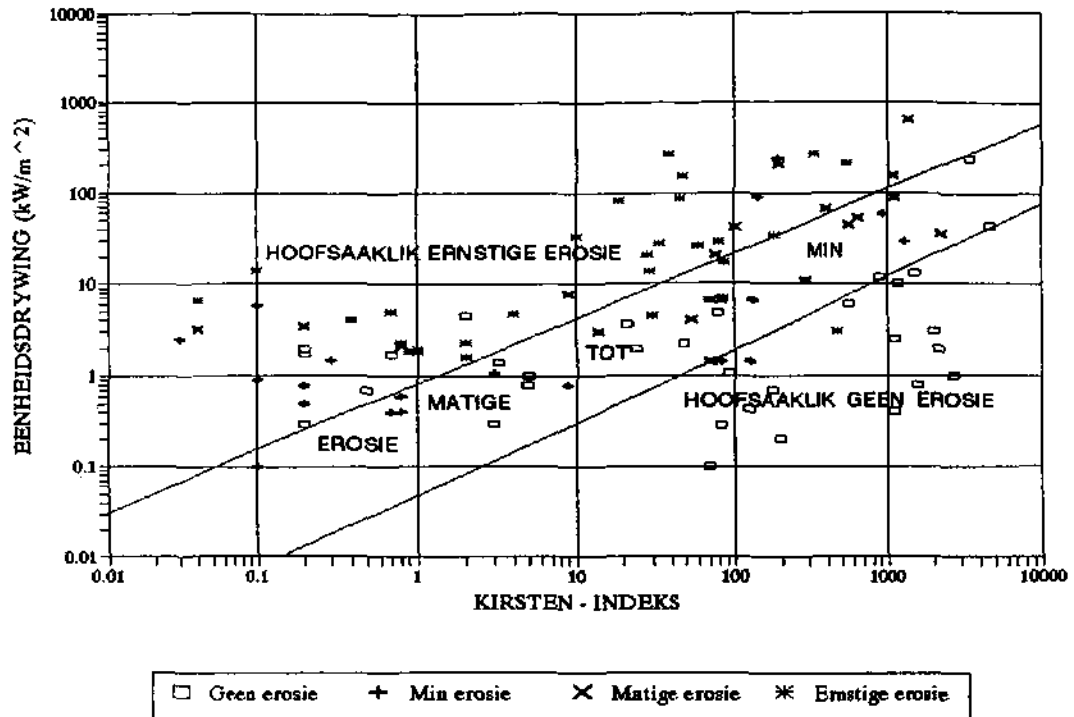
In terme van eenhede is kohesie (kN/m^2) vergelykbaar met eenheidsdrywing (kW/m^2) en indien dit op 'n grafiek gestip word, behoort punte met drumpelwaardes van erosie (waar erosie net begin) op 'n reguit lyn met helling kW/kN te val. Die verhouding kW/kN kan uitgedruk word in terme van L/T (afstand per tyd) of erosietempo.

(d) Eenheidsdrywing volgens gemiddelde en energie gradiënte

Die eenheidsdrywing soos bereken met behulp van die gemiddelde gradiënt ($P_{a(g)}$) en die energiegradiënt ($P_{a(e)}$) is ook teen die Kirsten-indeks gestip (Figure 5.7 en 5.8) en soortgelyke resultate is verkry. Die data vir hierdie grafieke verskyn op Tabelle 3.12 en 3.13.

Die resultate van erodeerbaarheidstoetse in die vloeikanaal (Tabel 4.15) is ook uitgedruk in terme van stroomdrywing en Kirsten-indeks en saam met al die data van Suid-Afrika en die VSA op Figuur 5.10 gestip.

Met behulp van Figuur 5.10 is 'n evalueringskaart (Figuur 5.11) opgestel. Die evalueringskaart dek dus die volle spektrum van geologiese materiale van 'n klei of totaal verweerde rots tot 'n rotsformasie wat bestaan uit sterk rotsmateriaal met nate.



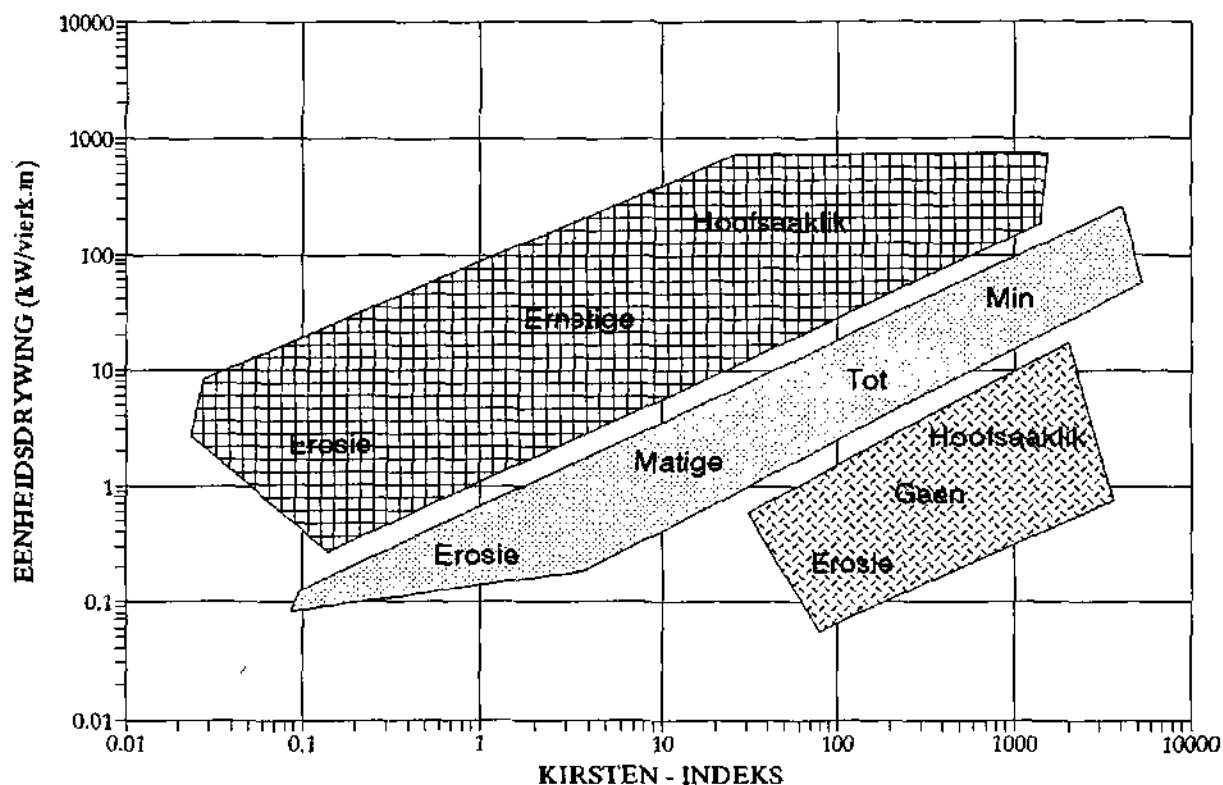
Figuur 5.10 Grafiek van eenheidsdrywing ($P_{a(1)}$) teen Kirsten-indeks (data van RSA, VSA en vloeikanaaltoetse)

Met behulp van die evalueringskaart (Figuur 5.11) kan 'n voorspelling van die graad van erosie in 'n onbeklede oorloop gemaak word indien die eenheidstroomdrywing en die Kirsten-indeks bekend is.

Met die trek van grense tussen erosieklasse is daar gepoog om aan die konserwatiewe kant te bly. Die gebruik van die kaart is egter geen waarborg dat alle rotsformasies presies sal reageer soos wat aangedui word nie. Hierdie stelling word bevestig deur die groot aantal erosiepunte op die kaart wat nie met die klassifikasie ooreenstem nie. Die rede is dat die

meganisme van erosie van plek tot plek kan verskil en dat die verskillende parameters nie orals dieselfde rolle speel nie.

Ander faktore wat bydra tot die gebrek aan betroubaarheid, is die probleem om maksimum eenheidstroomdrywing by enige punt akkuraat te bepaal of te voorspel. Stroomdrywing kan lokaal varieer as gevolg van onreëlmatighede in die geometrie. Sulke onreëlmatighede ontstaan dikwels as gevolg van erosie en die effek daarvan kan dus nie vooraf bepaal word nie.



Figuur 5.11 Evalueringskaart vir erodeerbaarheid van rotsformasies

LET WEL: Hierdie evalueringskaart is baseer op die waargenome gedrag van grond- en rotsformasies by 'n aantal damoorlope in die RSA en die VSA en sal nie noodwendig die gedrag van alle soorte natuurlike materiaal onder verskillende vloeitoestande akkuraat voorspel nie.

6. GEOTEGNIESE ONDERSOEKE EN VOORSORG- EN HERSTELMAATREËLS

6.1 Geotegniese terreinondersoeke vir erodeerbaarheid

Geotegniese ondersoeke vir die evaluering van erodeerbaarheid behoort in drie stadia, naamlik tydens ontwerp, konstruksie en bedryf van 'n damoorloop, uitgevoer word.

(a) Ontwerpstadium

Tydens hierdie stadium is die rotsformasie wat in die skortgebied of afvoerkanaal sal voorkom nog nie blootgestel nie en moet die vereiste rotsmassaparameters vir bepaling van die Kirsten-indeks by natuurlike dagsome en met behulp van kernboorwerk ondersoek word.

Sterkte

Die eenassige druksterkte van die rotsmateriaal kan met behulp van druksterkte-, puntlas-, Schmidthamer- of piktoetse op boorkern bepaal word.

RKW

Rotskwaliteitswaarde kan van die boorkern verkry word.

Struktuurwaarde

Indien georiënteerde boorkern herwin word, kan die struktuurwaarde van die boorkern bepaal word. Andersins moet dit met behulp van metings op dagsome in die omgewing beraam word.

Naatruheidswaarde

'n Aanduiding van naatruheid kan van boorkern verkry word en aanvullende inligting kan uit 'n studie van die oorsprong en tipe naat verkry word. Of die naat oop of dig is, kan bepaal word deur middel van pakstukwaterdruktoetse (Lugeontoetse) in boorgate.

Naatverweringswaarde

Hierdie parameter is die moeilikste om akkuraat te meet omdat naatvulmateriaal gewoonlik gedurende die boorproses uitgespoel word en die naatwandskeiding ook nie akkuraat in boorkern gemeet word nie. 'n Aanduiding van die dikte van verlore vulmateriaal kan gekry word deur akkurate meting van kernverliese, en 'n studie van die graad van verwerking van die herwinde kern. Die aard van die wandgesteentes kan ook 'n aanduiding gee of die naatvulmateriaal sanderig of kleierig sal wees.

Nadat bogenoemde parameters gemeet of afgelei is, kan 'n voorlopige Kirsten-indekswaarde bereken word en 'n aanduiding kan gegee word van die diepte benede grondvlak

waar 'n rotsformasie met voldoende weerstand voorkom of watter graad van erosie by bepaalde punte te wagte kan wees.

(b) Konstruksiestadium

Tydens konstruksie word die rotsformasie blootgestel en al die parameters vir die Kirsten-indeks kan direk gemeet word. Op hierdie wyse kan 'n meer betroubare waarde vir gebruik in die evalueringskaart bereken word.

Waar van uitgraaftoerusting soos trugrawers of skeurploeë gebruik gemaak word, kan die meganiese drywing wat vir uitgraving gebruik word, met die verwagte stroomdrywing vergelyk word om verdere bevestiging van die weerstand van die materiaal te verkry.

Wanneer die vloer van die skort of afvoerkanaal finaal met hoëdrukwaterspuite skoongemaak word, kan die eenheidsdrywing van die spuit en die effek daarvan op swakker sones in die rotsformasie ook met die verwagte eenheidsdrywing vergelyk word.

Voordat die oorloop in bedryf gestel word, moet 'n aantal tipiese potensiele erosiepunte geselekteer en die rotsmassaparameters daar beskryf word. Hierdie punte kan dan tydens die bedryf van die oorloop op gereelde grondslag ondersoek word.

Vir die finale ondersoek van 'n oorloopkanaal moet die wande en vloer met 'n hoëdrukwaterspuit skoongemaak word. Die materiaal kan dan soos in Tabel 6.1 in terme van erosiepotensiaal en voorsorgmaatreëls geklassifiseer word.

Tabel 6.1 : Voorsorgmaatreëls vir verskillende erosiepotensiale

Klas	Erosiepotensiaal	Rotskwaliteit	Aanbevole aksies
1	Laag	Toe nate. Weerstandbiedende rots.	Onbeklee, gladde effense stroomafhellende oppervlak. Uitstaande obstruksies moet verwyder word.
2	Matig	Nate met vulmateriaal. Goeie kwaliteit rots.	Onbeklee, gedeeltelike bekleding, sementering, rotsankers, selektiewe naatbedekking met beton, energiedempers, dreineringsgate, rotsankers en stilpoel vir vryval-oorlope.
3	Hoog	Oop nate en/of naatvulmateriaal. Matige tot swak rots.	Gedeeltelike of totale bekleding van kanaal. Stilpoel en/of betonbedekte skort vir vryvaloorlope.

(c) Bedryfstadium

Elke keer nadat 'n vloed wat groter as die vorige een is, deur die oorloop gevoer is, behoort die graad van erosie by

elkeen van die geselekteerde erosiepunte gemeet te word. Hierdie inligting kan gebruik word as verdere insette om die betroubaarheid van die evalueringskaart te verbeter en om betyds oor herstelaksies te besluit.

6.2 Voorsorg- en herstelmaatreëls

Nadat 'n skortgebied of afvoerkanaal voltooi is, moet dit ondersoek word om te besluit of daar enige voorsorgmaatreëls teen erosie getref moet word al dan nie. Die besluit sal gebaseer word op die graad van erosie wat in verskillende gedeeltes van die oorloopstruktuur verwag word, die betroubaarheid waarmee die bepaling van hidrouliese en rotsmassaparameters gedoen kon word en die moontlike effek van erosie op die veiligheid van die struktuur en op beskadiging van die omgewing.

Indien erosie wel plaasvind, moet daar ook ondersoek ingestel word om te bepaal of herstelwerk nodig is. Hierdie besluit sal gebaseer word op die effek van die erosie op die hidroulika en veiligheid van die struktuur, in welke mate dit verdere erosie kan veroorsaak en of die skade vanuit 'n omgewingsoogpunt aanvaarbaar is.

Die volgende voorsorg- en herstelmaatreëls kan oorweeg word, na gelang van die verwagte probleem en beskikbare hulpmiddele:

(a) Tipe oorloop

'n Vryvaloorloop veroorsaak groter eenheidsdrywing in die skortgebied as 'n oorvloei-oorloop of afvoerkanaal met kleiner helling. In die geval van swak rotsformasies, sal 'n oorloop wat laer drywing veroorsaak dus verkieslik wees.

(b) Energiedemping

Energiedemping word verkry deur die oorloopwydte te vergroot, stroombrekers (verstrooiers) by die oorloopkruin, in die stilbak, afvoerkanaal of wipskoep te plaas, 'n watergevulde stilpoel, of luginsluiting vir die waterstraal te voorsien.

(c) Bekleding

Bekleding met gewapende beton, ongewapende beton of grondsement van die hele of gedeeltes van die skortgebied en afvoerkanaal is van die mees algemene voorsorgmaatreëls teen erosie.

Die grootste voordeel van hierdie metode is dat dit tot 'n hidroulies aanvaarbare vorm en met homogene materiaal gebou kan word. Vloeitoestande soos snelheid en drywing is dus goed voorspelbaar en verander nie met tyd wanneer die oppervlakkvorm deur erosie verander nie.

Die soort bekleding hang af van die erosiekrag (drywing) wat weerstaan moet word. Goeie kwaliteit beton (30 MPa) het 'n Kirsten-indeks van ongeveer 3 000 en sal volgens die evalueringskaart (Figuur 5.7) by 'n eenheidsdrywing van sowat 20 kW/m² reeds begin erodeer. Dit is die rede waarom daar by vryvaloorlope gewoonlik ook 'n plonsoel vir energiedemping voorsien word. Hierdie soort bekleding is baie duur en spesiale voorsorg moet getref word om die betonpanele te veranker en te dreineer sodat waterdruk van agter dit nie kan oplig nie.

Indien die drywing minder is, byvoorbeeld in afvoerkanale met matige hellings, kan van goedkoper materiale soos grond-sement gebruik gemaak word. Dit is soms moontlik om die natuurlike materiale in die kanaal los te maak, met sement te meng en in plek te kompakteer om 'n relatief goedkoop, dog homogene en duursame bekleding te vorm.

(d) Lokale bekleding

Lokale bekleding van swakker gebiede in 'n oorloop kan met behulp van gewapende beton, spuitbeton of sementvloedder gedoen word. Dit is veral doeltreffend om lokale depressies wat turbulensie kan veroorsaak en oop nate waarlangs water kan indring te seël.

Die grootste probleem met lokale bekleding is dat water van die kante onder die bekleding kan indring en dit laat kraak of oplig. Dit is dus noodsaaklik dat sulke bekleding met staal bewapen en in die rots vasgeanker word.

(e) Keermure

Keermure op gereelde intervale in 'n afvoerkanaal kan dien as effektiewe maatreël teen erosie indien hulle op goeie kwaliteit rots gefondeer word. Hulle effek is om die energieverliese (drywing) direk stroomaf van die mure te konsentreer terwyl die gebiede stroomop van die keermure aan laer drywing blootgestel word. Indien die keermure egter aan die stroomaf kant ondergrawe word, sal hulle as knakpunte reageer en die terugwaartse erosieproses laat versnel.

Keermure wat met skanskorwe "gabions" gevorm word, kan erosie bekamp indien dit op die regte plekke gebou word. Daar moet egter aanvaar word dat die draadmaas uiteindelik gaan breek en sodra die rotsfragmente deur die water beweeg word, dien hulle as werktuie van erosie wat die ander skanskorwe laat swig en verdere erosie veroorsaak.

(f) Verwydering van onreëlmatighede

Enige onreëlmatigheid in die vloer van 'n afvoerkanaal, soos byvoorbeeld uitstaande rotsblokke, slote, heinings, bome of paaie, sal turbulensie veroorsaak, wat kan lei tot lokale en terugwaartse erosie.

Los rotsfragmente wat oorbly nadat skietwerk in 'n afvoerkanaal gedoen is, word dikwels gelyk gestoot om die voorkoms van die kanaal te verbeter. Hierdie los materiaal veroorsaak lokale erosiekanale wat die vloei konsentreer en stroomdrywing laat verhoog, terwyl rotsblokke wat deur die water gerol word as werktuie dien om sagter sones vinnig uit te skuur en sodoende die erosieproses te verhoog.

Dit is dus noodsaaklik dat alle los rotsfragment uit die oorloopgebied verwyder moet word.

(g) Grasbedekking

Vir afvoerkanaale waar die drywing nie hoog is nie, kan grasaanplanting as uiters effektiewe erosiebeskerming dien. Navorsing deur die WNK is tans aan die gang om die effek van gras en die mees doeltreffende grassoorte te ondersoek.

7. BESPREKING EN GEVOLGTREKKINGS

7.1 Doelstellingen

Die doelstellingen van die projek soos omskryf in die ooreenkoms met die Waternavorsingskommissie was soos volg:

- (a) Identifikasie van die ingenieursgeologiese en hidrouliese parameters wat die erodeerbaarheid van 'n rotsformasie beïnvloed.
- (b) Ontwikkeling van 'n prosedure om 'n rotsmassa in terme van erodeerbaarheid te karakteriseer.
- (c) Ontwikkeling van 'n korrelasie tussen vloeisnelheid (of drukhoogte in die geval van vryvaloorlope) en die graad asook die tempo van erosie wat verwag kan word.

7.2 Resultate

Die mate waarin die doelstellingen van die projek bereik is, word in die volgende paragrawe bespreek.

(a) Identifikasie van parameters

Met die inligting van 'n literatuurstudie, laboratoriumtoetse en waarnemings van die meganisme van erosie by damoorlope, is vasgestel dat die erodeerbaarheid van 'n rotsformasie hoofsaaklik deur die sterkte van die rotsmateriaal, die eienskappe van die diskontinuiteite en die heersende spanningstoestand bepaal word.

Daar is ook bevind dat naatvulmateriaal 'n belangrike rol speel by die erosiemeganisme in rotsformasies. Rotsmateriaal (rotsblokke in die rotsmassa) ondergaan geen of min verandering wanneer dit aan watervloei onderwerp word. Wanneer die sagter naatvulmateriaal rondom die rotsblokke egter uitgespoel word, kry waterdruk toegang tot die rotsmassa en word blokke uitgelig en weggevoer.

Die wyse waarop die mees geskikte rotsmassaparameter vir die evaluering van erodeerbaarheid bepaal is, word in paragraaf (b) hieronder bespreek.

Volgens inligting uit die literatuurstudie en op grond van aanbevelings deur ander navorsers, is besluit om eenheidstroomdrywing te gebruik as die hidrouliese parameter wat erosie veroorsaak.

Die graad of omvang van erosie kan gemeet word in terme van volume of diepte of as 'n persentasie van die betrokke tipe rotsformasie wat verwyder is. Om praktiese redes is daar besluit om die diepte van erosie as parameter te gebruik.

(b) Prosedure vir rotsmassakarakterisering

As gevolg van die uiters komplekse aard van rotsmassas en die ewe komplekse interaksie tussen rotsformasies en hidrouliese parameters, is dit feitlik onmoontlik om 'n streng wetenskaplike metode vir die bepaling van erodeerbaarheid daar te stel.

Die enigste alternatief was om met behulp van werklike gevallestudies van erosie, verskillende rotsmassa-, hidrouliese en erosieparameters met mekaar te vergelyk om sodoende die rotsmassaparameters wat die beste met die ander korreleer, te kan identifiseer.

Vir hierdie doel is die eenheidstroomdrywing vir 43 erosiepunte by damoorlope in Suid-Afrika teen verskillende enkele en kombinasies van rotsmassaparameters op normale, log-normale en log-log-grafiekpapier gestip.

Die beste korrelasie is gevind met 'n grafiek op log-log-papier van eenheidstroomdrywing teen die Kirsten-indeks vir uitgraafbaarheid waar erosiepunte wat (i) geen, (ii) min of matige en (iii) ernstige erosie ondergaan het, duidelik van mekaar geskei kan word.

Hierdie resultaat is daaraan te danke dat die Kirsten-indeks beskou kan word as 'n rotsmassasterkte omdat die materiaalsterkte (eenassige druksterkte) van die rots met behulp van verskeie parameters wat deur die diskontinuiteite bepaal word, aangepas of "verswak" word.

Die Kirsten-indeks, word soos volg bereken:

$$K_n = M_s * RKW / J_n * J_s * J_r / J_a$$

waar M_s = materiaalsterkte (MPa)
 RKW = rotskwaliteitswaarde (%)
 J_n = naatstelnommer (0,5-20)
 J_s = relatiewe struktuurnommer (0,45-1,5)
 J_r = naatruheidsnommer (0,5-20)
 J_a = naatverweringsnommer (0,75-20)

Waardes vir die verskillende parameters word verkry deur die rotsformasie in boorkern of in die veld te beskryf en die gegewens in Tabelle 3.3 tot 3.8 te gebruik.

Die navorsing het dus daarin geslaag om 'n geskikte rotsmassaparameter vir die evaluering van erodeerbaarheid te identifiseer en die toepaslikheid daarvan aan die hand van gevallestudies te bewys.

(c) Korrelasie van erosieparameters

Die Kirsten-indeks kan as 'n "rotsmassakohesie" (kN/m^2) beskou word. Indien dit teen eenheidstroomdrywing (kW/m^2) gestip word vir plekke waar erosie net begin (drumpelwaardes), behoort die punte op 'n lyn te val waarvan die gradiënt die erosietempo verteenwoordig.

Deur die grafiek van eenheidsdrywing teen die Kirsten-indeks in verskillende sektore in te deel vir erosiepunte wat (i) hoofsaaklik geen, (ii) hoofsaaklik min tot matige en (iii) hoofsaaklik ernstige erosie ondergaan het, is 'n evalueringskaart vir die bepaling van die verwagte graad van erosie onder waargenome toestande van die rotsformasie (Kirsten-indeks) en die berekende eenheidstroomdrywing saamgestel.

Die tempo van erosie vir 'n bepaalde stel omstandighede kan indirek afgelei word van die posisie van die ooreenstemmende punt op die evalueringskaart.

Met die trek van grense tussen erosieklasse is daar gepoog om aan die konserwatiewe kant te bly. Die gebruik van die kaart is egter geen waarborg dat alle rotsformasies presies sal reageer soos wat aangedui word nie. Hierdie stelling word bevestig deur die aantal erosiepunte op die kaart wat nie met die klassifikasie ooreenstem nie. Die rede is dat die meganisme van erosie van plek tot plek kan verskil en dat die verskillende parameters nie orals dieselfde rolle speel nie.

Ander faktore wat bydra tot die gebrek aan betroubaarheid, is die probleem om maksimum eenheidstroomdrywing by enige punt akkuraat te bepaal of te voorspel. Stroomdrywing kan lokaal varieer as gevolg van onreëlmatighede in die geometrie. Sulke onreëlmatighede ontstaan dikwels as gevolg van erosie en die effek daarvan kan dus nie vooraf bepaal word nie.

Die navorsing het daarin geslaag om 'n metode daar te stel waarvolgens die erodeerbaarheid van 'n rotsmassa met 'n redelike mate van akkuraatheid voorspel kan word indien die toepaslike eienskappe van die rotsformasie en van die watervloei bekend is.

Dit moet egter beklemtoon word dat hierdie evalueringskaart baseer is op die waargenome gedrag van grond- en rotsformasies by 'n aantal damoorlope in die RSA en die VSA en dat dit nie noodwendig die gedrag van alle soorte natuurlike materiaal onder verskillende vloeitoestande akkuraat kan voorspel nie.

7.3 Aanbevelings

Aangesien daar in die toekoms steeds nuwe data sal ontstaan oor erosie by bestaande en toekomstige damoorlope, word aanbeveel dat 'n sentrale organisasie soos die Damveiligheidskantoor van die Departement van Waterwese en Bosbou inligting oor erosieparameters tydens toekomstige vloede sal insamel sodat die evalueringskaart verder getoets en daarop verbeter kan word.

Die erosieparameter wat tydens hierdie studie slegs by benadering bereken kon word, is die eenheidstroomdrywing. Verdere navorsing is nodig om die effek van lokale onreëlmatighede in die geometrie van die kanaal of skortgebied op die eenheidsdrywing te kwantifiseer.

Verdere navorsing moet ook gedoen word om die eienskappe van naatvulmateriaal in die veld met groter vertroue te kan bepaal.

Aangesien hierdie verslag in Afrikaans opgestel, en dit derhalwe van min waarde vir engelsprekende en buitelandse navorsers sal wees, word beoog om die volgende publikasies die lig te laat sien:

Van Schalkwyk, A., Jordaan, J.M. & Dooge, N. (1984). Erosion of rock in unlined spillways. Proc. 18th ICOLD Congress, Durban, Q.71, R.37, 555-571.

Van Schalkwyk, A., Dooge, N. & Pitsiou, S. (1995). Rock mass characterization for evaluation of hydraulic erodibility. Proc. 11th Eur. Conf. Soil Mech. & Found. Engng, Copenhagen, 28 May - 1 June 1995.

Van Schalkwyk, A. & Dooge, N. (1995?). The evaluation of rock mass quality in terms of hydraulic erodibility. (Vir publikasie in die Bulletin International Association of Engineering Geology.)

8. VERWYSINGS

- AEG (1978). Association of Engineering Geologists, South Africa Section, Core Logging Committee. A guide to core logging for rock engineering purposes. Bull. Ass. Engng. Geol., XV(3), 295-328.
- Bagnold, R.A. (1966). An approach to the sediment transport problem for general physics. U.S. Geological Survey Prof. Paper, 422(1).
- Bagnold, R.A. (1977). Bed load transport by natural rivers. Water Resources Research, 13(2), 303-312.
- Barton, N., Lien, R. & Lunde, J. (1974) Engineering classification of rock masses for design of tunnel support. Rock Mechanics, 6, 189-236.
- Bieniawski, Z.T. (1973). Engineering classification of jointed rock masses. The Civil Engineer in South Africa, Des. 1973, 335-343.
- Blight, G.E. (1989). Erosion losses from the surfaces of gold-tailings dams. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, 89(1), 23-29.
- Brown, E.T. (1981). Rock Characterization Testing and Monitoring. ISRM Suggested Methods, Pergamon Press, Oxford.
- Burt, T.N. (1990). Cohesive sediment and physical models. Proceedings of the International Conference on Physical Modeling of Transport and Dispersion, ASCE, Cambridge, Massachusetts, 7-12.
- Cameron, C.P., Cato, K.D., Mc Aneny, C.C. & May, J.H. (1986a). Geotechnical aspects of rock erosion in emergency spillway channels. Technical report, Vol.1, U.S. Army Corps of Engineers, Washington D.C.
- Cameron, C.P., Patrick, D.M., Bartholemew, C.O., Hatheway, A.W. & May J.H. (1986b). Geotechnical aspects of rock erosion in emergency spillway channels-remediation. Technical report, Vol.3, U.S.Army Corps of Engineers, Washington D.C.
- Cameron, C.P., Cato, K.D., May, J.H. & Patrick, D.M. (1988). Geotechnical aspects of rock erosion in emergency spillway channels. Analysis of field data and laboratory data. Technical report, Vol.2, U.S. Army Corps of Engineers, Washington D.C.

- Cook, N.G.W. & Harvey, V.R. (1974). An appraisal of rock excavation by mechanical, hydraulic, thermal and electromagnetic means. Proc. 3rd Congress, Int. Soc. Rock Mechanics, Denver, 1599-1615.
- Deere, D.U. (1964). Technical description of rock cores for engineering purposes. Rock Mechanics and Engineering Geology, 1(1), 17-22.
- Dooge, N. (1993). Die erodeerbaarheid van rots met spesiale verwysing na die rol van naatvulmateriaal in onbelynde damoorlope in die R.S.A. MSc-verhandeling, Universiteit van Pretoria, ongepubliseer.
- Dorren, D.I. & Blight, G.E. (1986). Erosion of the slopes of gold-residue dams on the Transvaal Highveld - Preliminary results. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, 86(12), 475-480.
- Goktan, R.M. & Eskikaya, S. (1991). Prediction of ripping machine performance in terms of rockmass properties. The Civil Engineer in South Africa, January 1991, 13-24.
- Goodman, R.E. & Shi, Gen-hua (1985). Block theory and its application to rock engineering. Prentice-Hall Inc.
- Hairsine, P.B. & Rose, C.W. (1992a). Modeling water erosion due to overland flow using physical principles. 1. Sheet flow. Water Resources Research, 28(1), 237-243.
- Hairsine, P.B. & Rose, C.W. (1992b). Modeling water erosion due to overland flow using physical principles. 2. Rill flow. Water Resources Research, 28(1), 237-243.
- Hanson, G.J. (1990a). Surface erodibility of earthen channels at high stresses. Part I - Open channel testing. Trans. ASAE, 33(1), 127-131.
- Hanson, G.J. (1990b). Surface Erodibility of Earthen Channels at High Stresses. Part II - Developing an in situ testing device. Trans. ASAE, 33(1), 132-137.
- Hoffman, C.J. (1977). Design of spillways and outlet works. In: Handbook of dam engineering, Gloze, A.R. (ed). Van Nostrand-Reinhold, New York, 499-548.
- Jennings, J.E., Brink, A.B.A. & Williams, A.A.B. (1973). Revised guide to soil profiling for civil engineering purposes in southern Africa. Trans. S. Afr. Inst. Civ. Engrs., (15)1, 3-12.

- Kamphuis, J.W. (1990). Influence of sand or gravel on the erosion of cohesive sediment. Journal of Hydraulic Research, 28(1), 43-53.
- Kamphuis, J.W. & Hall, K.R. (1983). Cohesive material erosion by unidirectional current. Journal of Hydraulic Engineering, 109(1), 49-61.
- Kirsten, H.A.D. (1982). A classification system for excavation in natural materials. Die Siviele Ingenieur in S.A., July 1982, 293-308.
- Kirsten, H.A.D. (1992). Persoonlike mededeling.
- Lane, E.W. (1953). Progress report on studies on the design of stable channels of the Bureau of Reclamation. Proc. ASCE, 79.
- Mason, P.J. (1985). Erosion of plunge pools downstream of dams due to the action of free-trajectory jets. Proc. Instn Civ. Engrs, Part 1, 76, 523-537.
- Mason, P.J. & Arumugam, K. (1985). A review of 20 years of scour development at Kariba Dam. 2nd Int. Conf. on Hydraulics of Floods and Flood Control, BHRA, Cambridge Univ., 63-71.
- Mathewson, C.C. (1981). Engineering Geology. Charles E. Merrill Publ. Co., Columbus, Ohio.
- Mirtskhoulava, Ts.E. (1981). Land erosion, research equipment, forecasting methods and prospects for their improvement. Proc. 1981 Erosion and Sediment Transport Measurement Symposium, IAHS, Florence, 521-527.
- Moore, J.S. (1991). The characterization of rock for hydraulic erodibility. SCS Technical release - 78, Northeast National Technical Center, Chester, PA.
- Moore, J.S. (1992). Persoonlike mededeling.
- Moore, J.S., Temple, D.M. & Kirsten H.A.D. (1994). Headcut advance threshold in earth spillways. Bulletin, Ass. Engng Geologists, XXXI(2), June 1994.
- Olivier, H.J. (1979). Some aspects of the influence of mineralogy and moisture redistribution on the weathering behaviour of mudrocks. Proc. 4th Cong. Int. Soc. Rock. Mech. Montreux, 3(1).
- Otto, B. (1989). Scour potential of highly stressed sheet jointed rocks under obliquely impinging plane jets with special references to the Burdekin Falls Dam. PhD-Thesis, James Cook University, North Queensland, Australia.

- Otto, B. (1990). The effect of high in situ rock stresses on the scour potential of sheet jointed rock below two dams in Australia. Int. Conf. on Mech. of Jointed and Faulted Rocks, Vienna, 1990.
- Palmerton, J.B., May, J.H. & Banks, D.C. (1991). Geotechnical aspects of headcutting in emergency spillway channels. Bull. of the Ass. of Engng. Geologists, XXVIII(1), 89-94.
- Parchure, T.M. & Mehta, A.J. (1985). Erosion of soft cohesive sediment deposits. Journal of Hydraulic Engineering, 111(10), 1308-1326.
- Pitsiou, S. (1990). The effect of discontinuities on the erodibility of rock in unlined spillways of dams. MSc-verhandelng, Universiteit van Pretoria, ongepubliseer.
- Raudkivi, A.J. & Tan, S.K. (1984). Erosion of cohesive soils. Journal of Hydraulic Research, 22(4), 217-233.
- Rauws, G. (1988). Laboratory experiments on resistance to overland flow due to composite roughness. Journal of Hydrology, 103(1/2), 37-51.
- Reinius, E. (1986). Rock erosion. Water Power and Dam Construction, June 1986, 43-48.
- Rooseboom, A. (1989). Flow processes and sediment transport: Overview. Fourth South African National Hydrological Symposium 1989. International Association of Hydrological Sciences, Pretoria, 300-313.
- Rooseboom, A. (1991). Persoonlike mededeling.
- Rooseboom, A. & Mülke, F.J. (1982). Erosion initiation. In: Recent developments in the explanation and prediction of erosion and sediment yield, Walling, D.E. (ed.) Proc. 1982 Int. Conf. Association of Hydrological Sciences. Exeter, UK: IAHS, International Commission on Continental Erosion, UNESCO, 58-66.
- Simons, D.B. & Richardson, E.V. (1966). Resistance to flow in alluvial channels. U.S. Geological Survey Professional Paper 422-J.
- Spurr, K.J.W. (1985). Energy approach to estimating scour downstream of a large dam. Water Power and Dam Construction, Jul. 1985.

- Thomson, D.J. & Woodward, R.C. (1980). Copeton dam spillway-Geological investigations and performance. Proc. 3rd Australian-New Zealand Geomechanics Conf., May 1980, 2-21 & 2-29.
- USBR (1987). Design of small dams (3rd ed.). United States Bureau of Reclamation, U.S Department of the Interior, Washington DC.
- Van Schalkwyk, A. (1980). Die invloed van geologie op die ontwerp en konstruksie van groter damme in Suid-Afrika. DSc-proefskrif, Universiteit van Pretoria, ongepubliseer.
- Van Schalkwyk, A. (1989). Waternavorsingskommissie: Verslag oor loodsondersoek: Die erodeerbaarheid van verskillende rotsformasies in onbeklede damoorlope. Ongepubliseerde verslag, Universiteit van Pretoria.
- Veronese, S. (1937). Erosioni de fondo a valle di uno scarico. Annali dei Lavori Pubblici, 75(9), Italy, 717-726.
- Weaver, J.M. (1975). Geological factors significant in the assessment of rippability. Die Siviele Ingenieur in Suid-Afrika, Desember 1975, 313-316.
- Woodward, R.C. (1984). Geological factors in spillway terminal structure design. Proc. 4th Australian - New Zealand Conference on Geomechanics, May 1984, Perth, 245-249.

BYLAE 1

DATA OOR DAMOORLOPE IN SUID-AFRIKA

INHOUDSOPGAWE

1. BESONDERHEDE OOR DAMME, OORLOOPSTRUKTURE, GEOLOGIESE TOESTANDE EN EROSIEPUNTE

1.1 Oorlope waarvoor geen vloedata beskikbaar is nie

1.1.1 Algemene beskrywing van die strukture, die geologie en aard van erosie

- A. Arieskraaldam I
- B. Arieskraaldam II
- C. Bevensondam
- D. Ida's Valleydam
- E. Koos Raubenheimerdam
- F. Melvilledam
- G. Nagledam
- H. Nuwebergdam
- I. Boonste Steenbrasdam
- J. Laer Steenbrasdam

1.2 Damoorlope waarvoor daar vloedata beskikbaar is

1.2.1 Algemene beskrywing van die strukture, die geologie en aard van erosie by oorlope

- 1. Applethwaitedam
- 2. Bellairdam
- 3. Bridledriftdam
- 4. Craigie Burndam
- 5. Floriskraaldam
- 6. Gamkapoordam
- 7. Goedertrouwdam
- 8. Hans Strydomdam
- 9. Hartebeespoortdam
- 10. Kammanassiedam
- 11. Katrivierdam
- 12. Klipfonteindam
- 13. Marico Bosvelddam
- 14. Mzikidam
- 15. Prinsrivierdam
- 16. Roo-deplaatdam
- 17. Tuinroetedam
- 18. Wagendriftdam

1. BESONDERHEDE OOR DAMME, OORLOOPSTRUKTURE, GEOLOGIESE TOESTANDE EN EROSIEPUNTE

Gedurende die termyn van die projek is inligting ingesamel en besoeke gebring aan 'n aantal damme waar daar 'n mindere of meerdere mate van erosie plaasgevind het. Die feit dat die meeste van hierdie damme deur die Departement van Waterwese en Bosbou bedryf word, beteken nie dat damme onder departementele beheer meer probleme met erosie ondervind nie, maar eerder dat inligting oor daardie damme meer geredelik beskikbaar was. 'n Aantal damme wat deur munisipaliteite, besproeiingsrade of privaat instansies beheer word, is ook ondersoek.

Die doel met hierdie ondersoeke was om (i) die posisie en omvang van erosie vas te stel, (ii) die belangrikste oorsake en meganismes van erosie te bestudeer, (iii) die graad van erosie te dokumenteer, en (iv) die geologie en rotsmassatoestande te beskryf.

Tydens die verwerking van die resultate is besef dat daar 'n aantal damme is waarvoor geen hidrologiese data beskikbaar is om met die voorkomste van erosie in verband te bring nie. Dit beteken dat data van sulke oorlope nie vir die voorgestelde korrelasie tussen die rotsmassatoestande, hidrouliese aanval en graad van erosie gebruik kon word nie. In die volgende bespreking word damme waarvoor geen vloedata beskikbaar is nie en damme waarvoor wel vloedata beskikbaar is, afsonderlik behandel.

1.1 Oorlope waarvoor geen vloedata beskikbaar is nie

'n Lys met name van die damme, naaste dorpe en beskrywing van die oorlope waarvoor vloedata nie beskikbaar is nie, verskyn in Tabel 1.1.

1.1.1 Algemene beskrywing van die strukture, die geologie en aard van erosie

Aangesien daar vir hierdie damme nie vloedata beskikbaar was om met die graad van erosie te vergelyk nie, word die volgende terreine slegs kortliks beskryf. Waarnemings by hierdie terreine is gebruik om (i) die omvang van probleme met erosie te evalueer, en (ii) die meganisme van erosie by 'n groter verskeidenheid rotsformasies te bestudeer.

A. Arieskraaldam I

Die Arieskraaldam I, wat in 1952 voltooi is, is 'n 17 m-hoë grondvuldag met 'n kruinlengte van 142 m. Die dag is in die Huisrivier, op die plaas Arieskraal, 5 km suid van Grabouw geleë.

Tabel 1.1 - Besonderhede van damme sonder vloeidata

Dammaam	Naaste dorp	Oorlooppgedeelte	
		Tipe	Bevinding
Arieskraal I	Grabouw	Onbeheerde kanaal (RF)	Geen erosie
Arieskraal II	Grabouw	Onbeheerde kanaal (RF)	Erosie (4 m) Kleinate
Bevenson	Vryheid	Onbeheerde kanaal (RF)	Erosie (3 m) Verw. tilliet
Ida's Valley	Stellenbosch	Onbeheerde geut (RF)	Erosie (3 m) Verw. graniet
Koos Raubenheimer	Oudtshoorn	Onbeheerde sykanaal	Geen erosie Min water
Melville	Oudtshoorn	Onbeheerde kanaal (RF)	Erosie (2 m) Sandsteen
Nagle	Cato Ridge	Beheerde kanaal	Geen erosie Goeie rots
Nuweberg	Grabouw	Onbeheerde kanaal (RF)	Geringe erosie Genate rots
Boonste Steenbras	Grabouw	Onbeheerde kanaal (LF)	Geen erosie Min vloei
Laer Steenbras	Grabouw	Oorvloei en skort	Geen erosie

Die terrein word beslaan deur geel tot rooibruin slikssteen en skalie van die Bokkeveld Groep, Kaap Supergroep. Die onbeheerde oorloop met onbeklede afvoerkanaal is aan die regterflank geleë. Die wydte van die kanaal is 21,3 m.

Geen tekens van erosie kom in die slikssteen en skalie in die kanaal voor nie. Die rede hiervoor is aan die plat helling van die kanaal en die lae vloei tempo toe te skryf. Daar kan egter verwag word dat terugwaartse erosie tydens 'n groot vloed in die stroomaf gedeelte van die kanaal kan voorkom.

B. Arieskraaldam II

Die Arieskraaldam II, wat in 1967 voltooi is, is 'n 29 m-hoë betonboogdam met 'n kruinlengte van 122 m (Foto B.1, Album 2, Bylae 2). Die dam is in die Palmietrivier, 14 km suid van Grabouw geleë. Dit het 'n vryvaloorloop oor die damkruin en daar is ook 'n onbeheerde oorloopstruktuur en onbeklede afvoerkanaal aan die regterflank. Die kanaal is 9,5 m en die oorvloei-oorloop 70 m breed.

Die terrein word beslaan deur sandsteen van die Nardouw Formasie. Alhoewel die sandsteen 'n noordelike helling toon, is dit lokaal geplooi en gegolf.

Vandat die dam 26 jaar gelede voltooi is, het die rots in die oorloopkanaal met 4 m geërodeer. Die erosie het plaasgevind as gevolg van kleigevulde nate in die rots. Die vulmateriaal is uitgewas sodat die rotsblokke uitgespoel kon word. Tans het die erosie op 'n harde kwartsitiese sandsteenlaag gestabiliseer. Daar is reeds onderhoudswerk gedoen deur erosiesones en oop nate met beton te bedek. Hierdie werk blyk suksesvol te wees.

C. Bevensondam

Bevenson is 'n 21 m-hoë grondvuldiam wat in 1988 vir die Gluckstadt Besproeiingsraad voltooi is. Die dam is in die Mbizankulurivier, 'n sytak van die Swart Umfolozirivier, naby Gluckstadt in Natal geleë.

'n Onbeheerde oorloop, ongeveer 50 m wyd, en onbeklede afvoerkanaal is aan die regterflank geleë.

Ernstige erosie het in 'n gedeelte van die afvoerkanaal voorgekom (Foto C.1, Album 2, Bylae 2) en groot koste moes aangegaan word om hierdie gebied te herstel en die oorloop te beveilig het.

Kwartsiet en skalie van die Mozaan Groep, Pongola Opeenvolging, kom in hierdie gebied voor. Die afvoerkanaal word beslaan deur matig tot hoogs verweerde Dwykatilliet en hoogs verweerde intrusiewe doleriet van die Karoo Opeenvolging.

Die gradiënt van die kanaal wissel van nul tot sowat 20 grade en die vloeisnelheid neem geleidelik toe as gevolg van die verhoogde gradiënt. Die sterkte van die verweerde rots in die afvoerkanaal neem geleidelik toe met diepte en die materiaal in die bodem van die erosiesloot verteenwoordig 'n drumpelwaarde vir 'n bepaalde vloeisnelheid.

Met behulp van die boorindekstoets is vasgestel dat hierdie materiale se sterkte vergelykbaar is met die sand-kleimengsels wat vir die vloekanaaltoetse gebruik is.

D. Ida's Valleydam

Die Ida's Valleydam, wat in 1967 voltooi is, is 'n 34 m-hoë grondvuldiam met 'n kruinlengte van 310 m. Die dam is in 'n sytak van die Kromrivier naby Stellenbosch geleë. Die oorloop

teen die regterflank bestaan uit 'n geut met 'n ogee-beheerstruktuur en 'n betonbeklede kanaal met 'n wipskoep aan die einde daarvan.

Die terrein word beslaan deur moddersteen en tussengelaagde sandsteen van die Franschhoek Formasie, Malmesbury Groep, wat omring word deur die Stellenbosch pluton (Kaap Granietsuite), wat weer op sy beurt aan die noordekant deur die Saldanha-Franschoek-verskuiwingsone begrens word. Verskeie verskuiwings en skuifskurones wat subparallel met die hoofverskuiwing strek, kom ook by die damterrein voor. Die wipskoep dissipeer die energie van die water en laat dit op hoogs verweerde graniet val. Waar die water op die verweerde graniet val, vind grootskaalse erosie plaas as gevolg van die lae kohesie van die rotsmateriaal.

E. Koos Raubenheimerdam

Die Koos Raubenheimerdam, wat in 1971 voltooi is, is 'n 38 m-hoë grondvuldam met 'n kruinlengte van 235 m. Die dam is in die Klein Le Rouxrivier, ongeveer 30 km noordnoordoos van Oudtshoorn geleë.

Die dam het 'n tregteroorloop met uitlaattoonnel deur die wal en 'n onbeheerde oorloop met onbeklede afvoerkanaal as hulpoorloop (Foto E.1, Album 2, Bylae 2) teen die regterflank. Die kanaal is ongeveer 45 m breed en 80 m lank. Die kanaal word beslaan deur sandsteen, kalksteen en skalie van die Matjiesrivier Formasie, Kango Subgroep. Die rots is effens tot matig verweer, plek-plek dig genaai en baie sag.

Op sommige plekke in die afvoerkanaal is voorkomende aksies geneem deur beton op hoogs erodeerbare punte te plaas. Daar het nog feitlik geen erosie plaasgevind nie aangesien die gebied aan min of geen vloedwater nie blootgestel was.

F. Melvilledam

Die Melvilledam, wat in 1942 voltooi is, is 'n 25 m-hoë grondvuldam met 'n kruinlengte van 120 m. Dit voorsien water aan Oudtshoorn vir huishoudelike gebruik. Die dam is in die Klein Le Rouxrivier, 30 km noord van Oudtshoorn geleë. Die oorloop is 'n onbeheerde onbeklede kanaal wat in rots langs die regterflank van die dam gekerf is. Die kanaal is ongeveer 120 m lank. Die oorloopkruin is van beton en die vloer van die kanaal is vir ongeveer 30 m bekleed.

Die terrein word beslaan deur veldspatiese sandsteen, sliestein en moddersteen van die Groenfontein en Matjiesrivier Formasies, Kango Groep.

Erosie kom slegs in die veldspatiese sandsteen aan die einde van die kanaal voor (Foto F.1, Album 2, Bylae 2). Hier is die gelaagdheid parallel met die vloeirigting en waterdruk veroorsaak dat die rotslae progressief skei en wegspoel.

G. Nagledam

Die Nagledam is 80 km noordwes van Durban en 22 km noord van Cato Ridge in die Umgenirivier in KwaZulu geleë. Konstruksie van die dam het in 1939 begin en is in 1950 voltooi. Die hoofdam is 'n betonswaartekragwal wat 393 m lank en 58 m hoog is. Die wal het 'n ogee-tipe oorloop wat 122 m wyd is. Stroomverdelers kom op die stroomaf kant van die oorloop voor. 'n Komvormige skortgebied beskerm die toon van die dam teen erosie.

Die vloedomleidingstrukture bestaan uit 'n stuwal, beheerhekke en 'n onbeklede kanaal. Met hierdie strukture kan 'n vloed afgekeer word sodat slikbelaaide water nie in die hoofdam vloei nie.

Die rotsbodem van die vloedbeheerkanaal bestaan uit onverweerde grys gebande hornblende-biotietgneis van die Mapumulo Groep (Foto G.1, Album 2, Bylae 2).

Die rots toon wyd gespaseerde nate wat baie geslote is en min tot geen naatvulmateriaal bevat. Die nate het subvertikale tot vertikale hellings wat die binnedring van water en uitwas van vulmateriaal bemoeilik. Onreëlmatighede in die rots is met beton gevul en gelyk gemaak.

Slegs kleinskaalse erosie het in die vloedbeheerkanaal plaasgevind. Die volgende faktore is daarvoor verantwoordelik dat so min erosie plaasgevind het:

- 1) Goeie onverweerde rots
- 2) Digtheid van die nate
- 3) Wyd gespaseerde nate
- 4) Min tot geen naatvulmateriaal
- 5) Vlak helling van vloer
- 6) Gunstige oriëntasie van nate
- 7) Onreëlmatighede met beton gevul en gelyk gemaak

H. Nuwebergdam

Die Nuwebergdam, wat in 1972 voltooi is, is 'n 23 m-hoë grondvuldam met 'n kruinlengte van 762 m. Die dam is in die Palmietrivier naby Grabouw geleë. 'n Onbeheerde oorloop en onbeklede afvoerkanaal kom aan die regterflank van die dam voor (Foto H.1, Album 2, Bylae 2). Die kanaal is 26,4 m breed. Die linker- en regterflank van die dam word deur gesteentes

van die Peninsula Sandsteenformasie, Tafelberg Groep, beslaan. Die sentrale deel van die dam is op moddersteen van die Cedarberg Formasie, Tafelberg Groep, gebou.

Die rots in die oorloop is 'n rooibruin kwartsitiese sandsteen wat wissel van grofkorrelrig tot fynkorrelrig. Kwartsare kom algemeen in die gesteente voor wat aandui dat die oorloopgebied in 'n verskuiwingsone geleë is. Die rots is matig tot dig genaat maar die nate is geslote.

Slegs geringe erosie het plaasgevind omdat die nate dig is en waterdruk nie rotsblokke kan uitlig en verwyder nie.

I. Boonste Steenbrasdam

Die Boonste Steenbrasdam, wat in 1977 voltooi is, is 'n 34 m-hoë grondvuldam met 'n kruinlengte van 940 m. Die dam is in die Steenbrasrivier in die Hottentots-Hollandberge bo Gordonsbaai geleë. 'n Onbeheerde oorloop met onbeklede afvoerkanaal wat 70 m wyd is, is aan die linkerflank geleë (Foto I.1, Album 2, Bylae 2).

Die kanaal word beslaan deur sandsteen van die Nardouw Formasie. Aan die onderpunt van die oorloop kom skalie en sliksteen van die Bokkeveld Groep voor.

Die gesteentes van die Nardouw Formasie wissel van dun gebande sandsteen tot massiewe kwartsiet. Kruisgelaagdheid kom in die gesteentes voor. Die rots is dig genaat en kubiese rotsblokke word gevorm. Al die nate hel tussen 45° en vertikaal. Die gelaagdheid hel 45° stroomaf met skalie en/of kaoliniet as vulmateriaal tussen die naatvlakke.

Die kanaal is uitgegrawe tot teenaan goeie kwaliteit rots en min erosie het voorgekom.

J. Laer Steenbrasdam

Die Laer Steenbrasdam is 'n 28 m-hoë geboë swaartekragdam met 'n kruinlengte van 412 m (Foto J.1, Album 2, Bylae 2). Die dam is in die Steenbrasrivier in die Hottentots-Hollandberge bo Gordonsbaai, en net stroomaf van die Boonste Steenbrasdam geleë. Die dam is oorspronklik in 1921 voltooi en in 1927 is die wal met 12,27 m en weer in 1954 met 1,98 m verhoog.

Die terrein word beslaan deur intens geplooië en genate sandsteen van die Nardouw Formasie.

Die oorloop is 'n onbeheerde oorvloeioorloop wat 67,7 m wyd is en water na 'n betonbeklede skort afvoer. Tydens die verhoging van die damwal in 1927, is die skort gebou om erosie te voorkom.

Stroomaf van die skort kom effens verweerde, sterk rots met dig gaspasieerde nate voor. Geen erosie het plaasgevind nie, hoofsaaklik vanweë die digte aard van die nate.

1.2 Damoorlope waarvoor daar vloeidata beskikbaar is

Besonderhede oor die name van damme, tipes en afmetings van oorlope en tempo's en datums van piekvloei word in Tabel 1.2 gelys.

Hierdie terreine is volledig ondersoek en beskryf in terme van die tipe en afmetings van die struktuur, die geologie en detailbeskrywing van rotsmassaparameters, die graad van erosie en die topografie.

1.2.1 Algemene beskrywing van die strukture, die geologie en aard van erosie by oorlope

Besonderhede oor spesifieke erosiepunte word in paragraaf 1.2.2 met gepaardgaande fotoreeks weergegee.

1. Applethwaitedam

Applethwaitedam is 'n 22 m-hoë beton boogdam wat 6 km suidwes van Grabouw in die Palmietrivier geleë is (Foto 1.1, Album 3, Bylae 2). Die dam is in 1952 voltooi. Die onbeheerde oorloop met onbeklede afvoerkanaal is aan die linkerflank geleë (Figuur 1.1 en Foto 1.2, Album 2, Bylae 2). Daar is 'n hulpoorloop oor die kruin van die wal.

Die afvoerkanaal word beslaan deur kwartsitiese sandsteen en skalie van die Tafelberg Groep. Nate en verskuiwingsones kom algemeen in die oorloopkanaal voor.

Erosiepunt 1 (Foto 1-E1, Album 5, Bylae 2) is gekies waar matige erosie teen die steil helling stroomaf van die voetbrug voorgekom het. Daar vind vloei langs 'n verskuiwingsone plaas en die gelaagdheid hel stroomop.

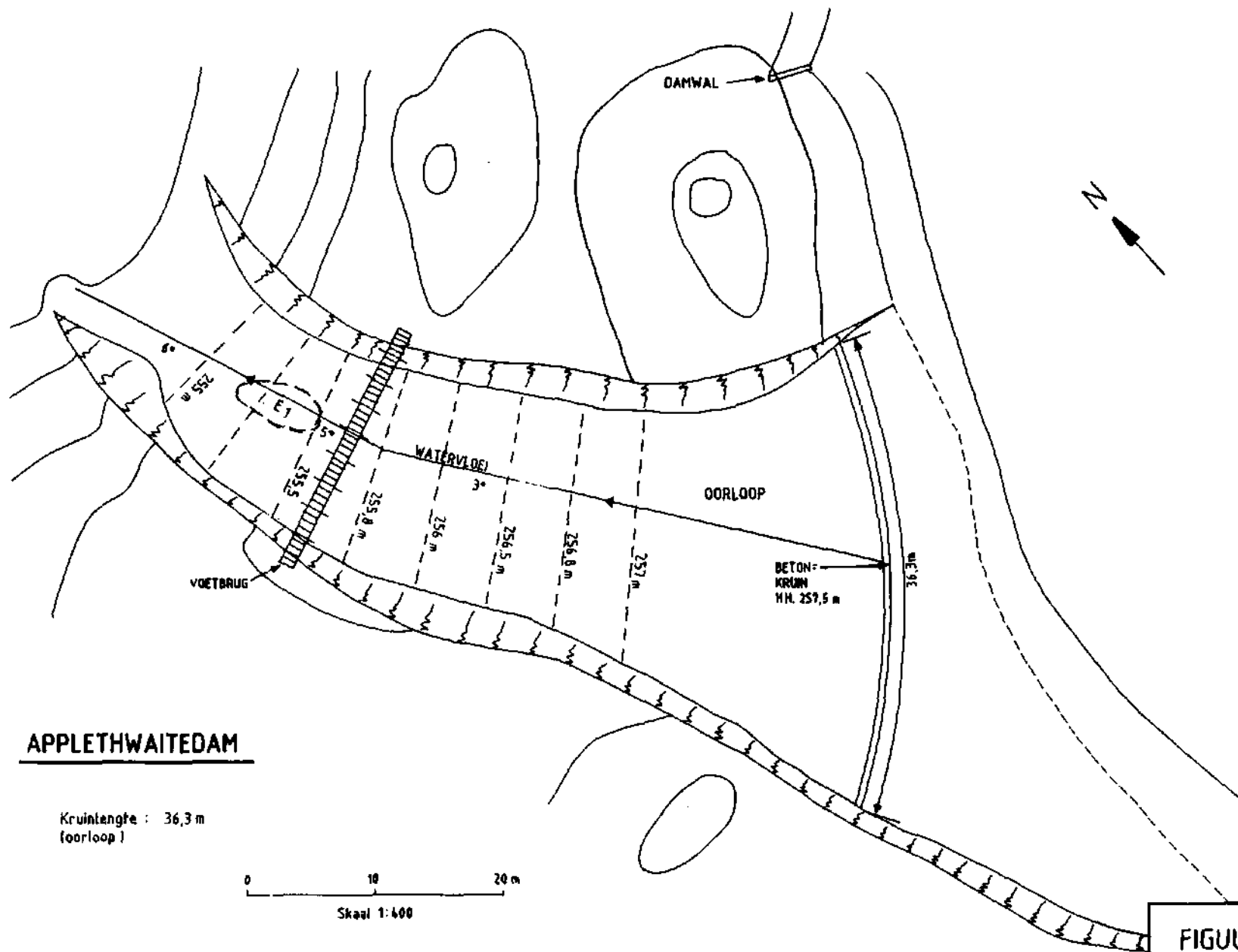
Nate is by die erosiepunt opgemeet en word op die stereografiese projeksie (Figuur 1.2) aangetoon.

Tabel 1.2 - Besonderhede oor oorlope waar vloedata beskikbaar is

Nr.	Damnaam	Tipe oorloop	Wydte en valhoogte	Piekvloei (m ³ /s)	Piekvloei (datum)
1	Applethwaitedam	Kanaal	36,3	762	Bereken (Aanh. A)
2	Bellaïrdam	Kanaal	60	144	12/02/81 Bereken
3	Bridle Driftdam	Ogee met kanaal	107,4	2 200	02/11/85
4	Craigie Burndam	Vryval	122 35	367	29/09/87
5	Floriskraaldam	Ogee met kanaal	61	4 620	25/01/81
6	Gankapoortdam	Ogee met wipskoep	101	3 111	26/03/81
7	Goedertrouwdam	Ogee, wip en kanaal	160	590	29/09/87
8	Hans Strydomdam	Kanaal	200	82,3	07/02/81
9	Hartebeespoortdam	Ogee met kanaal	127	1 046 825	04/02/44 28/02/78
10	Kammanassiedam	Kanaal	199	2 471 936	01/01/32 30/05/81
11	Katrivierdam	Vryval	120 38	115	06/12/85
12	Klipfonteindam	Kanaal	101	980	31/01/84
13	Marico Bosveldam	Saagtand, ogee, kanaal	166	138 417	04/02/44 20/03/76
14	Mzikidam	Kanaal	33	150	Bereken (Aanh. A)
15	Prinsrivierdam	Ogee met kanaal	107	1 030	25/01/81
16	Roodeplaatdam	Vryval	143 49	1 151	28/01/78
17	Tuinroetedam	Ogee met kanaal	26	54	30/10/85
18	Wagendriftdam	Vryval	103 32	687	29/09/87

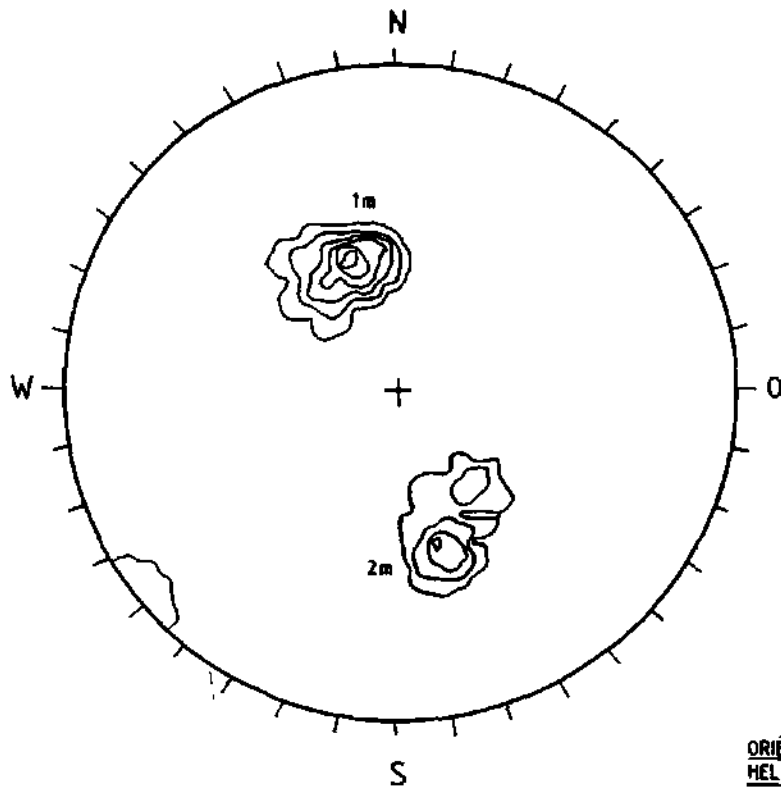
2. Bellaïrdam

Bellaïrdam (Foto 2.1, Album 3, Bylae 2) is ongeveer 50 km noordoos van Montagu geleë. Dit het 'n onbeheerde oorloop en onbeklede afvoerkanaal oor 'n nek aan die linkerflank (Foto 2.2, Album 3, Bylae 2). Die kanaal is 60 m breed met 'n keermuur aan die linkerkant.



FIGUUR 1.1

APPLETHWAITEDAM

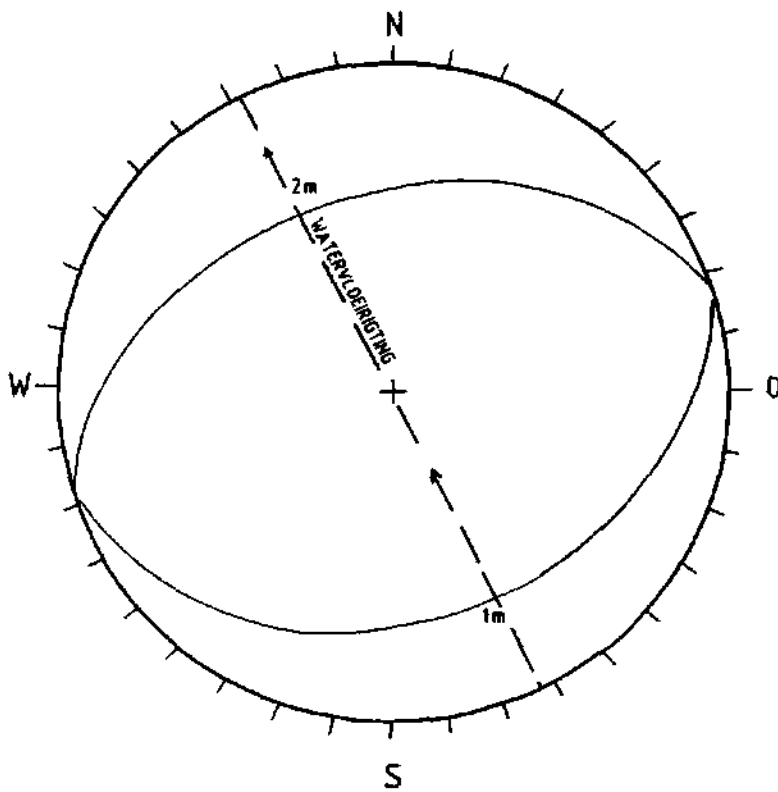


ORIENTASIES
HELLING/HELIGTING

1m 32° / 163°

2m 42° / 342°

2S POLE



PRIMÊRE NAATSTELLE

FIGUUR 1.2

Figuur 2.1 is 'n algemene sketsplan en 'n lengtesnit van die oorloopkanaal waarop drie erosiepunte aangedui word.

Stroomaf van die beheerstruktuur styg die kanaal vir sowat 60 m voordat dit teen 'n gemiddelde helling van sowat 3 grade daal.

Die terrein word beslaan deur skalie, sliksteen en sandsteen van die Bokkeveld Groep en Kaap Supergroep. Die gesteentes in die oorloop word op plekke bedek deur kolluvium wat gedeeltelik veryster is. Waar die gesteente wel dagsoom, is dit intens verbrokkel en gefolieer. Prominente subvertikale nate kan ook waargeneem word. As daar dwars oor die nate met 'n geologiese hamer geskraap word, breek klein brokstukke van 1 tot 2 cm los.

Die sliksteen is horisontaal gelaag en bevat subvertikale nate. Die oriëntasie van die laagvlakke en nate veroorsaak dat die sliksteen in ongeveer kubiese rotsblokke van $\pm 0,50$ m-grootte, opgebreek word. In sommige plekke is die gesteente intens gebreksieer. Die gebreksieerde sones kan maklik met 'n geologiese pik losgebreek word.

By Erosiepunt 1 (Foto 2-E1, Album 5, Bylae 2) is die sandsteen effens tot matig verweer en kom dig gespaseerde subvertikale nate voor. Die nate is geslote en feitlik geen erosie het plaasgevind nie.

Erosiepunt 2 (Foto 2-E2, Album 5, Bylae 2) kom op matig verweerde skalie en sliksteen met dig gespaseerde nate voor. Matige erosie het plaasgevind as gevolg van waterindringing in nate en verwydering van klein rotsblokkies.

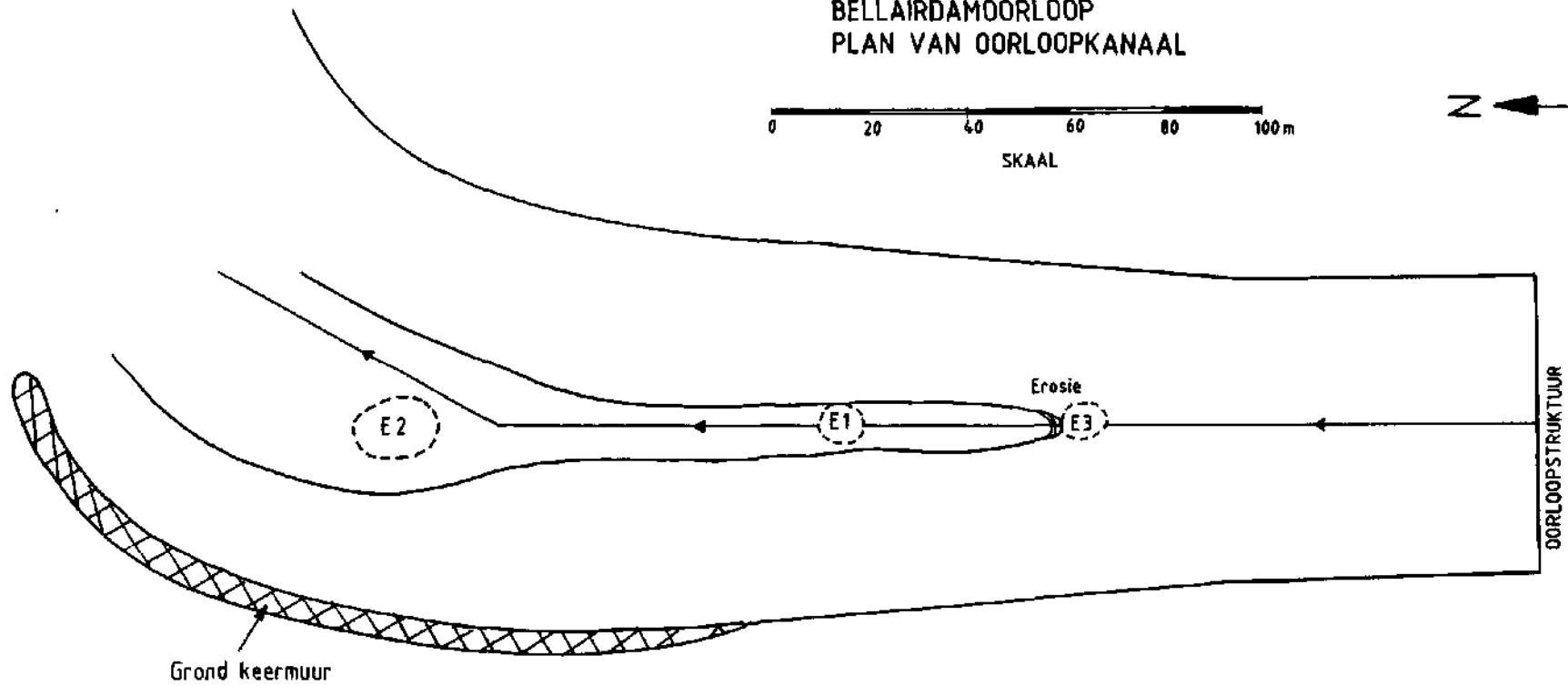
3. Bridledriftdam

Bridledriftdam is 17 km noordwes van Oos-Londen in die Buffelsrivier geleë. Dit is 'n 55 m-hoë rotsvuldams wat in 1969 voltooi is (Foto 3.1, Album 3, Bylae 2). Die wal is in 1970 en weer in 1985 met altesaam 4,5 m verhoog. Figuur 3.1 toon 'n algemene plan van die damwal, die onbeheerde oorloop en die onbeklede afvoerkanaal.

Gedurende die 1985-verhoging is 'n 6 m-hoë ogee-oorloopstruktuur met 'n wipskoep aan die regterflank gebou (Foto's 3.2 en 3.3, Album 3, Bylae 2). Die afvoerkanaal is 110 m wyd aan die stroomop kant, verminder tot 20 m en raak dan weer wyer verder stroomaf.

Die kanaal is in Karoo-doleriet uitgegrawe. Die meeste van hierdie rots is vir damkonstruksie gebruik. Rotsstortings wat met swak sones in dig genate en verweerde rots geassosieer kan

BELLAI RDAMOORLOOP
PLAN VAN OORLOOPKANAAL



LENGTESNIT VAN OORLOOPKANAAL



FIGUUR 2.1

word, het kort na voltooiing langs die kante van die kanaal voorgekom.

'n Opname van die hele vloer van die kanaal is in 1970 deur die Munisipaliteit van Oos-Londen gedoen. 'n Kontouerplan is saamgestel en 'n lengtesnit deur die hele kanaal is geteken sodat dit met die oorspronklike ontwerplengtesnit en met toekomstige lengtesnitte vergelyk kan word. Figuur 3.2 is 'n weergawe van die 1985-lengtesnit wat ook die posisies van die erosiepunte aandui.

'n Fotografiese opname van die vertikale kanaalkante en -vloer met kontoerintervalle van 10 m is deur die Munisipaliteit van Oos-Londen onderneem.

By Erosiepunt 1 (Foto 3-E1, Album 5, Bylae 2) kom daar baie min erosie in effens verweerde doleriet met matig gespasiëerde geslote nate voor.

By Erosiepunt 2 (Foto 3-E2, Album 5, Bylae 2) kom matig verweerde, matig tot dig genate doleriet voor en daar het matige erosie voorgekom deurdat water die nate kon binnedring en rotsblokke van verskillende groottes kon verwyder.

By Erosiepunt 3 (Foto 3-E3, Album 5, Bylae 2) is die doleriet matig tot hoogs verweer en bevat matig tot dig gespasiëerde gevulde nate. Ernstige erosie het plaasgevind omdat die kleierige sliksaatsvulling tussen rotsblokke uitgespoel is en die rotsblokke daardeur maklik verwyder kon word.

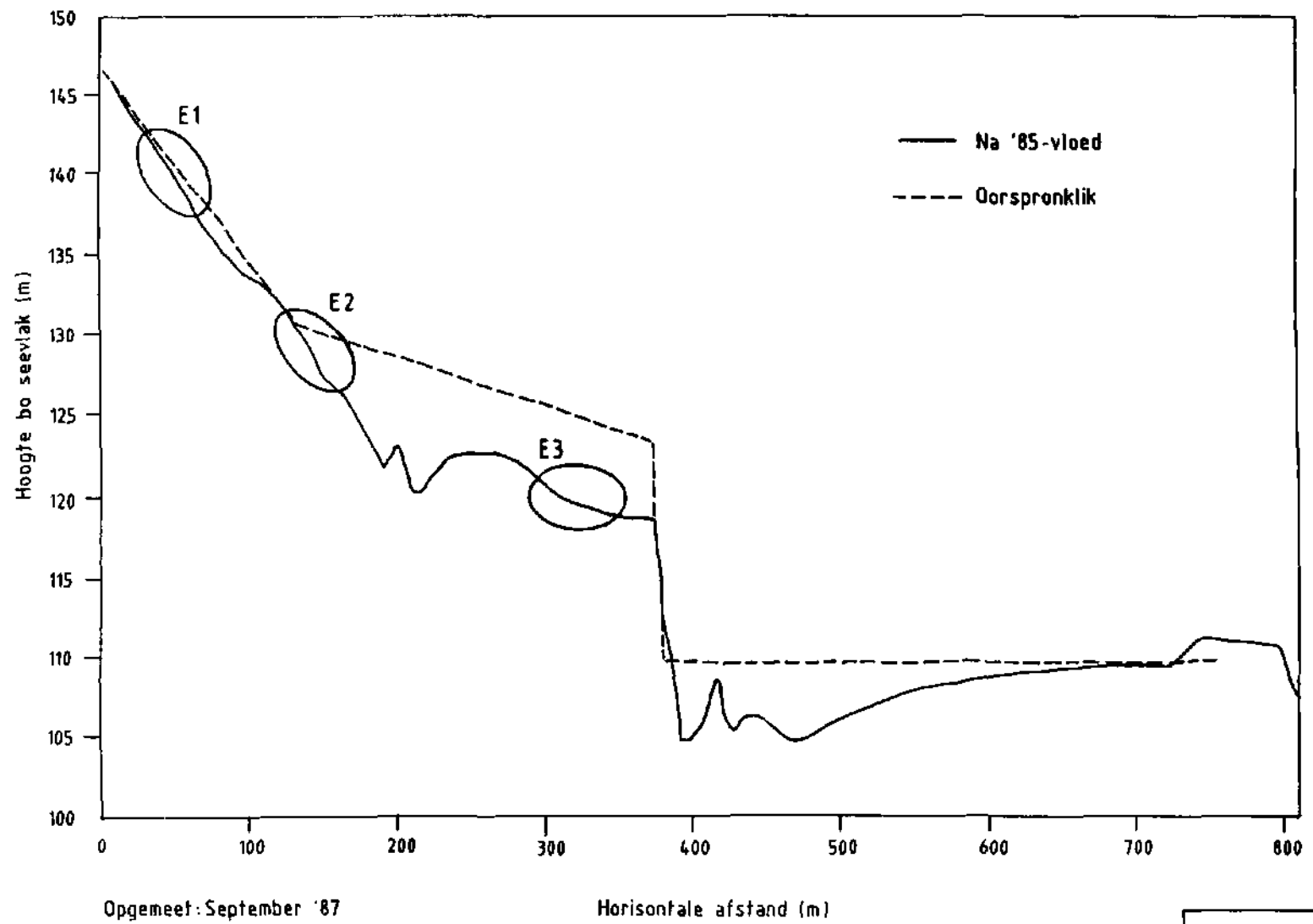
4. Craigie Burndam

Craigie Burndam is 'n 39 m-hoë dubbelboogdam wat 29 km oos van Mooirivier in die Mnyamvuburivier geleë is (Foto 4.1, Album 4, Bylae 2). Die dam wat in 1963 voltooi is, het 'n vryvaloorloop met onbelynde skort. Figuur 4.1 is 'n algemene plan van die damwal wat ook Erosiepunt 1 aandui. Figuur 4.2 toon 'n snit deur die oorloop.

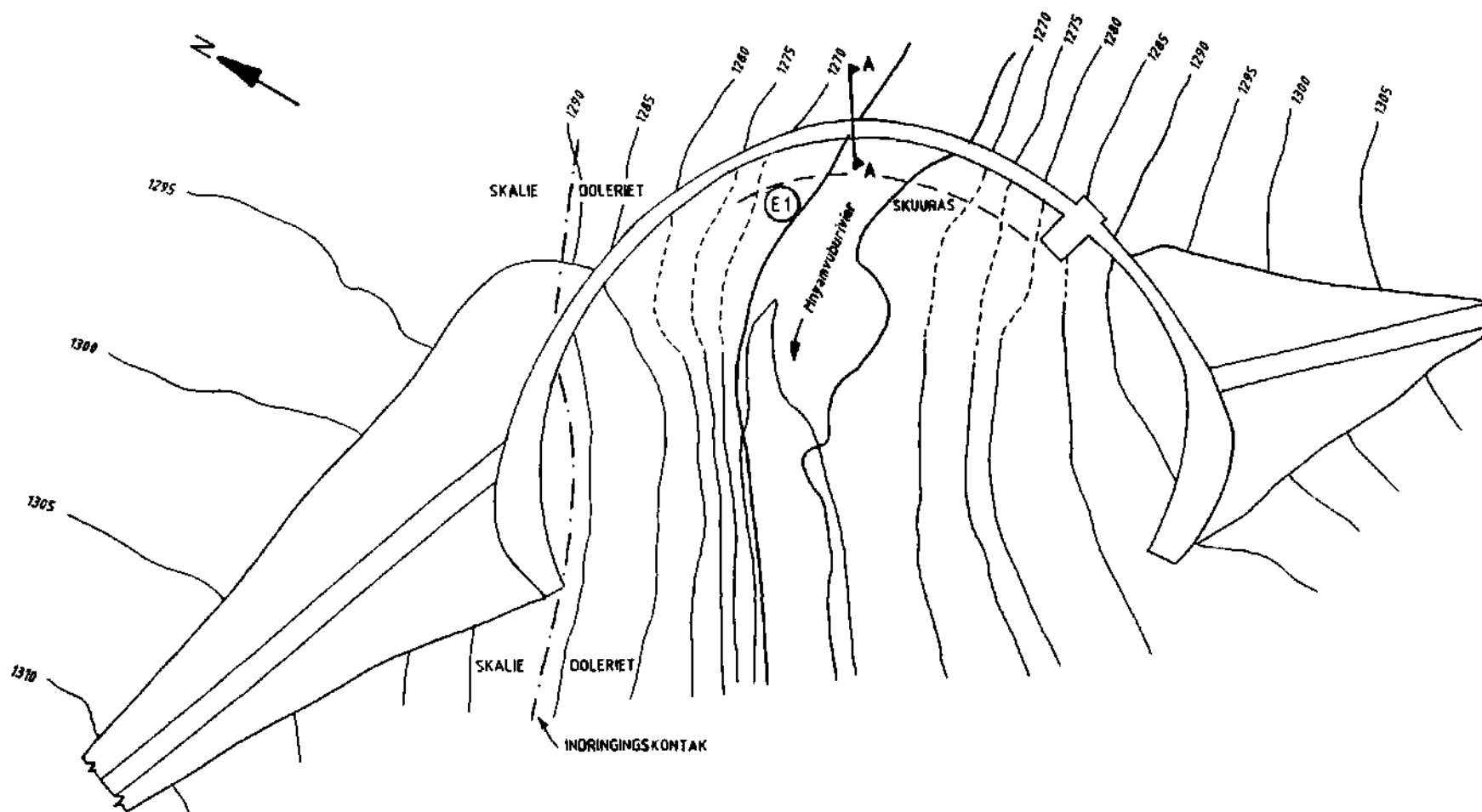
Die skortgebied word deur doleriet beslaan. Drie prominente subvertikale naatstelle en een subhorisontale naatstel kom voor. Die naatspasiëring wissel tussen 150 en 600 mm, en die naatskeiding wissel tussen nul en 20 mm. Die naatwande is effens ru en golwend en gevlek, en die nate bevat soms sanderige klei.

Foto 4.2 (Album 3, Bylae 2) toon die matige erosie wat tydens die 1987-vloede plaasgevind het. Sedertdien is die nate in die rots met mortel gevul en die rots is vasgeanker (Foto 4.3, Album 3, Bylae 2).

BRIDLEDRIFTDAM-AFVOERKANAAL



FIGUUR 3.2

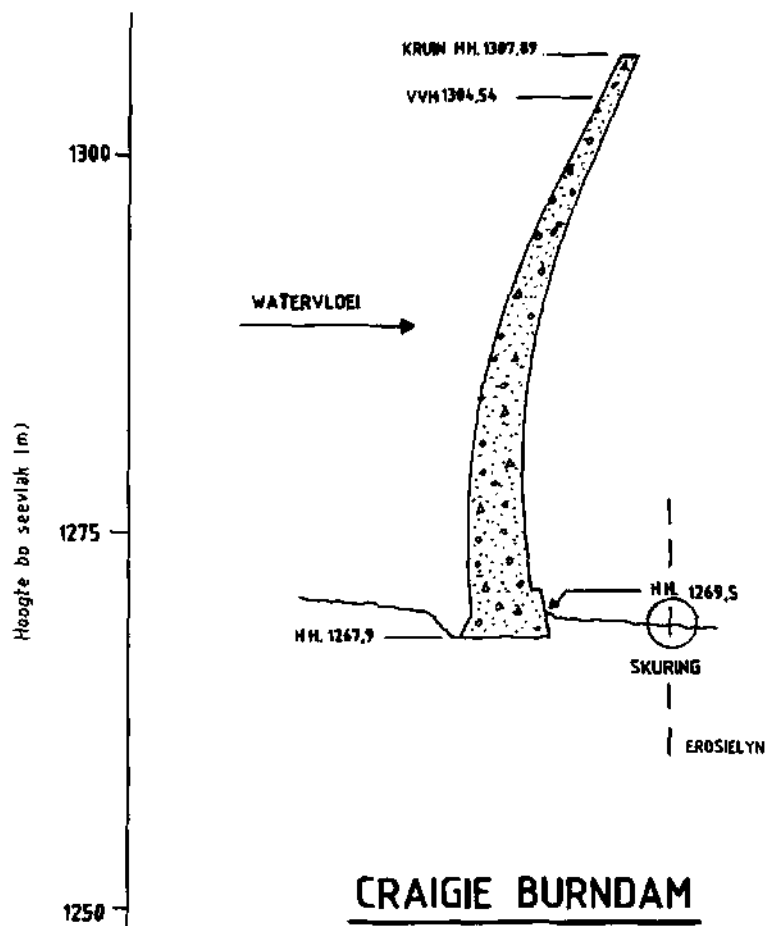


ALGEMENE PLAN VAN CRAIGIE BURNDAM

A - A Snit deur damwal
 Plan nie volgens skaal nie
 Kontoure in meter

FIGUUR 4.1

SNIT A-A



CRAIGIE BURNDAM

Maks. uitvloeï : 367 m³/s (1987)

Kruinlengte

(oorloop) : 121,92 m

0 10 20 m
Skaal 1:500

FIGUUR 4.2

Erosiepunt 1 (Foto 4-E1, Album 5, Bylae 2) is laag teen die regterflank op matig verweerde, matig tot dig genate doleriet geleë. Matige erosie het plaasgevind deurdat water onder druk die nate binnegedring en beweging van rotsblokke veroorsaak het.

5. Floriskraaldam

Die Floriskraaldam (Foto 5.1, Album 4, Bylae 2) is in die Buffelsrivier, 33 km suidoos van Laingsburg geleë. Dit is 'n betonswaartekragdam met 'n kruinlengte van 185 m en hoogte van 32 m, en is in 1957 voltooi. Die hekbeheerde oorvloeioorloopgedeelte wat 61 m wyd is, is aan die linkerkant geleë. 'n Hulpwal van 7,8 m hoog en 62 m lank kom aan die regterflank voor. Figuur 5.1 toon die algemene plan van die damwal en hulpwal asook die erosiepunte aan. Figuur 5.2 is 'n diagram van 'n snit deur die oorloop langs die linkerflank.

Die terrein word beslaan deur kwartsitiese sandsteen met tussengelaagde skalie van die Witteberg Groep sowel as Dwykatilliet van die Karoo Opeenvolging. In die skortgebied wat grotendeels onder water was, is tillietrotsblokke van 'n paar meter in diameter opgemerk (Foto 5.2, Album 3, Bylae 2). Die groot rotsblokke is heel waarskynlik deur die vloed van 1982 uitgespoel en na hul huidige posisie vervoer.

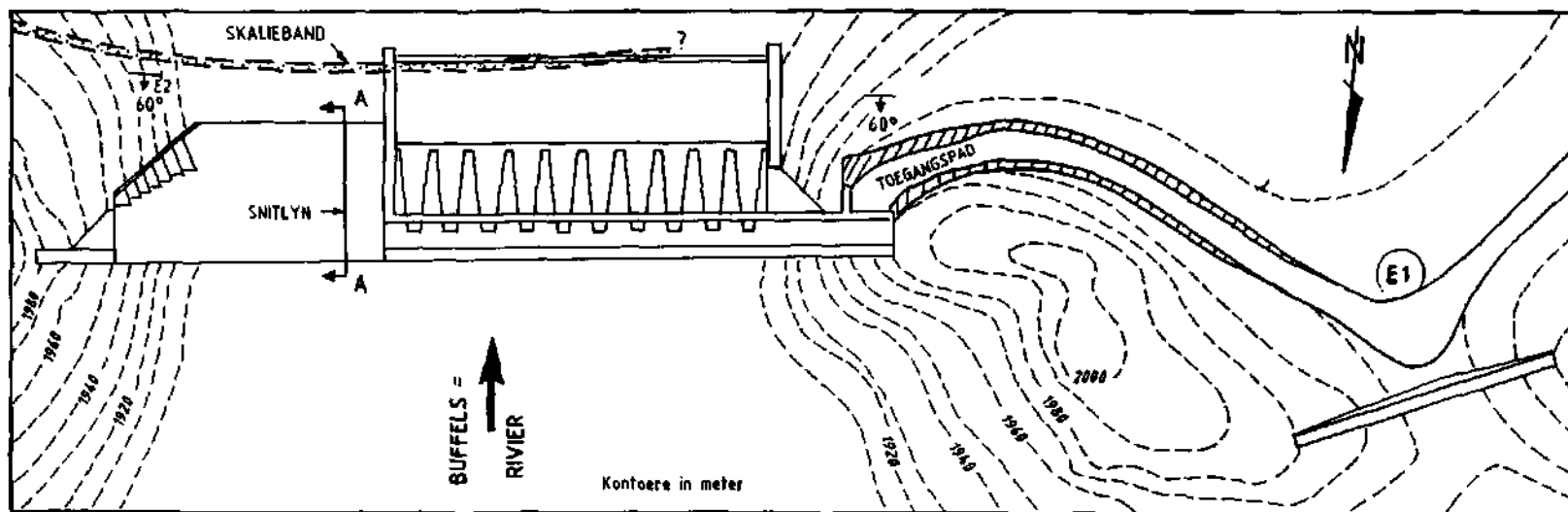
Erosiepunt 1 (Foto 5-E1, Album 5, Bylae 2) is 50 m stroomaf van die hulpwal geleë en matige erosie het ontstaan toe vloedwater oor die wal gestroom het. Die rots bestaan uit matig verweerde tilliet met 'n prominente naatstel wat teen 45 grade stroomaf hel. Water wat hierdie nate binnegedring het, het veroorsaak dat plaatvormige blokke opgelig en verwyder is.

Erosiepunt 2 (Foto 5-E2, Album 5, Bylae 2) wat teen die linkerflank geleë is, verteenwoordig die materiaal wat uit die skortgebied verwyder is. Die skortgebied self was onder water en kon nie ondersoek word nie. Ernstige erosie het hier voorgekom.

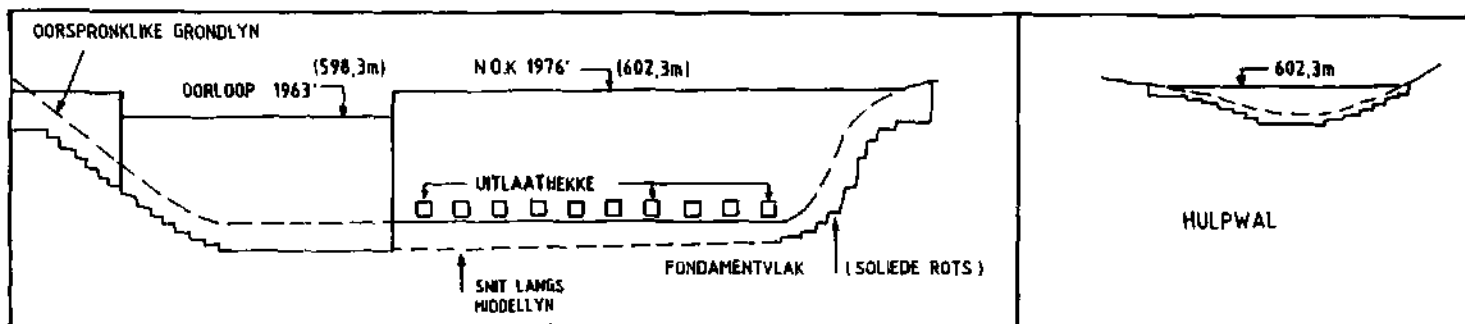
Die gelaagdheid van die tilliet hel suidwaarts (stroomaf) teen ± 35 grade. Drie ander naatstelle kom voor en die gemiddelde spasiëring van die nate is ongeveer 0,5 m. Verwering het langs die nate voorgekom en naby die grondoppervlak is die nate oop of met slikerige materiaal gevul. Figuur 5.3 illustreer die meganisme van erosie.

6. Gamkapoortdam

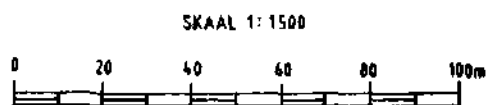
Gamkapoortdam (Foto 6.1, Album 4, Bylae 2) is 'n betonswaartekragdam wat 40 km wes van Prins Albert in die



ALGEMENE PLAN



NOK: NIE OORLOOP KRUIN

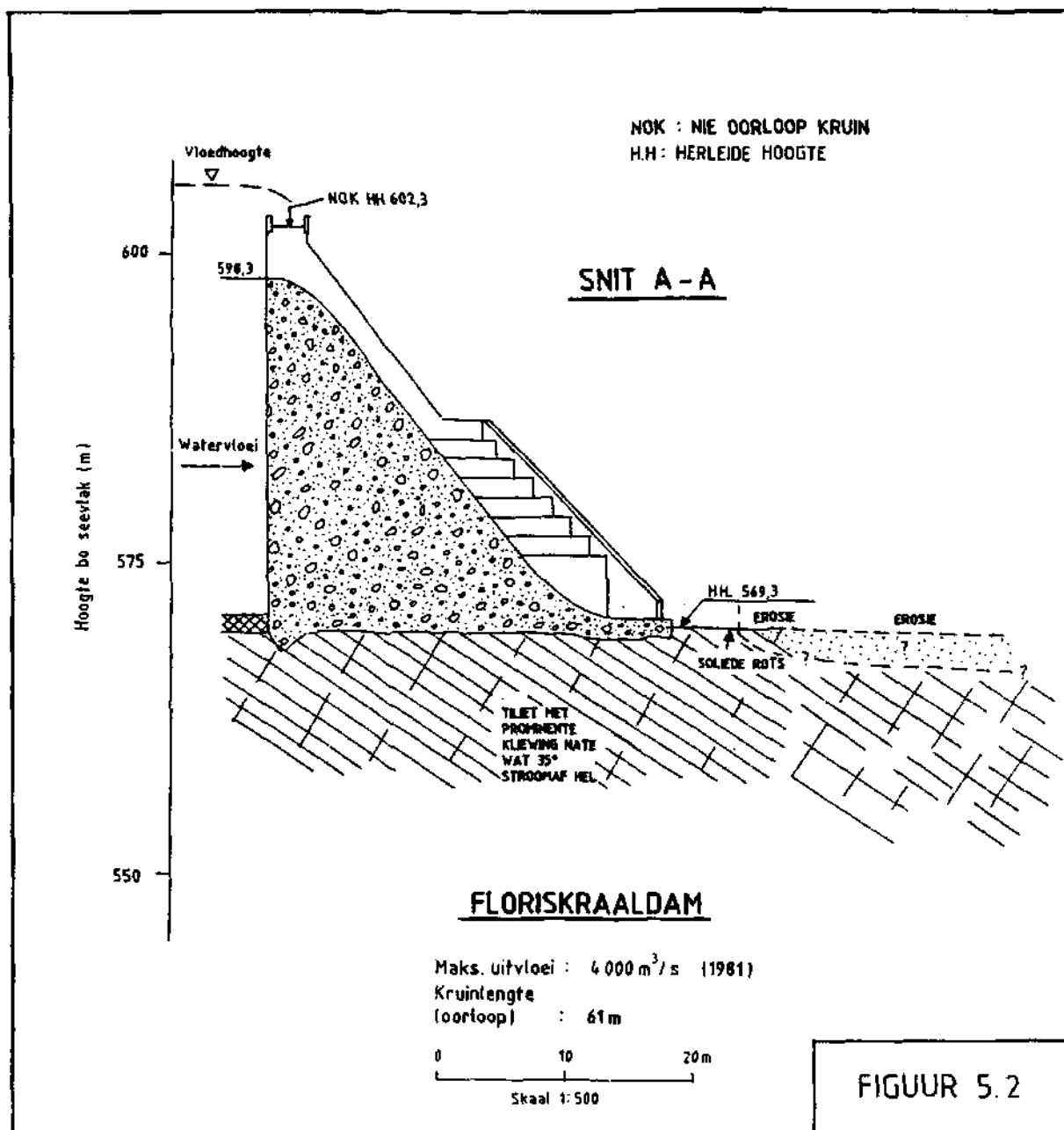


Kontoele in meter

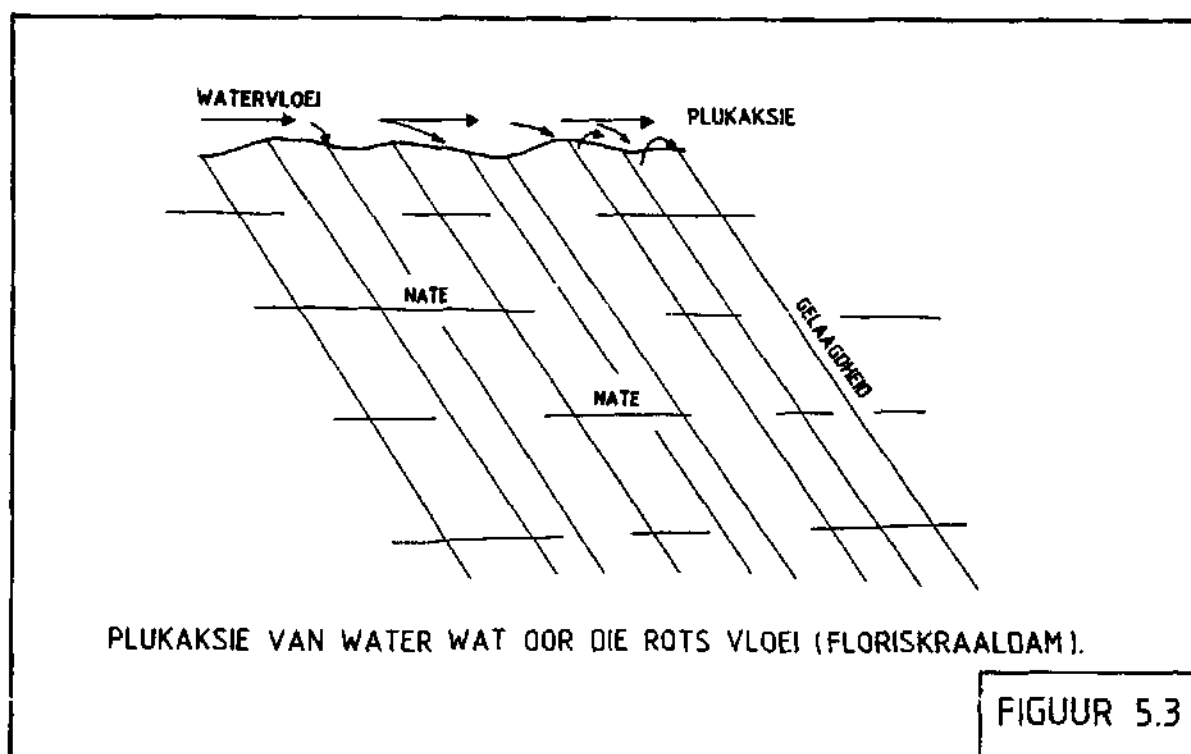
FLORISKRAALDAM

A-A Snit deur damwal (kyk Fig.5.2)

FIGUUR 5.1



FIGUUR 5.2



FIGUUR 5.3

Gamkarivier geleë is. Die dam is in 1969 voltooi. Figuur 6.1 toon die algemene plan van die damwal en dui ook die erosiepunt aan. Die dam het 'n kruinlengte van 213 m en is 43 m hoog bo fondamentvlak.

Die onbeheerde ogee-oorloop is 100,6 m breed en het 'n dubbelwipskoepstruktuur aan die linkerflank om energie te dissipeer (Figuur 6.2). Die oorvloeiwater val gedeeltelik op die betonskort en gedeeltelik op rots. Vier groot radiale hekke in die nie-oorloopgedeelte van die wal dien as vloed- en sliksuiter. 'n Betonskort kom stroomaf van hierdie strukture voor.

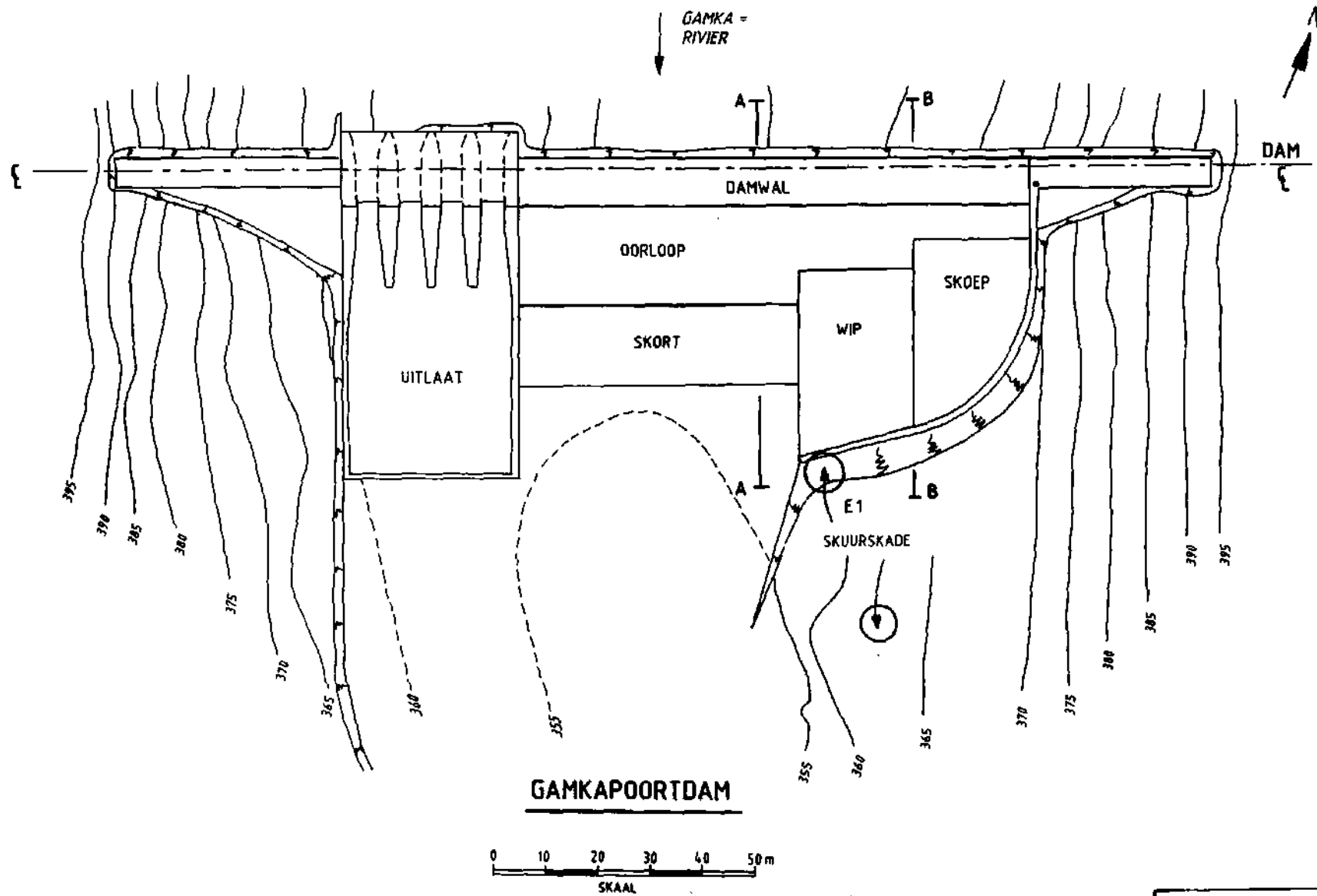
Die terrein word beslaan deur kwartsitiese sandsteen van die Tafelberg Groep, Kaap Supergroep, en is geleë op die noordelike flank van 'n groot antiklien. Die gemiddelde helling van die rots is sowat 30 grade stroomop. Kruisgelaagdheid asook gelaagdheid is goed ontwikkel. Dun bande van kleierige sandsteen kom tussengelaag met die kwartsitiese sandsteen voor. Hierdie materiaal is hard indien dit vars is, maar sag en maklik erodeerbaar wanneer dit verweer en nat is. Die rots is gebreksieer as gevolg van tektoniese bewegings. Plooiing het tot 'n groot verskeidenheid naatstelle gelei.

Erosiepunt 1 (Foto 6-E1, Album 5, Bylae 2) is net stroomaf van die wipskoep geleë soos in Figuur 6.1 aangedui. Op Foto 6.2 (Album 3, Bylae 2) kan die ernstige erosie wat stroomaf van die wipskoep plaasgevind het, waargeneem word. Alhoewel die helling van die laagvlakke gunstig (stroomop) is, het erosie plaasgevind as gevolg van die oop nate, swak naatvulling en gebrek aan inperking aan die kant van die rivierloop.

7. Goedertrouwdam

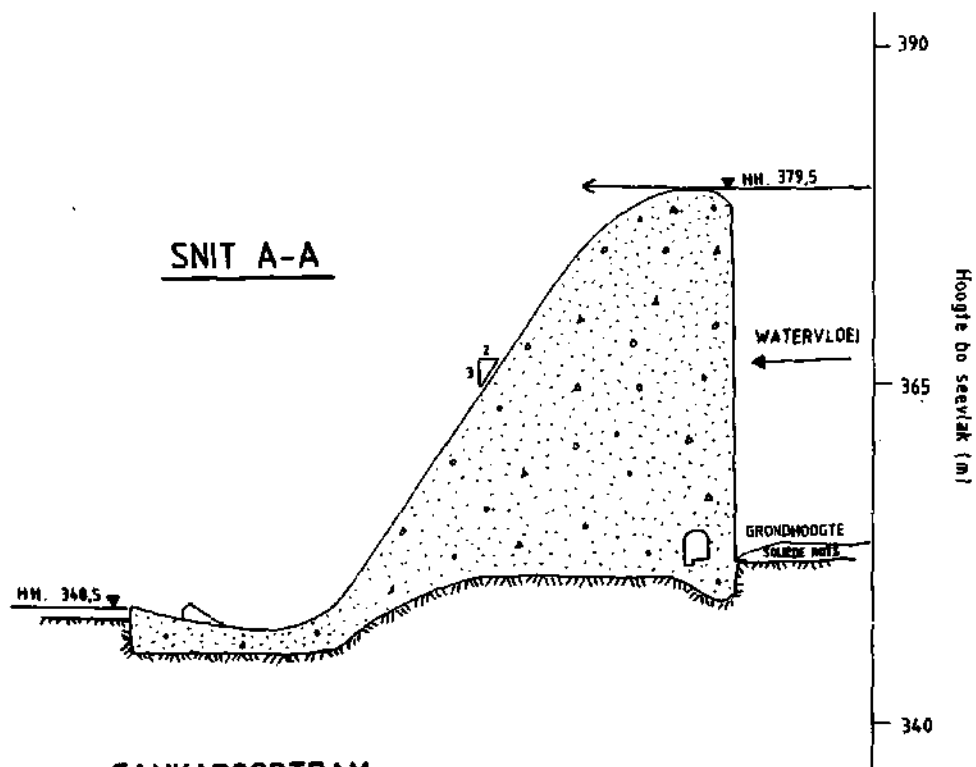
Goedertrouwdam is 'n gesoneerde grondvuldam wat 87 m hoog en 630 m lank is. Die dam is 12 km van Eshowe in die Mhlatuzerivier geleë. Dit is in 1982 voltooi. Die oorloop is in 'n nek aan die linkerflank geleë en bestaan uit 'n onbeheerde ogee struktuur met wipskoep en betonskort wat water in 'n natuurlike vallei uitlaat (Foto 7.1, Album 4, Bylae 2). Figuur 7.1 is 'n algemene plan van die damwal en oorloop waarop die vier erosiepunte aangedui word.

Die terrein word beslaan deur Dwykatilliet van die Karoo Opeenvolging. Die gesteentes het effens stroomaf ten opsigte van die oorloopstruktuur. 'n Tipiese verweringsprofiel in die vallei, stroomaf van die oorloop, sien soos volg daar uit:



Kontoure in meter
 A - A] Snitte deur damwal (kyk Fig. 6.2)
 B - B]

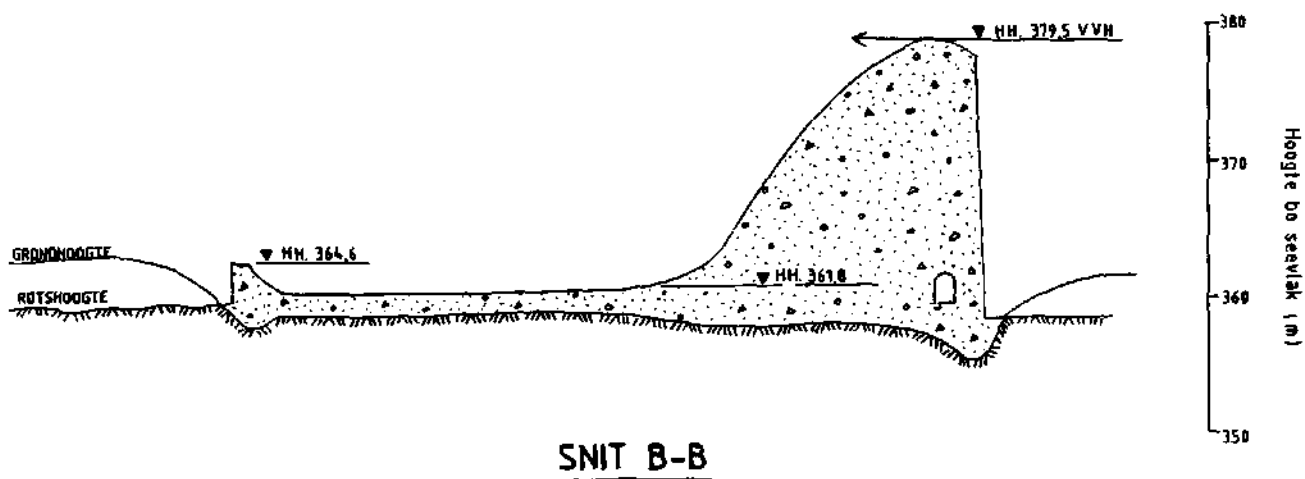
FIGUUR 6.1



GAMKAPoordAM

Maks. uitvloeï : 4620 m³/s (1981)
 Kruinlengte
 (oorloop) : 100,6 m

0 10 20 m
 Skaal 1:500



FIGUUR 6.2

- 1 - 2 m : Boggrond
- 2 - 4 m : Totaal verweerde tilliet
- 4 - 6 m : Hoogs verweerde tilliet
- 6 - 9 m : Matig verweerde tilliet
- 9 - 20 m: Effens verweerde tilliet
- > 20 m: Onverweerde tilliet

George (1984) het beraam dat 'n 1-in-20-jaar-vloed (300 kumek) al die hoogs en matig verweerde rots stroomaf van die oorloop sal verwyder. Hierdie erosie sou 'n vertikale front van middelmatig verweerde tilliet, 10 tot 15 m hoog, onderkant die wipskoep en stroomaf van die oorloop veroorsaak. Verder is daar verwag dat erosie van die onderliggende, effens verweerde rots, binne 5 tot 10 jaar sou voorkom. Hierdie erosie sou 'n totale fronthoogte van 20 m veroorsaak. Op grond van hierdie beramings is die betonskort stroomaf van die oorloop gebou (Figuur 7.2).

Die tilliet word in ongeveer reghoekige blokke opgedeel deur die volgende drie hoofnaatstelle (Figuur 7.3):

- 1. Helling 15°, rigting 075°
- 2. Helling 90°, rigting 353°
- 3. Helling 89°, rigting 267°

Tydens 'n vloed in September 1987 het 'n piekvloei van 589,5 m³ ernstige erosie stroomaf van die oorloop veroorsaak (Foto 7.1, Album 4, Bylae 2). Vir die doel van hierdie studie is vier erosiepunte gekies.

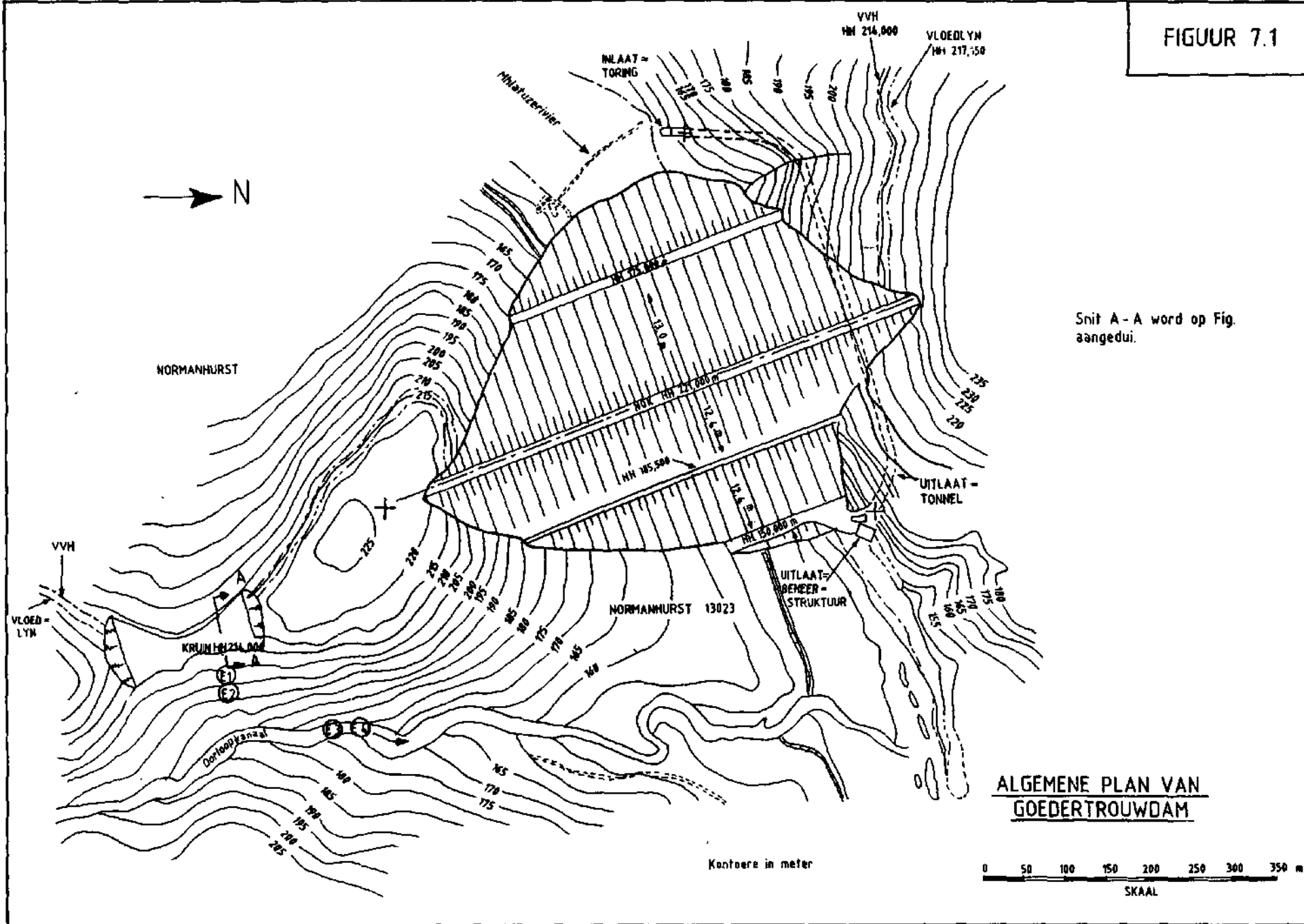
Erosiepunt 1 (Foto 7-E1, Album 5, Bylae 2) is op matig tot hoogs verweerde tilliet met wyd gespasiëerde nate wat die rotsmassa in groot rotsblokke opdeel. Matige erosie het plaasgevind deurdat water langs die nate en laagvlakke ingedring het en blokke langs laagvlakke laat afskuif het.

Erosiepunt 2 (Foto 7-E2, Album 5, Bylae 2) is geleë by hoogs verweerde tilliet met matig tot dig gespasiëerde nate. Ernstige erosie het plaasgevind omdat kleiner rotsblokke maklik stroomaf en sywaarts deur die water beweeg kon word.

Erosiepunt 3 (Foto 7-E3, Album 5, Bylae 2) word aangetref op effens verweerde, wyd genate tilliet wat agtergebly het na die vloed. Geen erosie van hierdie materiaal kon plaasvind nie omdat die nate ontoeganklik vir water is.

Die lokaliteit waar hoogs verweerde tilliet met matig tot dig gespasiëerde oop nate voorkom, is gekies vir Erosiepunt 4 (Foto 7-E4, Album 5, Bylae 2). Ernstige erosie het plaasgevind deurdat water die nate kon binnedring en die blokke langs laagvlakke kon laat beweeg het.

FIGUUR 7.1



Met behulp van spesiale lugfotografie is 'n topografiese kaart op skaal 1:500 van die oorloopgebied saamgestel. Die volume materiaal ($46\,151\text{ m}^3$) wat deur erosie verwyder is, is bereken deur hierdie kaart met ouer kaarte te vergelyk. Figuur 7.4 is 'n lengtesnit deur die oorloop wat die erosiediepte asook die posisies van die erosiepunte aandui. Rotsblokke wat deur die water meegesleur is, het ook erosie van die brugpilare veroorsaak (Foto 7.2, Album 3, Bylae 2). Rotsblokke tot $4,5\text{ m}^3$ groot is deur die water weggesleur.

As gevolg van blootstelling aan die atmosfeer het die rotsoppervlak en naatvulmateriaal sedert die vorige vloed verwerking ondergaan. Enige toekomstige vloed sal van hierdie verweerde materiaal wegspoel en met 'n groter piekvloeitempo as dié van 1987, sal grootskaalse verdere erosie kan plaasvind.

8. Hans Strydomdam

Hans Strydomdam (Foto 8.1, Album 4, Bylae 2) is 40 km suid van Ellisras in die Mogolrivier geleë. Konstruksie van dié rotsvuldam het in Januarie 1975 begin en is in Julie 1980 voltooi. Figuur 8.1 is 'n algemene plan van die dam en toon die kantoorloop aan die regterflank aan. Die dam is 530 m lank, 57 m hoog en beskik oor 'n afvoerkanaal aan die regterflank. Figuur 8.2 toon die onbeheerde oorloopstruktuur.

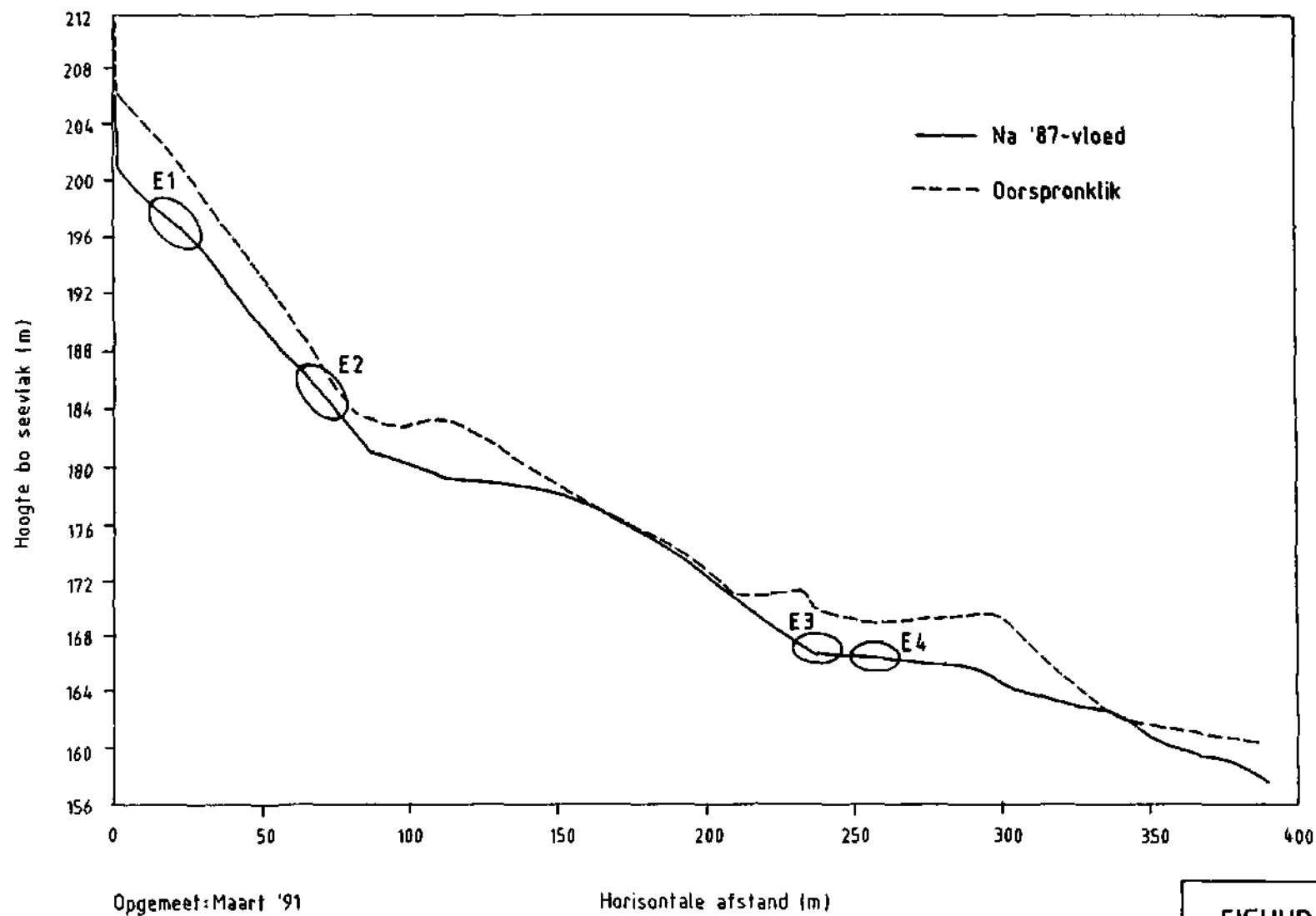
Die terrein word beslaan deur gesteentes van die Cleremont Sandsteenformasie en Sandriviersberg Sandsteenformasie van die Kransberg Subgroep, Waterberg Groep. Die sandsteen het tussengelaagde skalielae wat 10-100 mm dik is.

Die sandsteen is matig tot wyd genaai en is amper horisontaal gelaagd. Verskeie verskuiwings kruis die kanaal.

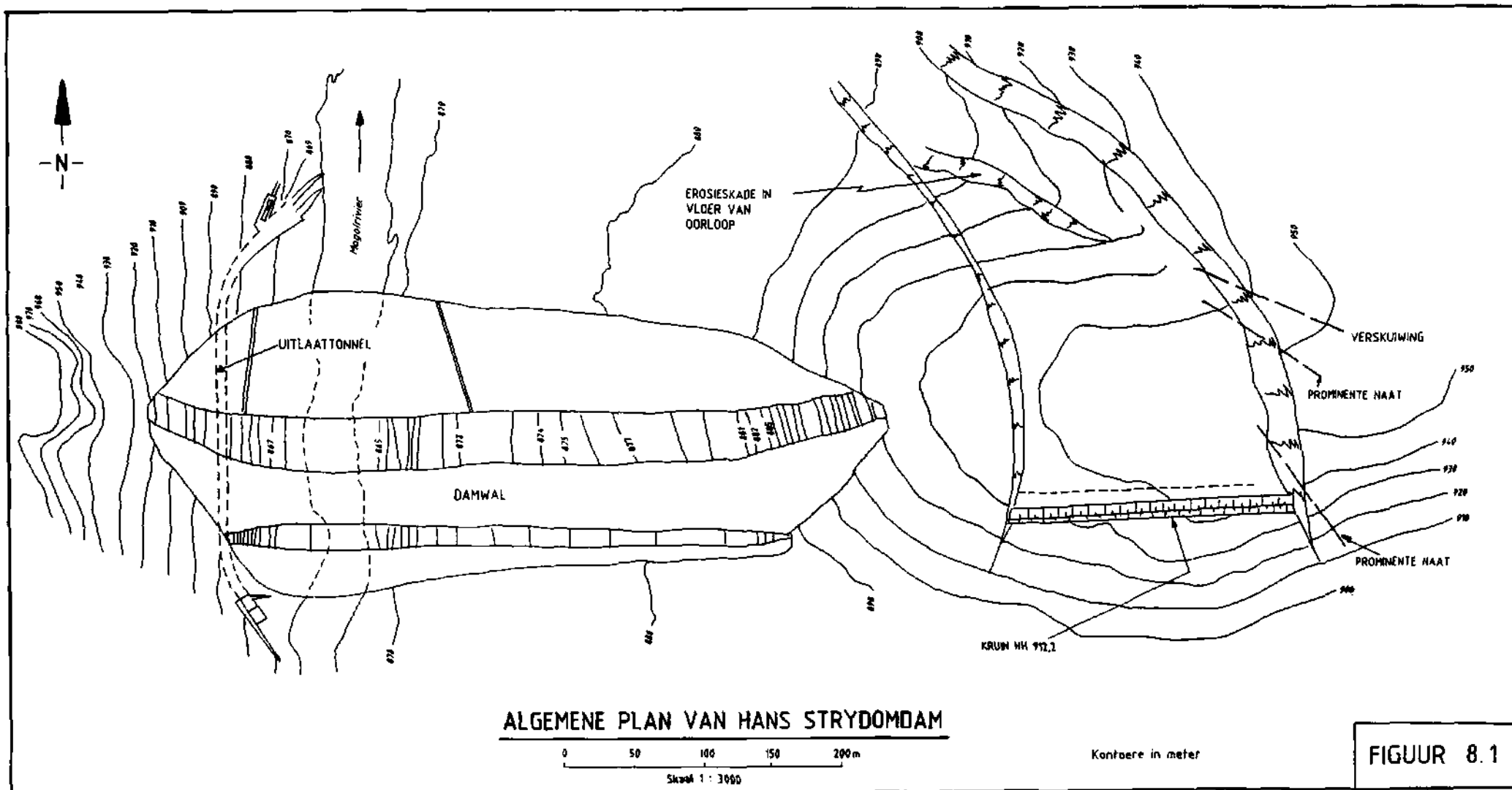
Ernstige erosie het tydens die eerste klein watervloei gedurende 1981 ontstaan (Foto 8.2, Album 3, Bylae 2).

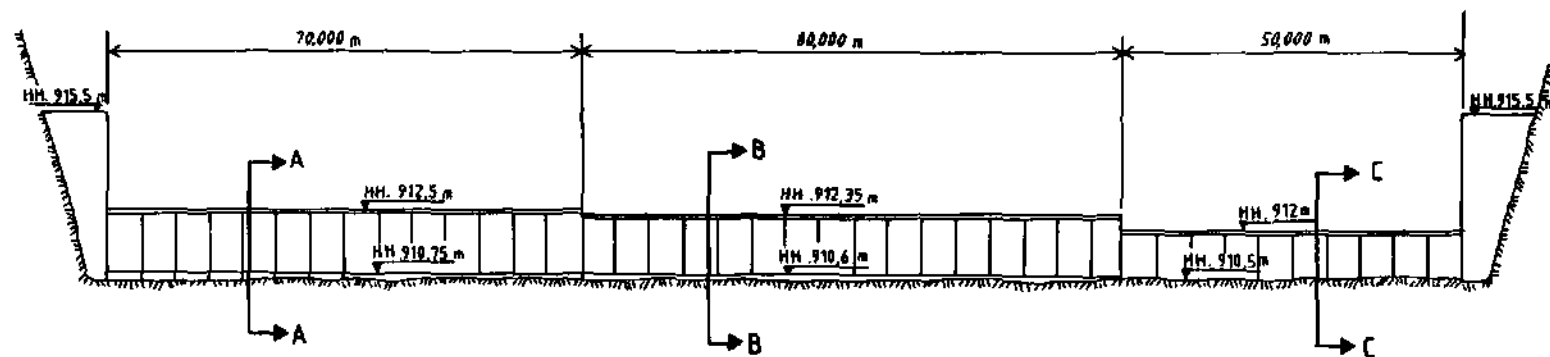
Spesiale lugfoto's op 'n skaal van 1:2 000 en 'n fotogrammetriese kontoerplan op skaal 1:1 000 (Figuur 8.3) van die oorloopkanaal is deur die Departement van Waterwese en Bosbou voorsien. Met behulp van die lugfoto's en veldkartering is 'n geologiese struktuurplan (Figuur 8.4) saamgestel. 'n Plan wat die omvang van erosie en Erosiepunte 1 - 5 aandui, word in Figuur 8.4 aangetoon.

Figuur 8.5 toon die diepte van erosie langs die hoofvloeikanaal. Die erosiepunte (E1 - E5) word ook aangedui.

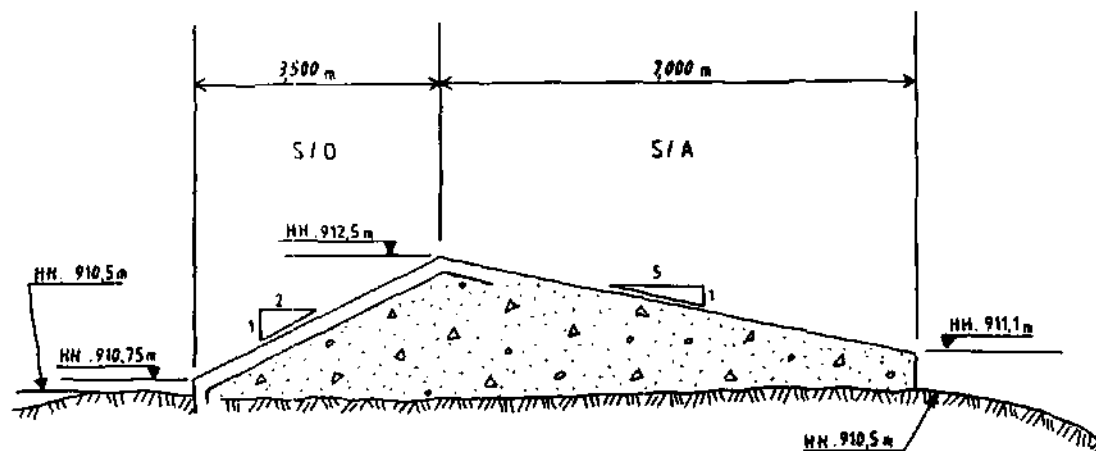
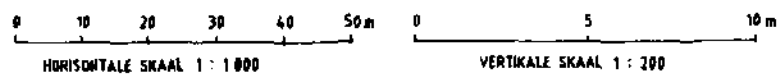
GOEDERTROUWDAMMOORLOOPKANAAL

FIGUUR 7.4





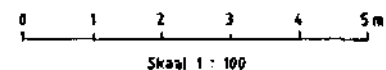
STROOMOP ELEVASIE VAN OORLOOP



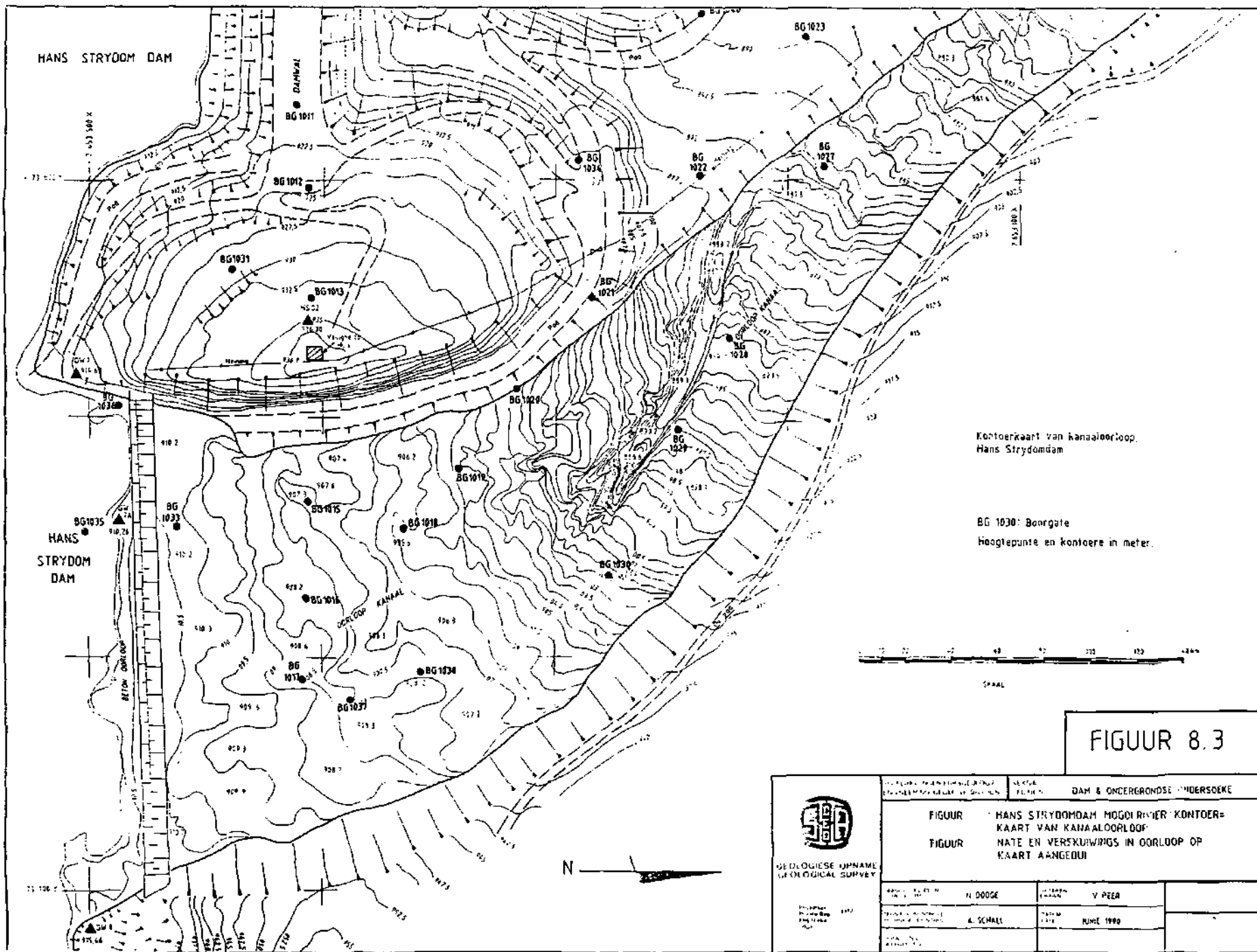
SNIT A-A

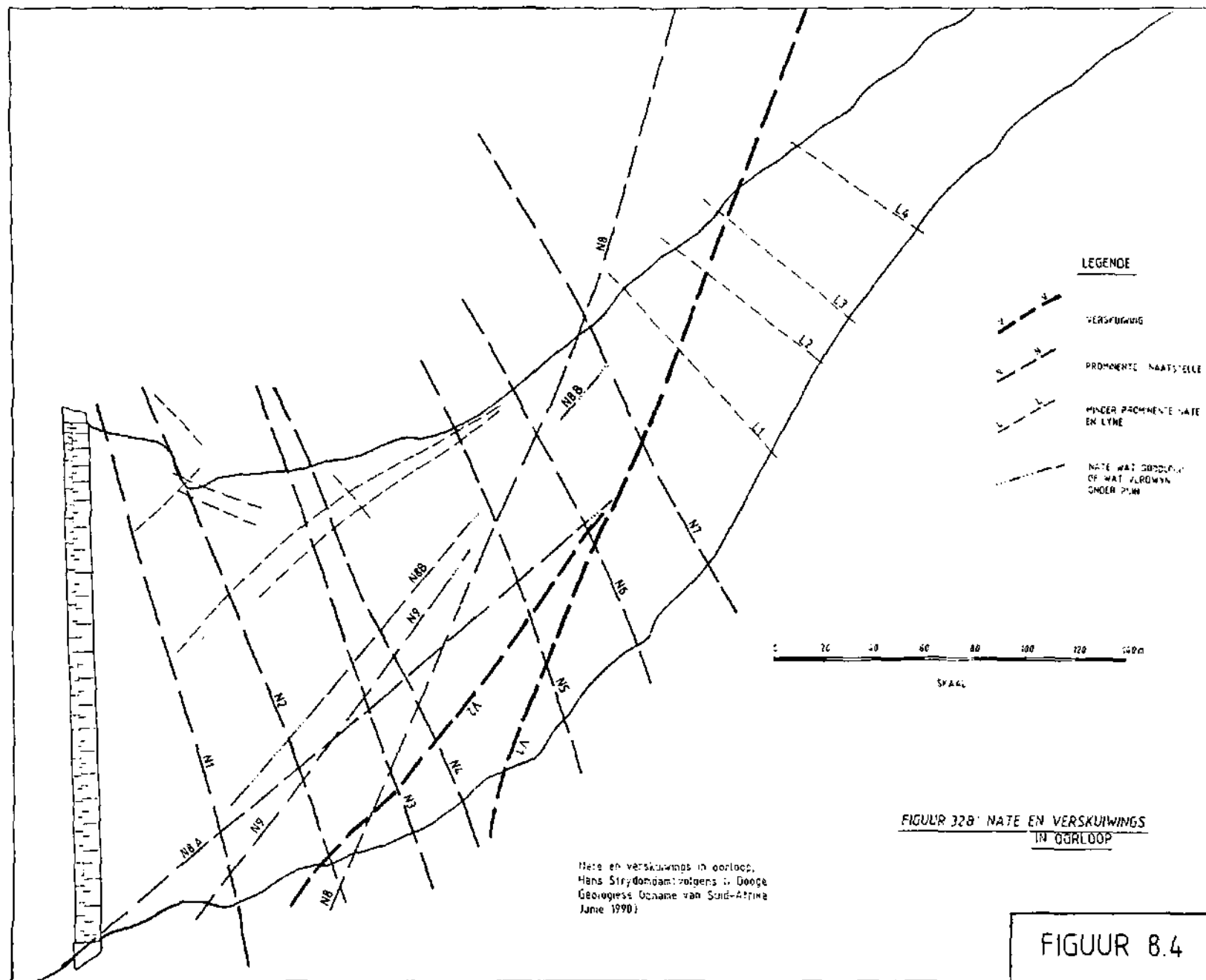
HANS STRYDOMDAM

Maks. uitvloeï : 82,30 m³/s (1981)
 Kruinlengte
 (oorloop) : 200 m



FIGUUR 8.2

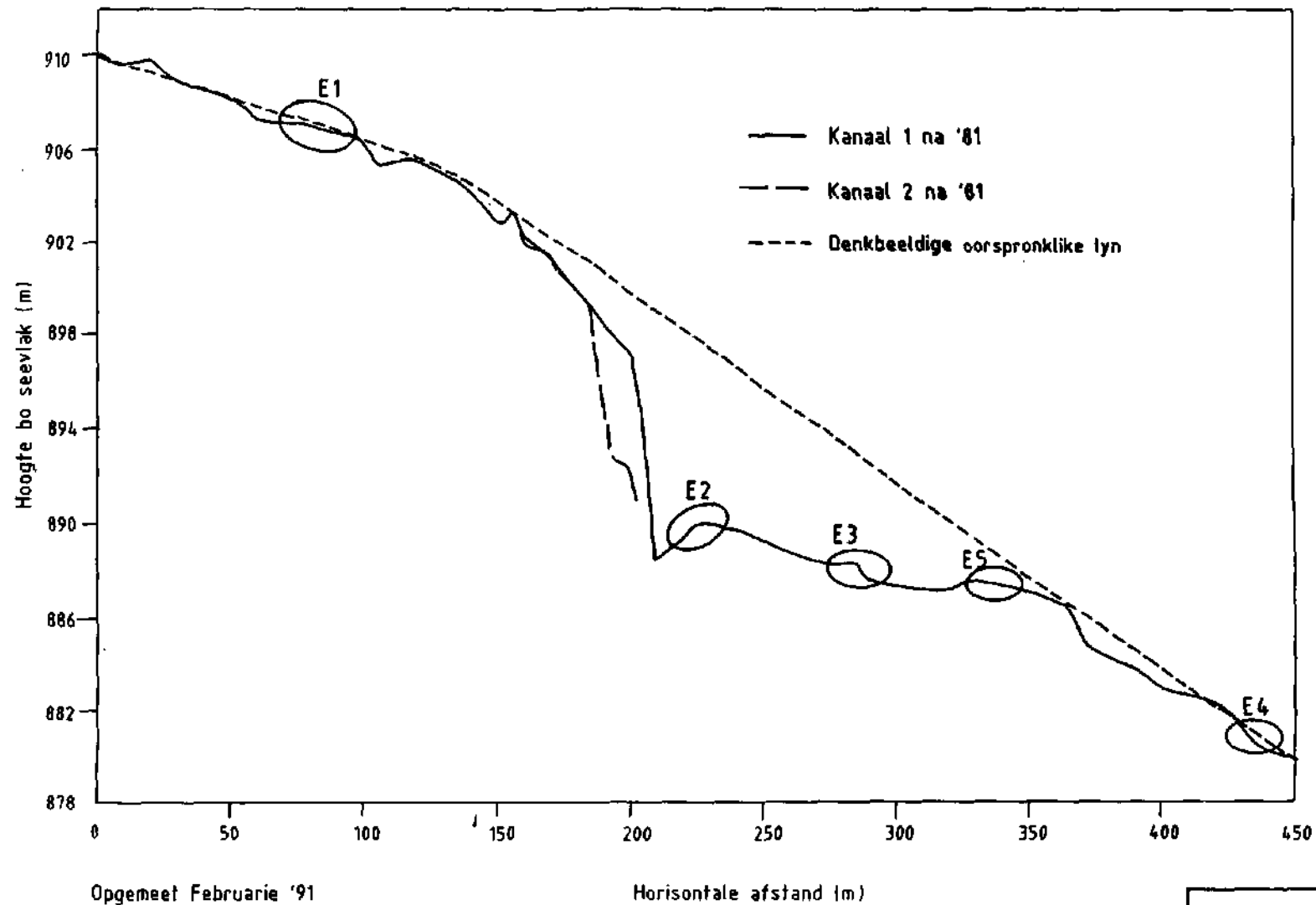




Nate en verskuiwings in oorsig,
Hans Strydomdam volgens G. Dooze
Geologiese Oorsig van Suid-Afrika
Junie 1990

HANS STRYDOMDAM KANAALLOORLOOP

(volgens N. Dooge en A. Schall, Geologiese Opname, Junie 1991)



FIGUURE 8.5

Erosiepunte 1 (Foto 8-E1, Album 5, Bylae 2) en 4 (Foto 8-E4, Album 5, Bylae 2) verteenwoordig die grootste gedeelte van die kanaal waar harde kwartsitiese sandsteen voorkom en min tot geen erosie plaasgevind het nie.

Die meeste van die erosie het langs die hoofverskuiwingsone plaasgevind. Erosiepunt 2 (Foto 8-E2, Album 5, Bylae 2) is by die kruispunt van die hoofverskuiwingsone en 'n ander skuifseursone geleë en verteenwoordig die swakste rotsmassatoestand in die kanaal. Ernstige erosie het plaasgevind in hoogs verweerde kwartsiet met dig gepasieerde nate wat met sanderige materiaal gevul is.

Erosiepunt 3 (Foto 8-E3, Album 5, Bylae 2) kom in die skuifseursone self voor. Die nate en laagvlakke breek die rots in reghoekige rotsblokke op. Die laagvlakke is oop (20 cm) en gevul met sanderige of sagte slikkerige materiaal wat maklik kan erodeer.

Erosiepunt 5 (Foto 8-E5, Album 5, Bylae 2) se lokaliteit is op hellingspuin waarin baie erosie voorgekom het. Hierdie materiaal bestaan uit rotsfragmente in 'n matriks van sanderige slik.

Boorwerk is gedurende 1972 uitgevoer voordat met uitgraving van die kanaal begin is. Tabel 8.1 verstrek inligting oor die lengte en toestand van boorkern wat benede die vloer van die kanaal herwin is.

Tabel 8.1 – Beskrywing van boorgatkern

Boorgat nr.	Lengte (m)	Beskrywing
1017	7	Onverweer, wyd genaat, intakte rots
1021	3	Matig verweer, intens genaat
1022	8	Effens tot matig verweer, matig tot wyd genaat
1023	5	Hoogs verweer, verbrokkel
1027	4	Effens verweer, matig genaat
1028	6	Effens verweer, matig genaat
1029	8	Effens verweer, verbrokkel
1030	5	Effens verweer, matig tot intens genaat
1033	0.5	Effens verweer, verbrokkel
1039	7	Effens verweer, intens tot matig genaat
1040	7	Hoogs tot totaal verweer, intens tot matig genaat

Die materiaal tot sowat 7 m onderkant kanaalvlak in boorgate 1028, 1029 en 1030 is beskryf as 'n effens verweerde, matig genate tot verbrokkelde materiaal. Dié boorgate is op die hoofverskuiwingsone geboor. Hierdie materiaal is feitlik alles gedurende die eerste vloed in 1981 weggespoel.

9. Hartebeespoortdam

Die 59 m-hoë betonboogdam is 37 km wes van Pretoria in die Krokodilrivier geleë (Foto 9.1, Album 4, Bylae 2). Figuur 9.1 toon die algemene plan van die damwal en oorloop. Die kruinlengte van die dam is 140 m. Die oorloop is 'n hekbeheerde ogee (Figuur 9.2) met gedeeltelik beklede afvoerkanaal aan die linkerflank.

Die linkerflank word beslaan deur matig tot wyd genate kwartsiet van die Magaliesberg Formasie. Die helling van die gelaagdheid is gemiddeld 30° stroomaf. Riffelmerke kom algemeen voor. Hierdie riffelmerke verhoog ruheid wat beweging van blokke bemoeilik.

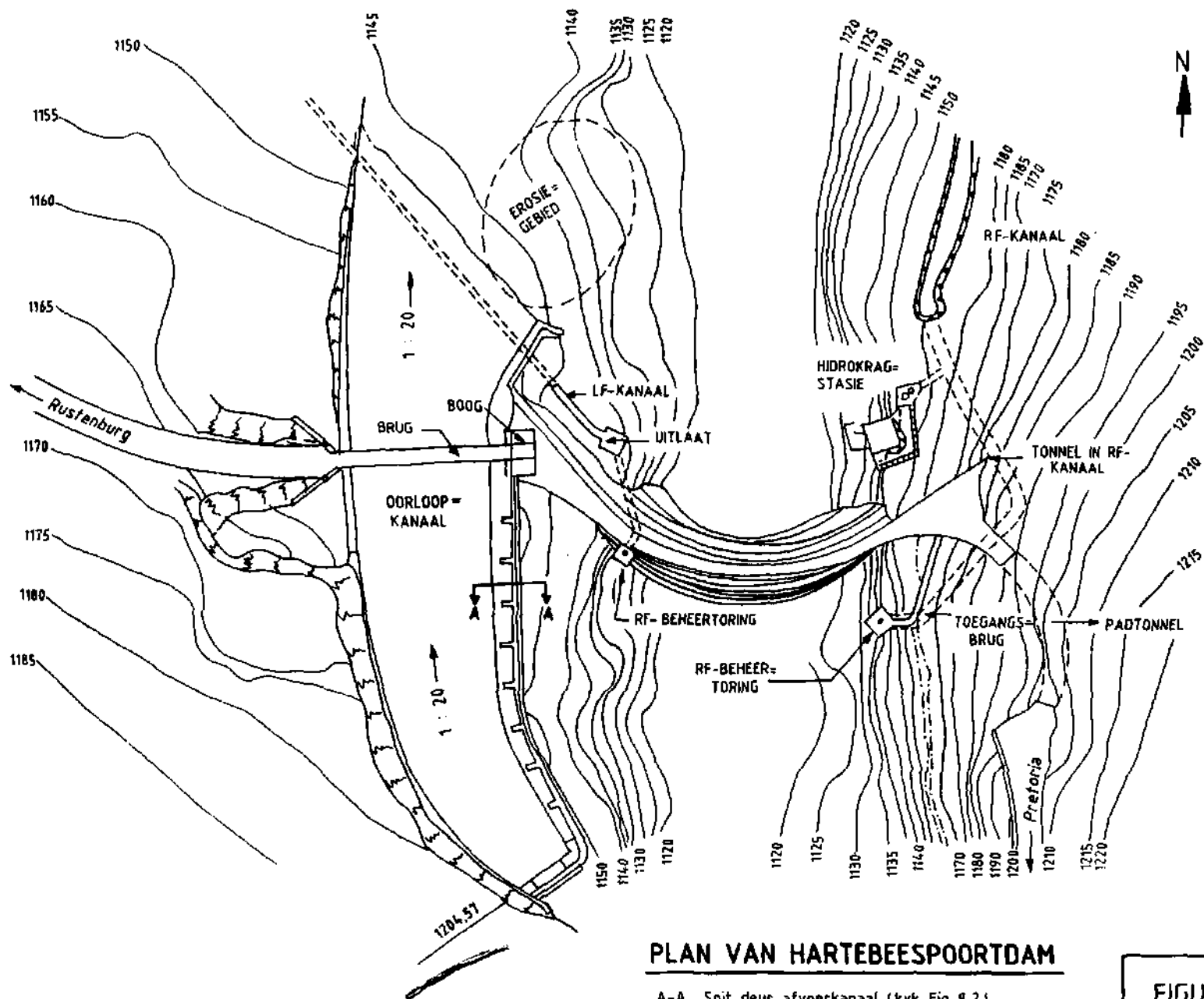
Stroomaf vanwaar die betonbekleding van die kanaal eindig, het daar 'n mate van erosie plaasgevind. Tydens 'n vloed vind die watervloei plaas langs twee kanale. Lengtesnitte langs die twee kanale en twee tipiese erosiepunte word in Figuur 9.3 getoon.

By Erosiepunt 1 (Foto 9-E1, Album 5, Bylae 2) is sowat 1,5 m effens tot matig verweerde, matig genate kwartsiet verwyder en die vloer van die kanaal het op 'n laagvlak in effens verweerde, wyd genate rots gestabiliseer. Die nate in die rots is oop en waterdruk het veroorsaak dat plaatvormige blokke langs laagvlakke beweeg het.

By Erosiepunt 2 (Foto 9-E2, Album 5, Bylae 2) is die kwartsiet effens verweer, matig tot wyd genaat en erosie het plaasgevind as gevolg van die verwydering van rotsblokke wat in drie of vier rigtings kon beweeg.

10. Kammanassiedam

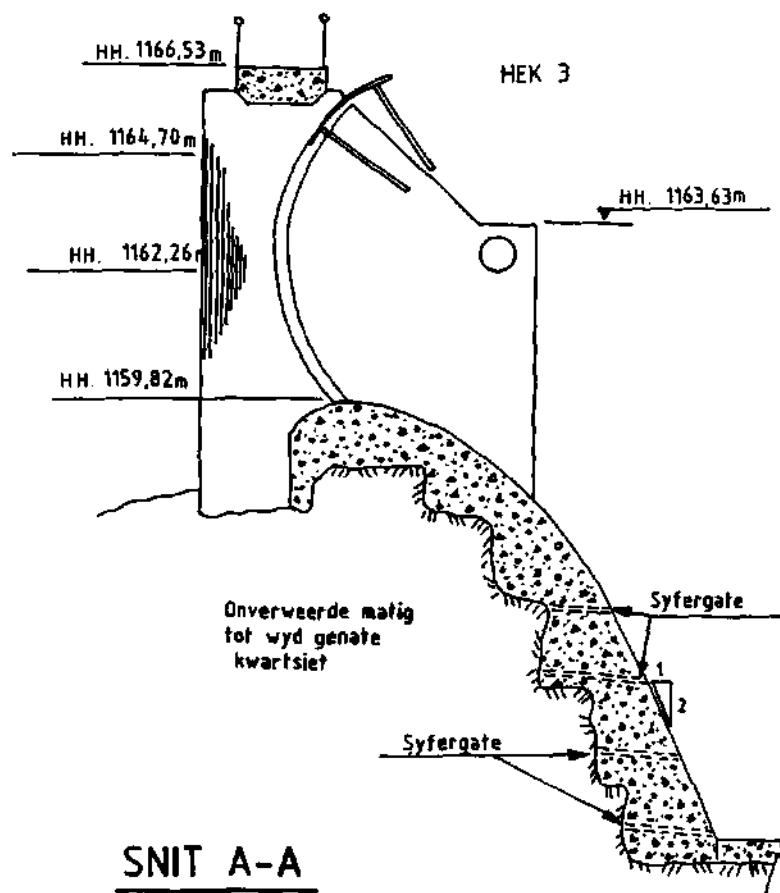
Kammanassiedam (Foto 10.1, Album 4, Bylae 2) is ongeveer 25 km oossuidoos van Oudtshoorn in die Kammanassierivier geleë. Dit het 'n swaartekragwal, 41 m hoog en 389 m lank. Daar is 'n sykanaaldiensoorloop met onbeklede afvoerkanaal aan die regterflank en 'n oorvloeinoodoorloop ook met onbeklede afvoerkanaal aan die linkerflank. Figuur 10.1 toon 'n algemene plan van die damwal en oorloopstrukture.



PLAN VAN HARTEBESPOORTDAM

A-A Snit deur afvoerkanaal (kyk Fig. 9.2).
Konfoere in meter.

FIGUUR 9.1



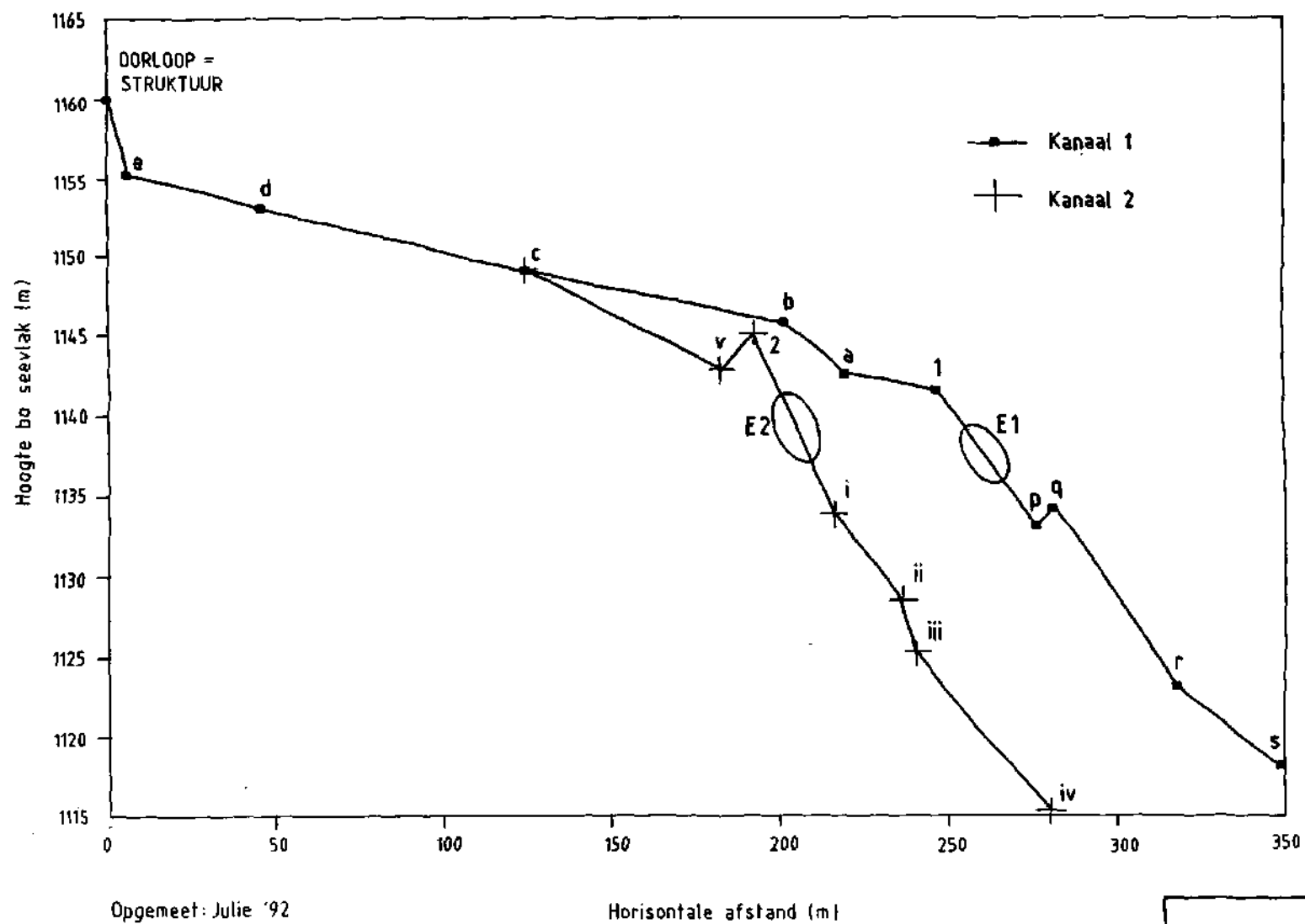
HARTEBEEPOORTDAM

Maks. uitvloeï : 1 046 m³/s (1944-voordat hekke aangebring is)
 825 m³/s (1978)
 Kruinlengte
 (oorloop) : 126,6 m

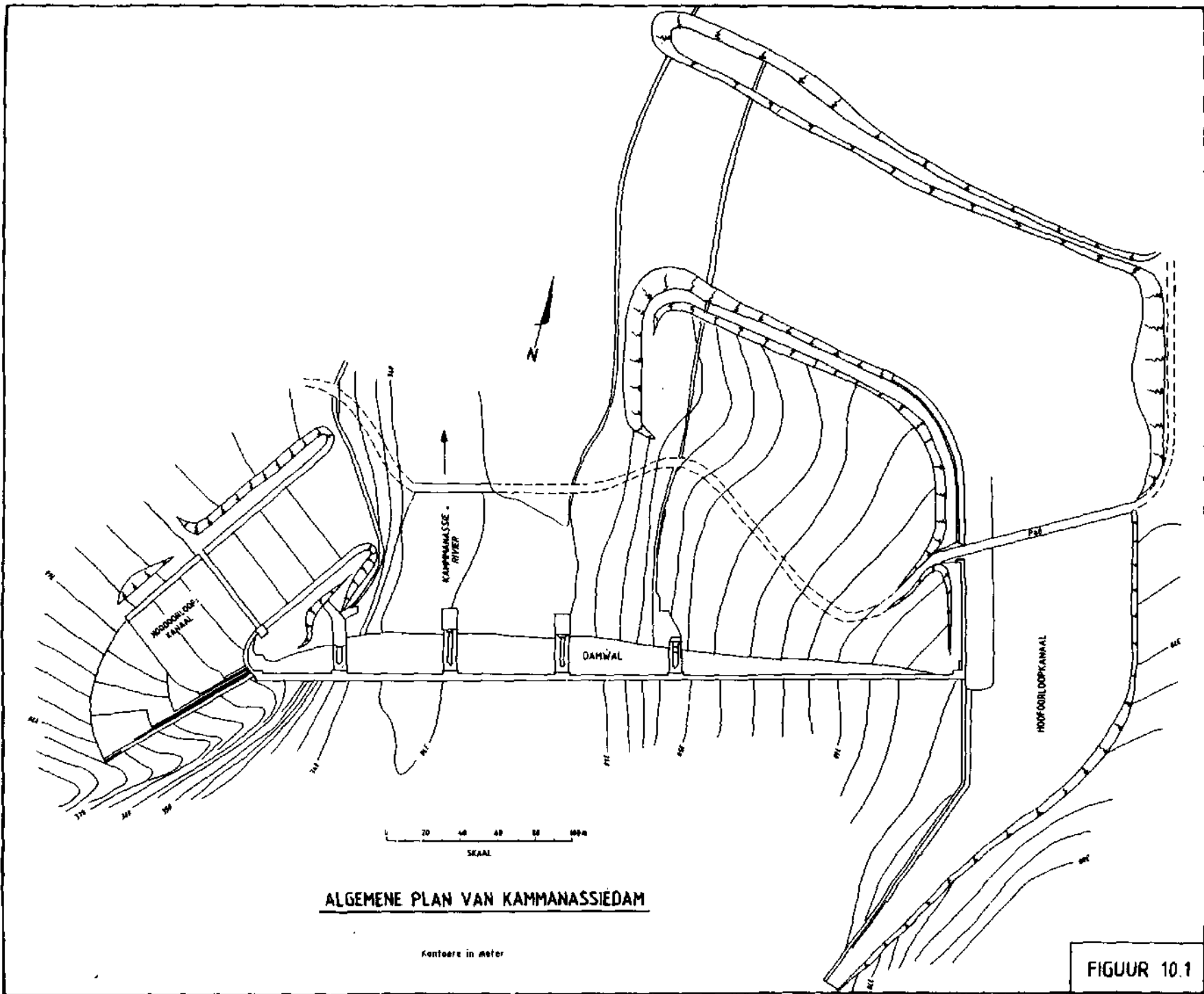
DIE DAM IS IN 1970 VERHOOG DEUR MIDDEL VAN 10 RADIALE HEKKE.

FIGUUR 9.2

HARTEBESPOORTDAMMOORLOOPKANAAL

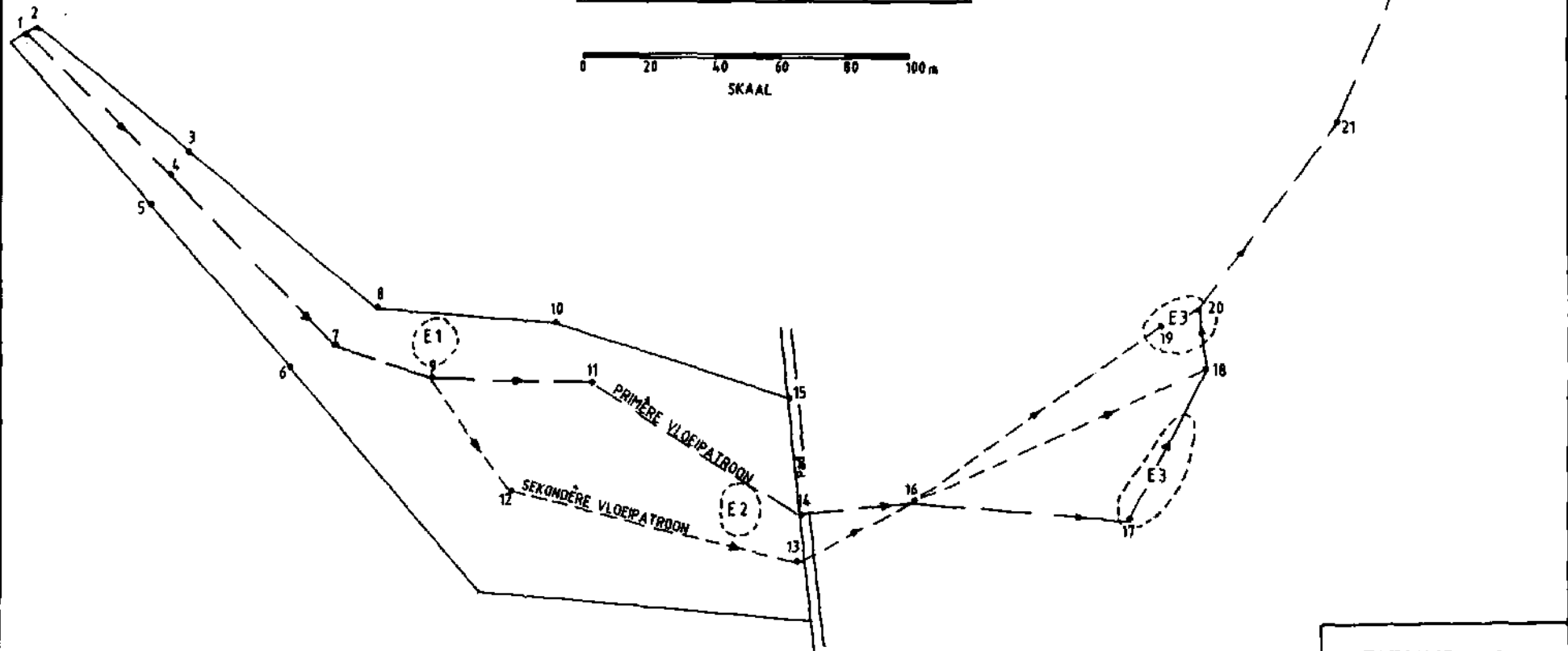


FIGUUR 9.3



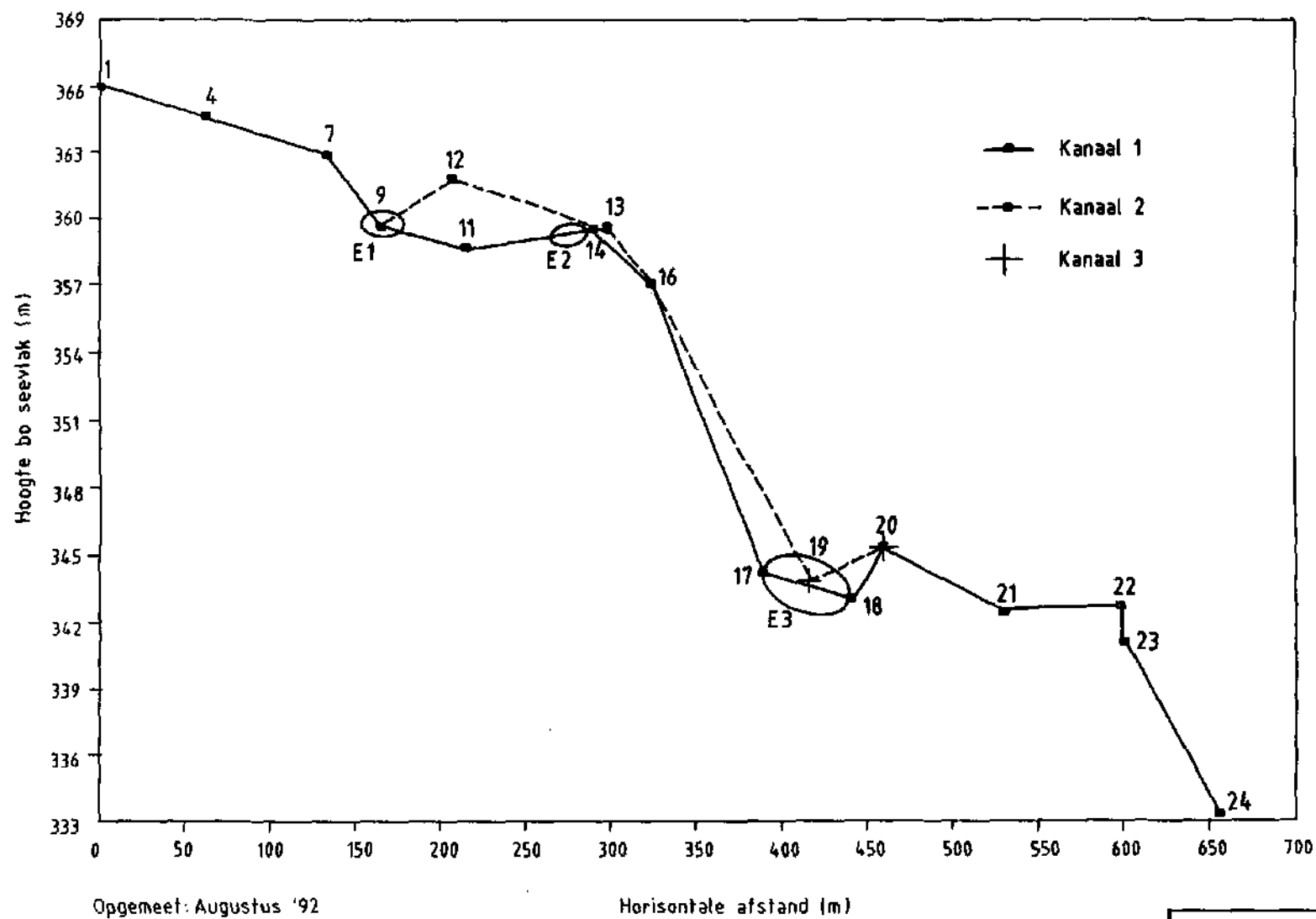
KAMMANASSIEDAMOORLOOP
PLAN VAN OORLOOPKANAAL.

0 20 40 60 80 100 m
SKAAL



FIGUUR 10.2

KAMMANASSIEDAMOORLOOPKANAAL



FIGUUR 10.3

Die terrein word beslaan deur gesteentes van die Ceres Subgroep van die Bokkeveld Groep, Kaap Supergroep. Die damwal self is op skalie en sliksteen van die Tra-Tra Formasie, Ceres Subgroep, gebou. Die hoofoorloopkanaal word onderlê deur hierdie gesteentes asook deur kwartsitiese sandsteen van die Boplaas Formasie van die Ceres Subgroep, Bokkeveld Groep. Die gesteentes hel teen sowat 10-15 grade stroomaf na die linkerflank.

In die boonste gedeelte van die hoofoorloopkanaal het min erosie voorgekom (Foto 10.2, Album 3, Bylae 2), terwyl daar ernstige erosie verder stroomaf plaasgevind het (Foto 10.3, Album 3, Bylae 2). Die hoofvloeikanale en erosiepunte word in Figuur 10.2 aangetoon, terwyl Figuur 10.3 lengtesnitte langs die hoofvloeikanale toon.

Erosiepunt 1 (Foto 10-E1, Album 5, Bylae 2) is gekies waar die gesteentelae sowat 5 grade stroomaf hel waar sagte vulmateriaal in laagvlakke voorkom. Die rots is sterk, maar dig genaai. Geringe erosie het voorgekom deurdat plaatvormige rotsblokke langs naatvlakke kon beweeg.

Erosiepunt 2 (Foto 10-E2, Album 5, Bylae 2) verteenwoordig sterk rots met wyd gespasieerde nate waar daar feitlik geen erosie plaasgevind het nie.

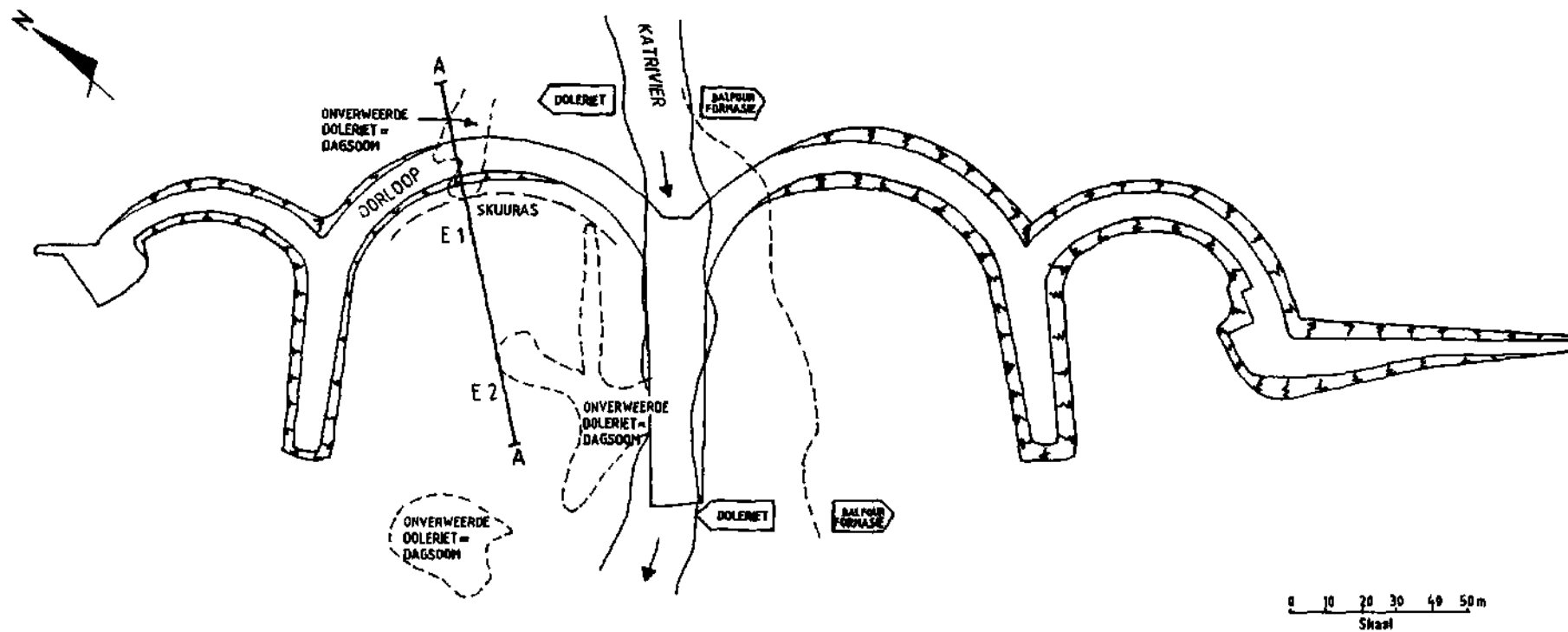
Erosiepunt 3 (Foto 10-E3, Album 5, Bylae 2) is op matig tot hoogs verweerde rots met dig gespasieerde oop nate geleë waar die watervloei langs laagvlakke kon indring en grootskaalse erosie veroorsaak het.

11. Katrivierdam

Katrivierdam is 'n meervoudige boogdam wat 5 km suidwes van Seymour in die Katrivier geleë is (Foto 11.1, Album 4, Bylae 2). Die wal bestaan uit vier boë en drie stutmure (Figuur 11.1). Die maksimum hoogte bo fondamentvlak is 55,63 m. Die hoofboog regs van die rivierseksie dien as vryvaloorloop. Figuur 11.2 verteenwoordig 'n snit deur die oorloopgedeelte.

Die skortgebied word beslaan deur 'n dolerietplaat wat intrusief is in sliksteen, sandsteen en moddersteen van die Balfour Formasie.

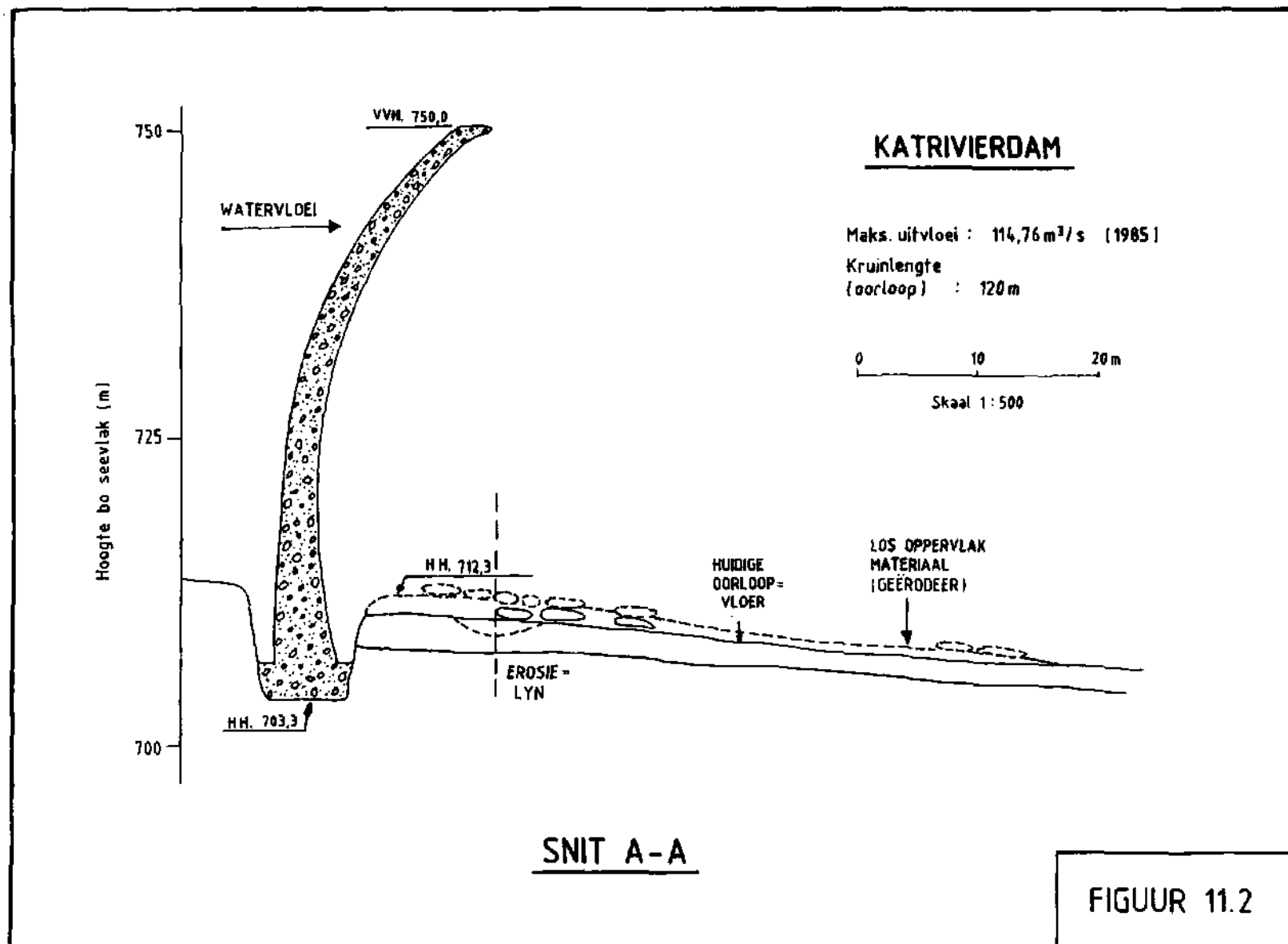
Direk stroomaf van die boog se fondament het die boonste laag rots, wat bestaan uit dolerietkernstene tussen wye nate wat met kleierige slik gevul is, feitlik heeltemal weggespoel (Foto 11.2, Album 3, Bylae 2). Twee erosiepunte word op Figuur 11.1 aangetoon.



KATRIVIERDAM

A - A Snit deur damwal (kyk Fig. 11.2)

FIGUUR 11.1



By Erosiepunt 1 (Foto 11-E1, Album 5, Bylae 2) is die erosiediepte minder as 2 m, maar aangesien die verweerde laag feitlik heeltemal verwyder is, word die erosiegraad as ernstig geklassifiseer. Sagte kleierige sandnaatvulmateriaal tussen die kernstene is uitgespoel.

Erosiepunt 2 (Foto 11-E2, Album 5, Bylae 2) is sowat 50 m stroomaf van die wal geleë en hier het slegs geringe erosie in goeie kwaliteit doleriet plaasgevind.

12. Klipfonteindam

Klipfonteindam is 10 km suid van Vryheid in Noord-Natal in die Wit Mfolozirivier geleë (Foto 12.1, Album 3, Bylae 2). Dit is 'n grondvuldag met 'n onbeheerde oorloop en afvoerkanaal langs die regterflank (Foto 12.2, Album 3, Bylae 2). Die dag is in 1983 voltooi. Figuur 12.1 verteenwoordig 'n algemene plan van die dag en oorloop.

Die kanaal word onderlê deur 'n dolerietplaat wat intrusief is in sandsteen en skalie van die Ecca Groep, Karoo Opeenvolging. Die doleriet is hoofsaaklik onverweer tot effens verweer met hoogs verweerde sones. Die genaetheid van die doleriet in die kanaal is onreëlmatig, golwend en nie-aaneenlopend. Die nate is geslote en die naatwande is ru.

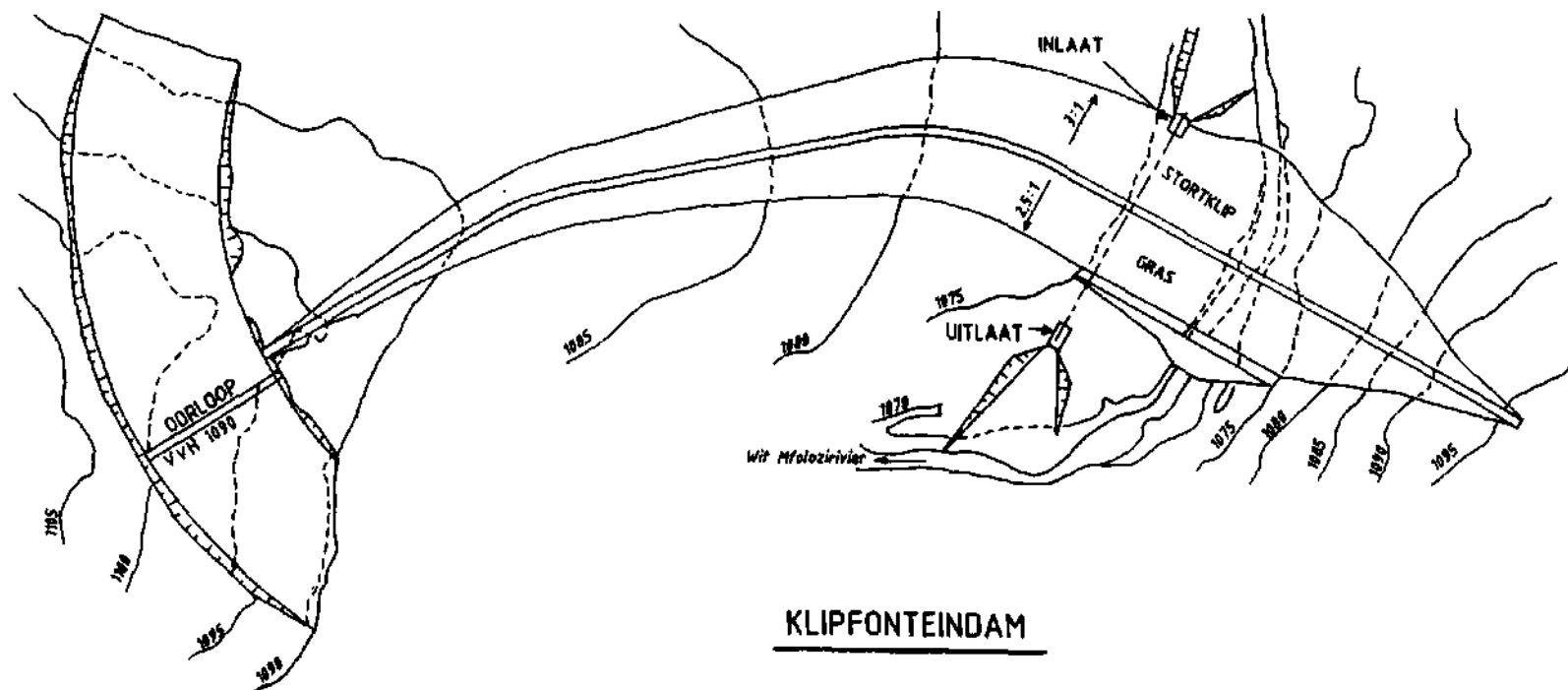
Figuur 12.2 toon die posisies van vier erosiepunte aan, terwyl Figure 12.3 en 12.4 'n lengtesnit en dwarsnitte toon.

Erosiepunt 1 (Foto 12-E1, Album 5, Bylae 2) is op onverweerde doleriet met geslote, wyd gespaseerde nate gekies en geen erosie het plaasgevind nie.

By Erosiepunt 2 (Foto 12-E2, Album 5, Bylae 2) kom matig (sferoïdaal) verweerde doleriet met goed ontwikkelde, matig gespaseerde, verweerde nate voor. Matige erosie het plaasgevind deurdat water die nate kon binnedring en beweging van blokke kon veroorsaak.

By Erosiepunt 3 (Foto 12-E3, Album 5, Bylae 2) is die rots soortgelyk aan dié by punt 2, maar die subhorisontale naatstel is beter ontwikkel, en ernstige erosie het plaasgevind omdat rotsblokke langs daardie vlak kon beweeg.

By Erosiepunt 4 (Foto 12-E4, Album 5, Bylae 2) kom goeie kwaliteit doleriet voor en geen erosie het plaasgevind nie.



KLIPFONTEINDAM

Maks. uitvloeï : $1090 \text{ m}^3/\text{s}$ (1984)

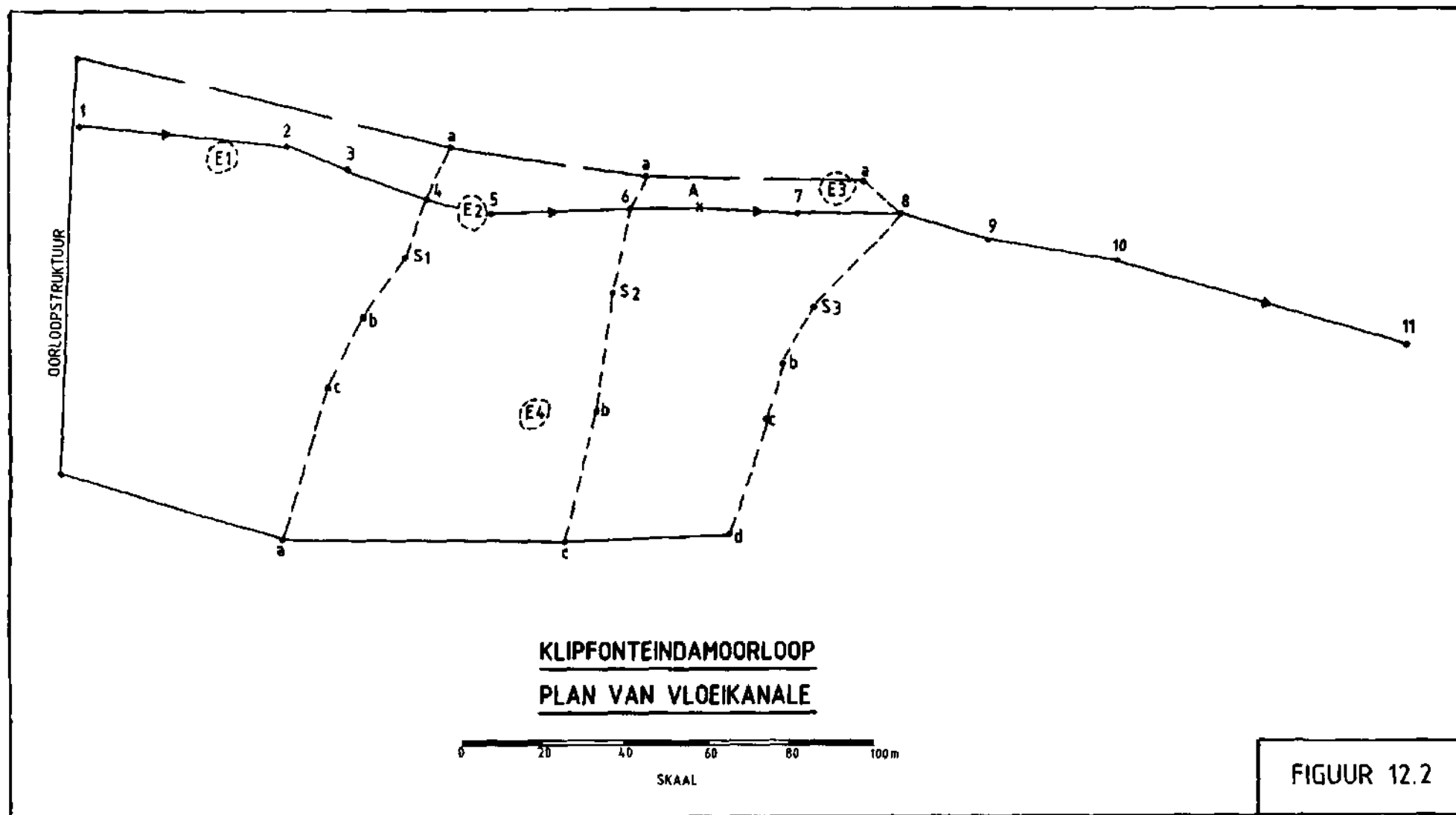
Kruinlengte
(oorloop) : 101 m

0 100 200 m

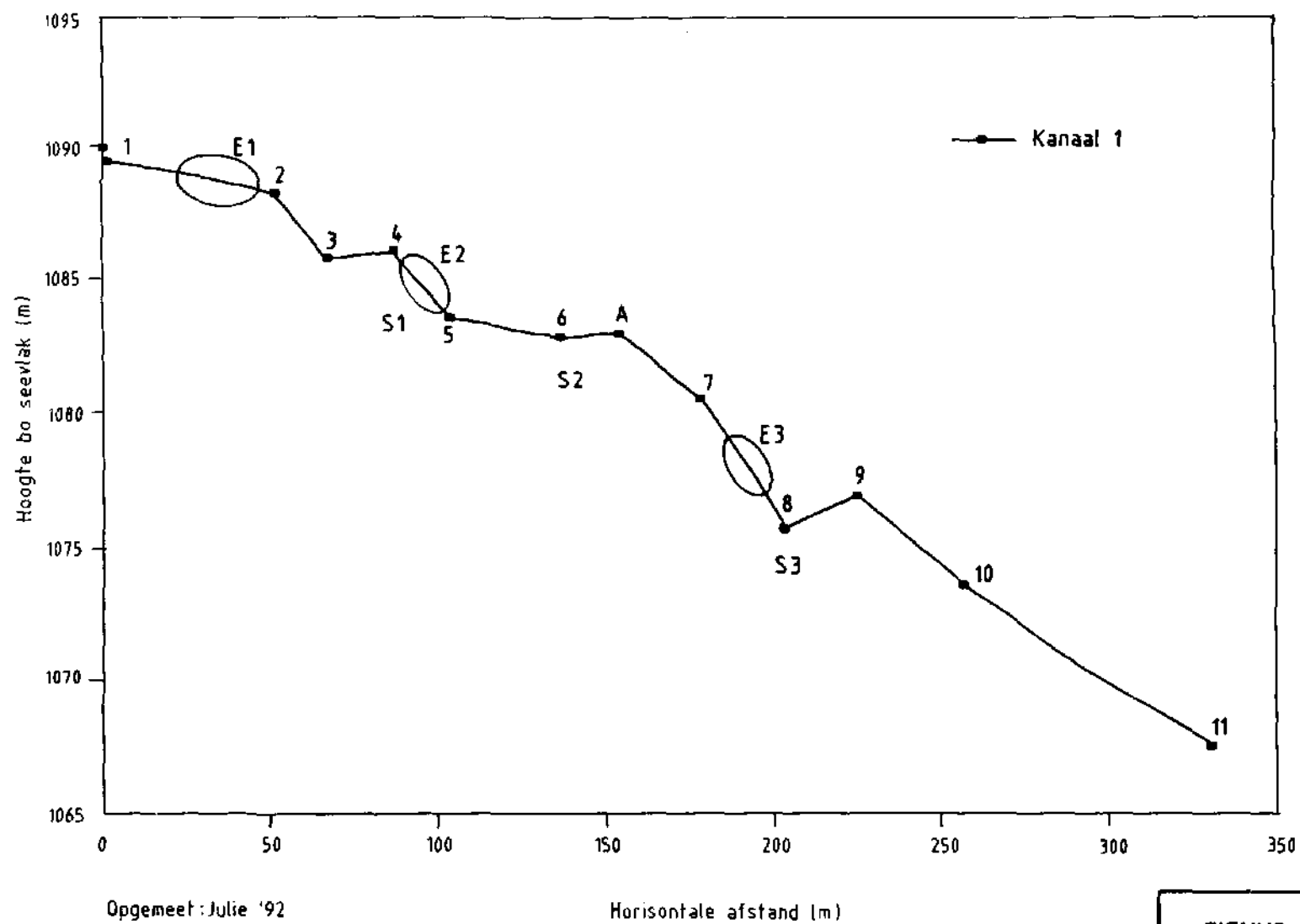
Skaal 1:5000

Kontoure in meter

FIGUUR 12.1



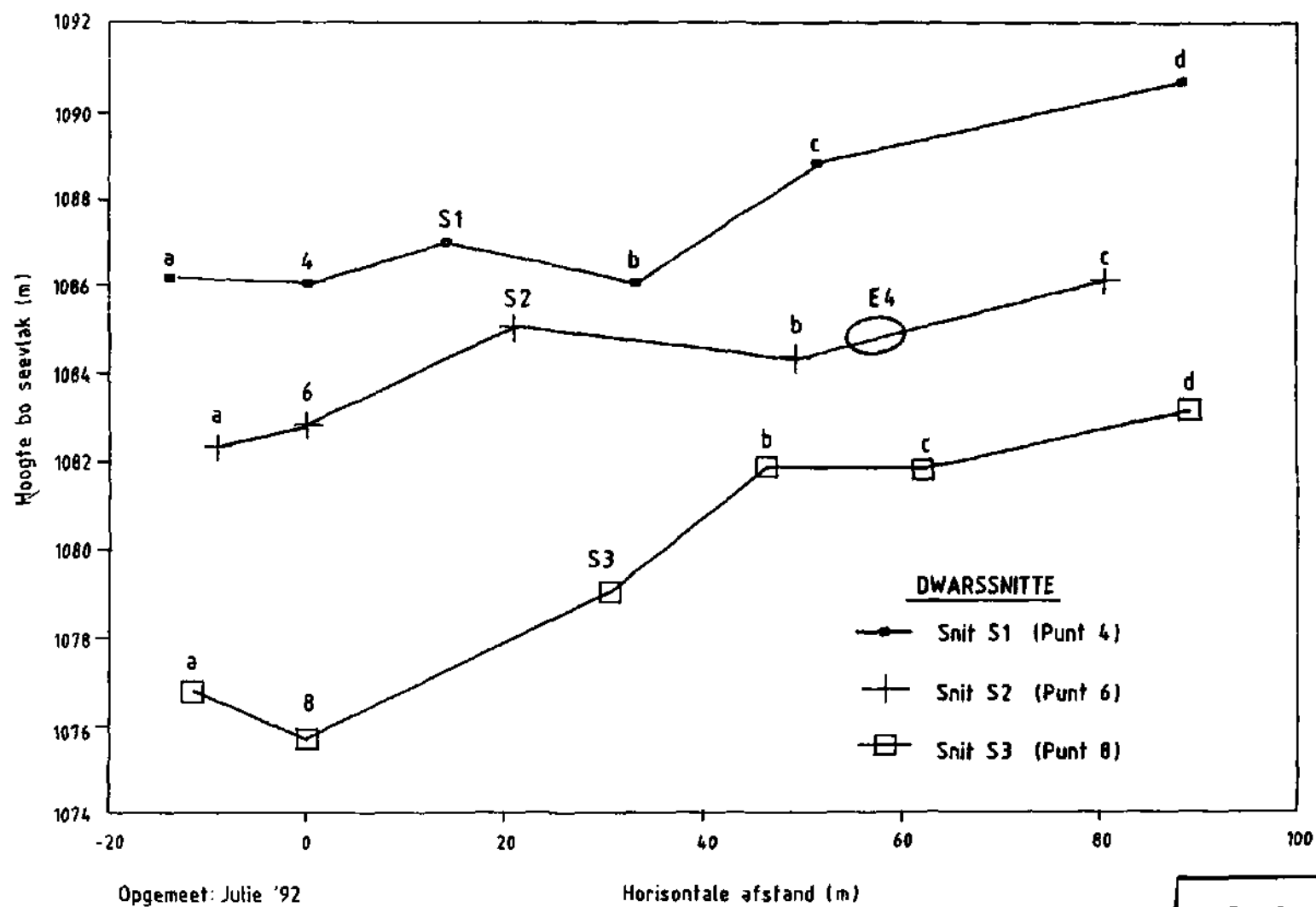
KLIPFONTEINDAMMOORLOOPKANAAL



FIGUUR 12.3

KLIPFONTEINDAMMOORLOOPKANAAL

Punte 4,6 en 8 is nulpunte



FIGUUR 12.4

13. Marico Bosvelddam

Marico Bosvelddam (Foto 13.1, Album 4, Bylae 2) is ongeveer 15 km noord van Groot Marico en 30 km oos van Zeerust geleë. Damkonstruksie het ongeveer 1930 begin en is in 1933 voltooi.

Die dam bestaan uit 'n 1 432 m-lange grondvulwal met 'n maksimum hoogte bo grondvlak van ongeveer 25 m en die oorloopstrukture is aan die regterflank geleë (Figuur 13.1). Die aanvanklike oorloop het bestaan uit 'n 166 m-lange betonmuur. Figuur 13.2 verteenwoordig 'n snit deur hierdie muur. Kort na voltooiing het hierdie struktuur egter gebreek as gevolg van erosie (ondergraving) langs 'n hoogs verweerde diabaasgang wat die muur kruis.

Om die oorloop te herstel, is 'n geboë betonwal met maksimum hoogte van 14 m om die bopunt van die sloot, in lyn met die hoofwal, gebou (Foto 13.2, Album 3, Bylae 2). Later is die saagtandoorloop en betonbekleding stroomaf daarvan gebou.

Die terrein word onderlê deur wit tot geelgrys matig korrelrige kwartsiet van die Pretoria Groep, Transvaal Opeenvolging. Die gelaagdheid hel teen ongeveer 5 grade stroomaf (noord). Sagte, hoogs verweerde lae kom op plekke tussengelaag met die andersins baie sterk kwartsiet voor.

Die hooferosiesloot het in hoogs verweerde diabaas gevorm, maar die kante daarvan word begrens deur effens verweerde kwartsiet wat dig tot medium genaat is. Die diabaasgang strek parallel met die hoofnaatstel in die kwartsiet. Foto 13.3 (Album 3, Bylae 2) toon die erosiesloot in verweerde diabaas (links), sterk, effens verweerde kwartsiet langsaan en die nuwe gedeeltelik beklede oorloopkanaal (regs) aan.

Figuur 13.3 toon 'n lengtesnit langs die erosiesloot waarop die diepte van erosie en Erosiepunte 1 en 4 aangedui word. Hierdie erosie het gedurende 1937 plaasgevind. Geen vloeirekords is van hierdie vloed beskikbaar nie, maar daar bestaan aanduidings dat die ordegrootte daarvan dieselfde is as die vloed van 1976.

Figuur 13.4 toon 'n lengtesnit langs die nuwe oorloopkanaal waarop Erosiepunte 2 en 3 aangedui word. Hierdie erosie het gedurende 1976 plaasgevind.

By Erosiepunt 1 (Foto 13-E1, Album 5, Bylae 2) kon slegs die diepte van erosie gemeet word aangesien digte plantegroei die bodemrots bedek. Die eienskappe van die diabaas wat verwyder is, is waarskynlik soortgelyk aan die materiaal by Erosiepunt 4.

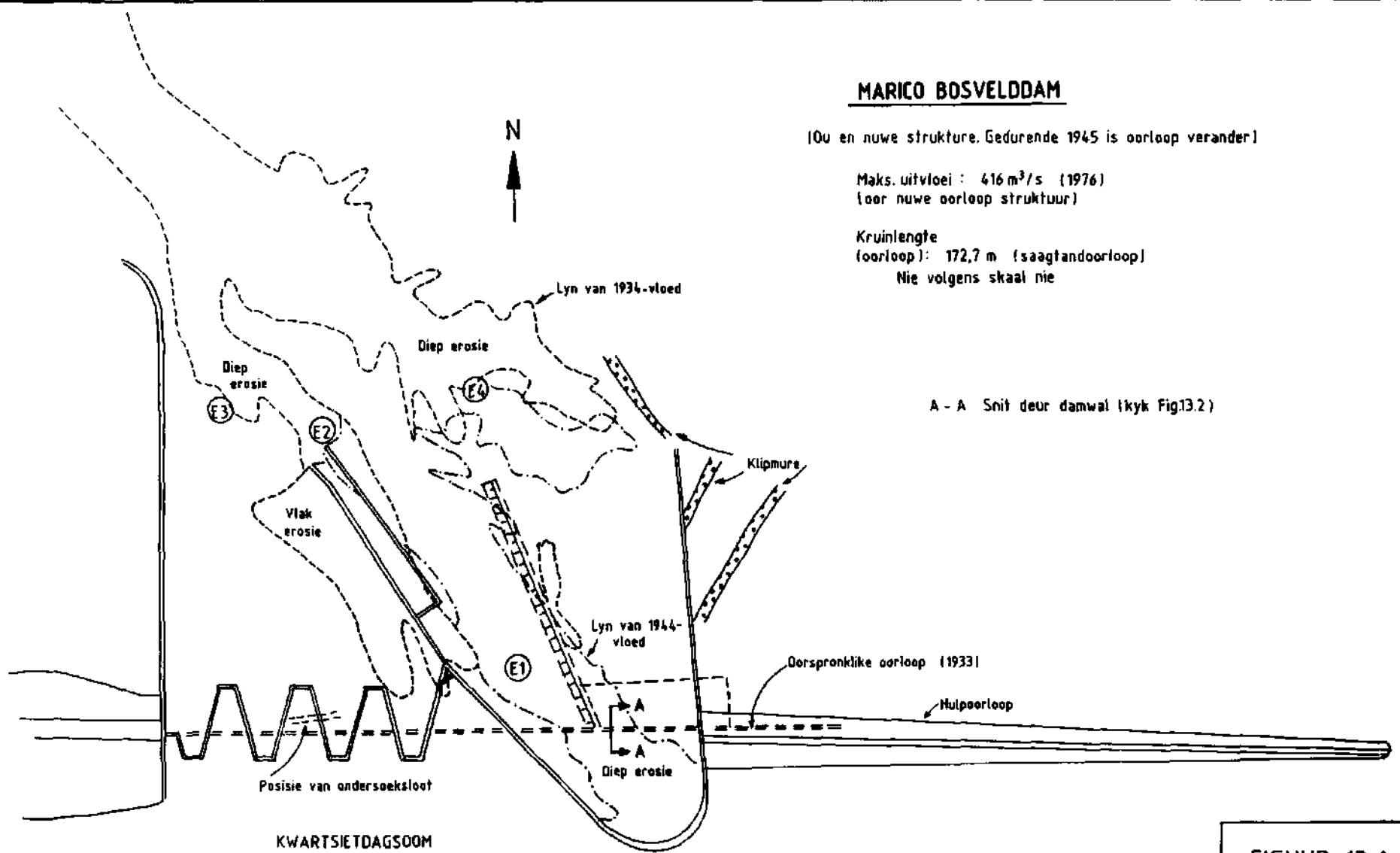
MARICO BOSVELDDAM

[Ou en nuwe strukture. Gedurende 1945 is oorloop verander]

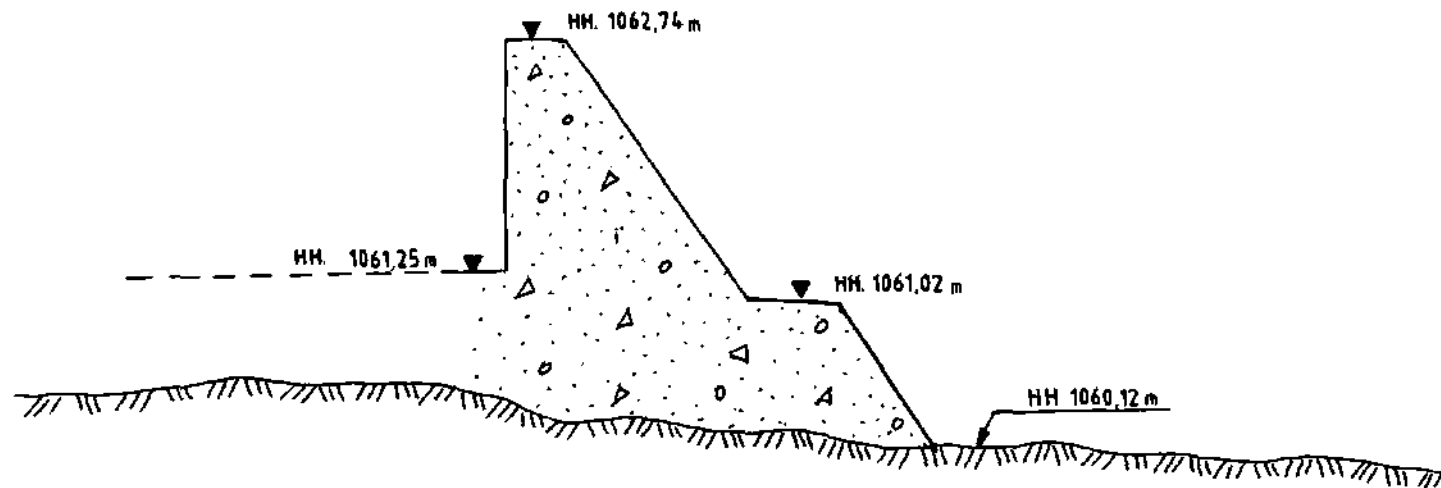
Maks. uitvloeï : $416 \text{ m}^3/\text{s}$ (1976)
(oor nuwe oorloop struktuur)

Kruinlengte
(oorloop) : $172,7 \text{ m}$ (saagtandoorloop)
Nie volgens skaal nie

A - A Snit deur damwal (kyk Fig13.2)



FIGUUR 13.1

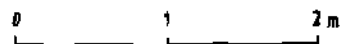


MARICO BOSVELDDAM
(VOOR 1945)

Maks. uitvloeï : 138,2 m³/s (1944)

Kruistengte
(oorloop) : 166 m

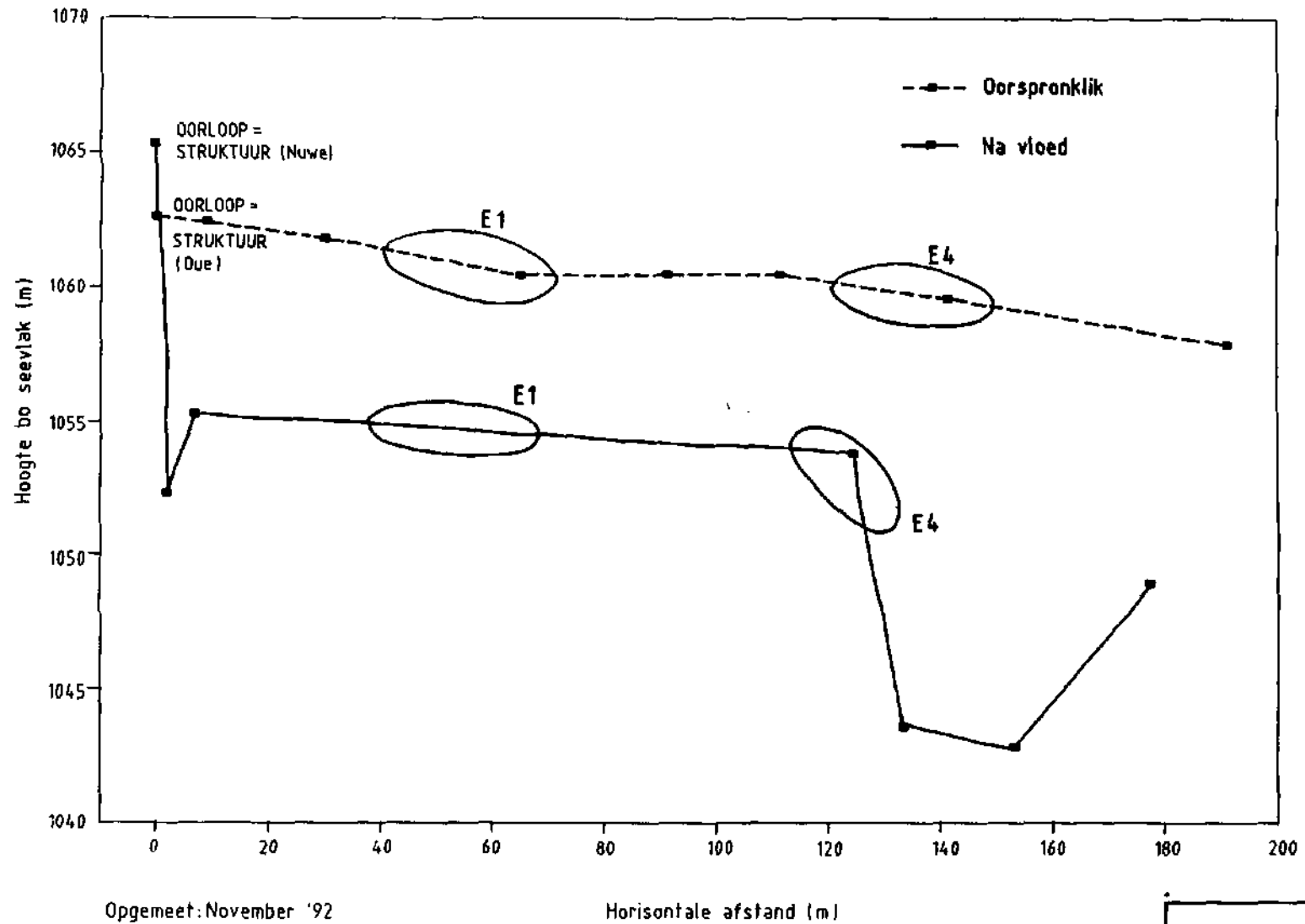
Skaal : 1:50



SNIT A-A

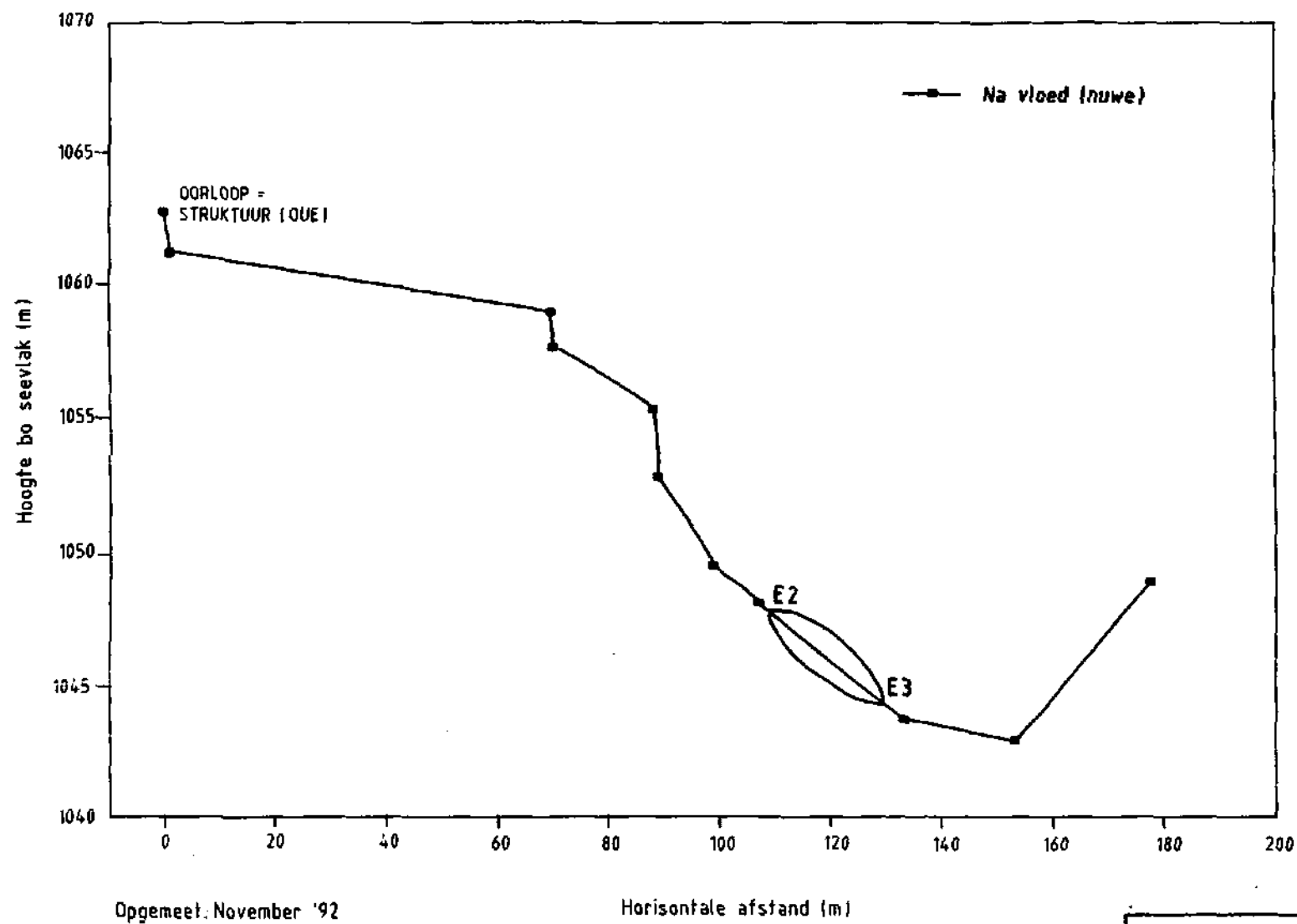
FIGUUR 13.2

MARICO BOSVELDDAM



FIGUUR 13.3

MARICO BOSVELDDAM



FIGUUR 13.4

Erosiepunt 2 (Foto 13-E2, Album 5, Bylae 2) is op die effens verweerde, baie sterk kwartsiet geleë en geen erosie het daar (gedurende die 1976 vloed) plaasgevind nie.

Erosiepunt 3 (Foto 13-E3, Album 5, Bylae 2) verteenwoordig 'n sone met dig gespasieerde nate in andersins sterk, effens verweerde kwartsiet. By hierdie punt is matige erosie ondervind omdat die nate oop en die blokke kleiner is.

Erosiepunt 4 (Foto 13-E4, Album 5, Bylae 2) is op hoogs verweerde diabaas waar ernstige erosie ondervind is. Hierdie materiaal is 'n slikerige klei met lae kohesie en kon daarom maklik erodeer.

14. Mzikidam

Mzikidam is 'n grondvulwal wat ongeveer 10 m hoog en 200 m lank is. Dit het 'n onbeheerde oorloopkanaal aan die linkerflank.

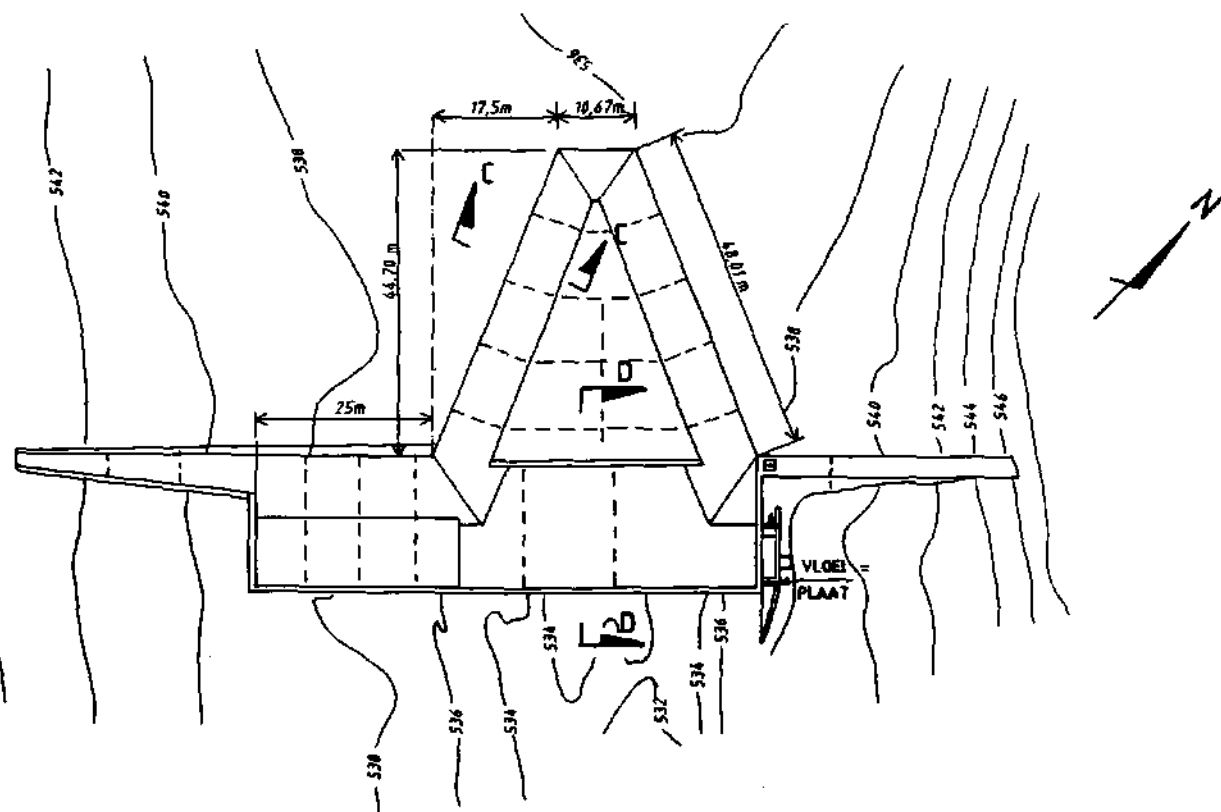
Die kanaal word onderlê deur klastiese tuf van die Nxwala Formasie van die Bumbeni Kompleks. Die tuf is gesementeer tot 'n medium sterk rots. Daar bestaan swak sones soos waar die tuf minder goed gesementeer is of waar skuifseursones voorkom. Dit is in hierdie sones waar ernstige erosie na die eerste vloed plaasgevind het (Foto 14.1, Album 3, Bylae 2). Herstelwerk het die bou van 'n betonbeheerstruktuur en opvulling met beton van die erosieslote behels (Foto 14.2, Album 3, Bylae 2).

Erosiepunt 1 (Foto 14-E1, Album 5, Bylae 2) kom in die diepste deel van die erosiesloot voor. Dit val op die kruispunt van twee naatsones waar die rots matig tot hoogs verweer en baie dig genaai is. Ernstige erosie het hier plaasgevind. Die nate is oop, die naatwande is swak en die klein rotsblokkies kon maklik deur water uitgespoel word.

Erosiepunt 2 (Foto 14-E2, Album 5, Bylae 2) is op wyd genate, effens verweerde tuf, sowat 2 m stroomaf van die oorloopkruin gekies. Hier het matige erosie plaasgevind. Water kon die oop nate binnedring en blokke laat beweeg.

15. Prinsrivierdam

Prinsrivierdam is in die Prinsrivier sowat 48 km wes van Ladismith en 35 km suidwes van Laingsburg geleë. Dit is 'n rotsvuldam met 'n stroomop betonmembraan wat 37 m hoog is. Daar is 'n V-vormige swaartekragoorloopstruktuur oor 'n lae nek aan die suidekant van die damkom (Foto 15.1, Album 3, Bylae 2). Die maksimum hoogte van die oorloopstruktuur is 14 m.



PRINSRIVIERDAM

C - C } Snitte deur damwal
D - D } (kyk Fig. 15.2 en 15.3)

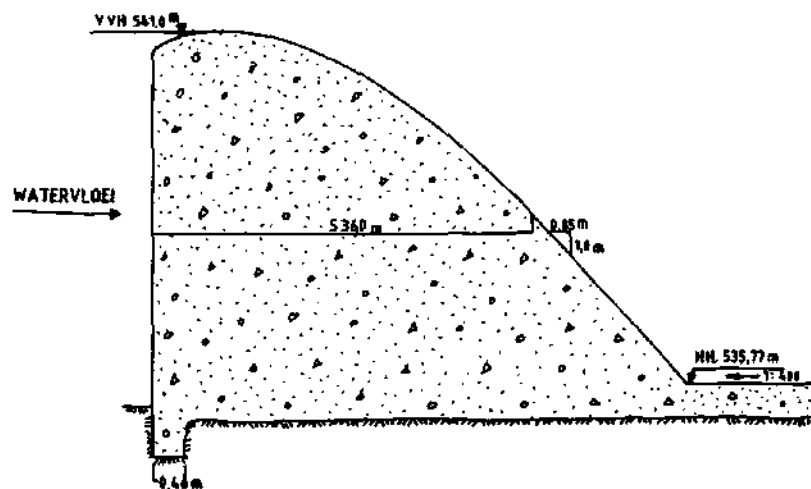
Kontoere in meter

Maks. uitvloei
(na verhoging 1982)
Kruinlengte
(oorloop) : 131,7m
Skaal : 1:1000

0 10 20 30 40 50 m

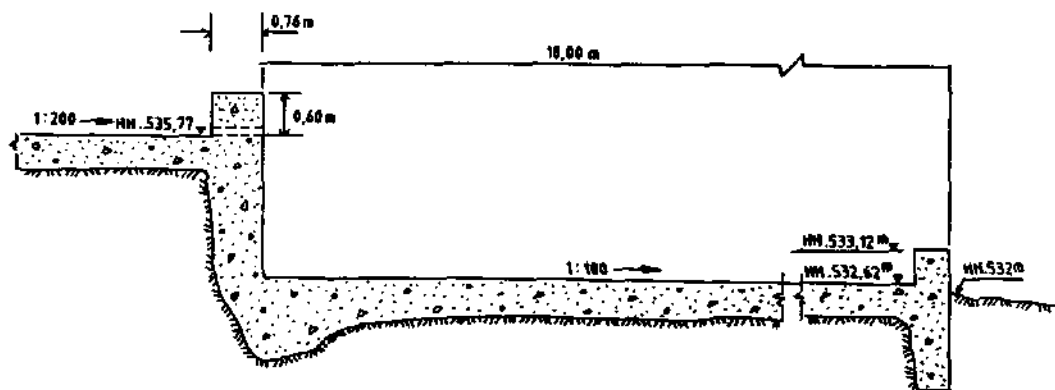
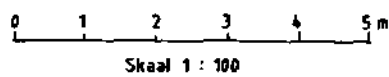
FIGUUR 15.1

PRINSRIVIERDAM
 NA VERHOOGING VAN WAL IN 1982



SNIT C-C
 SKAAL 1:100

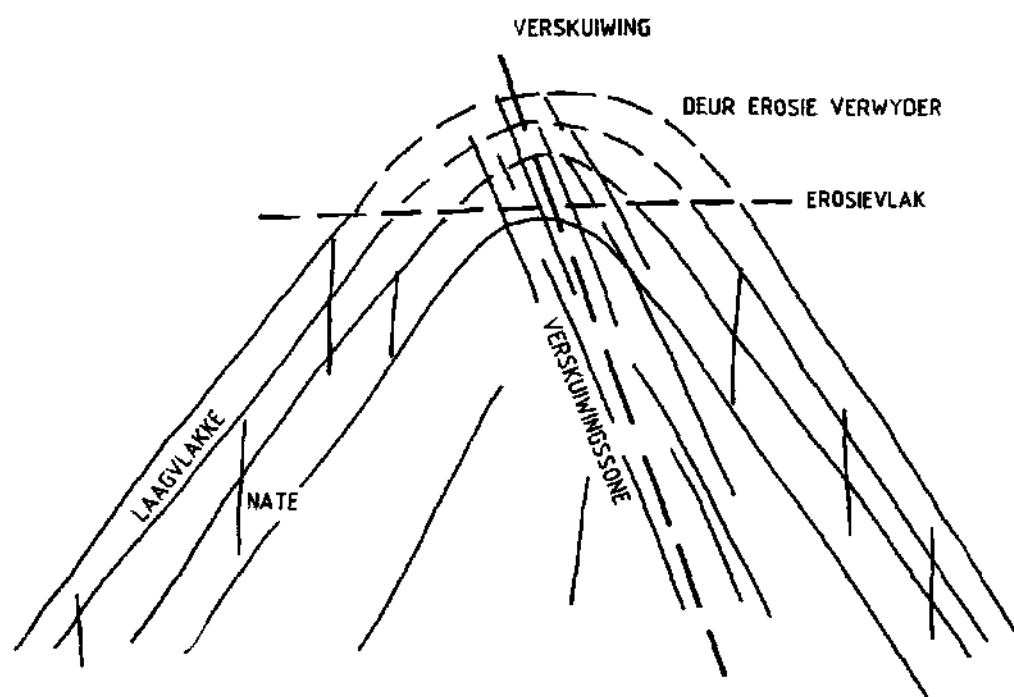
FIGUUR 15.2



SNIT D-D
 SKAAL 1:100

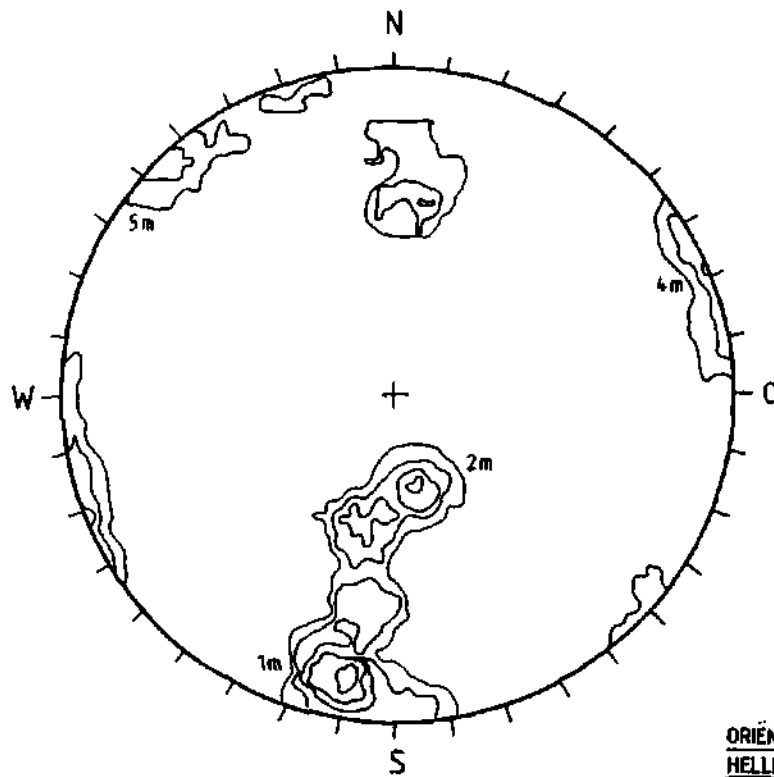
FIGUUR 15.3

FIGUUR 15.2+3



FIGUUR 15.4

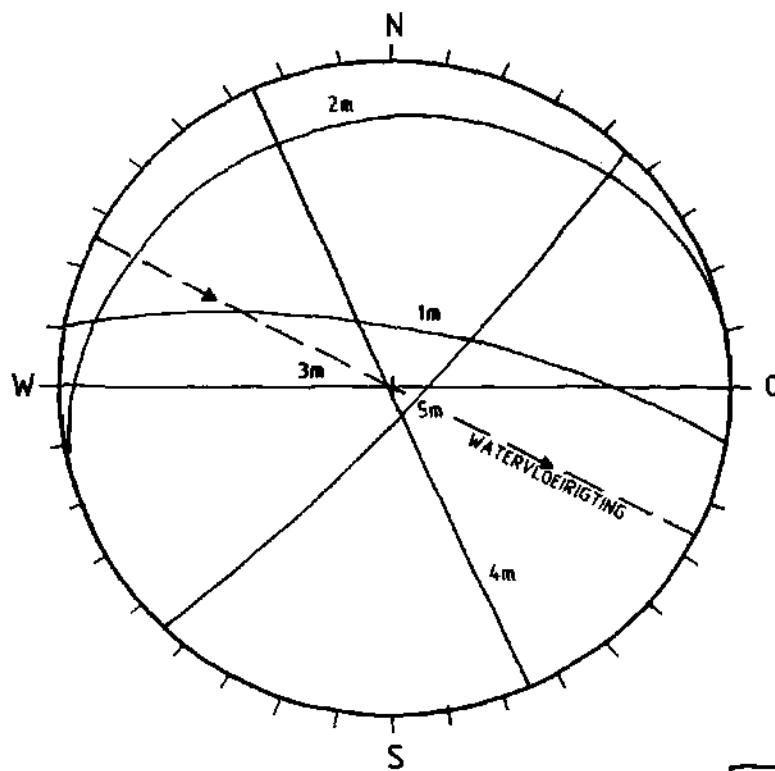
PRINSRIVIERDAM



ORIENTASIES HELLING/HELRIJTING

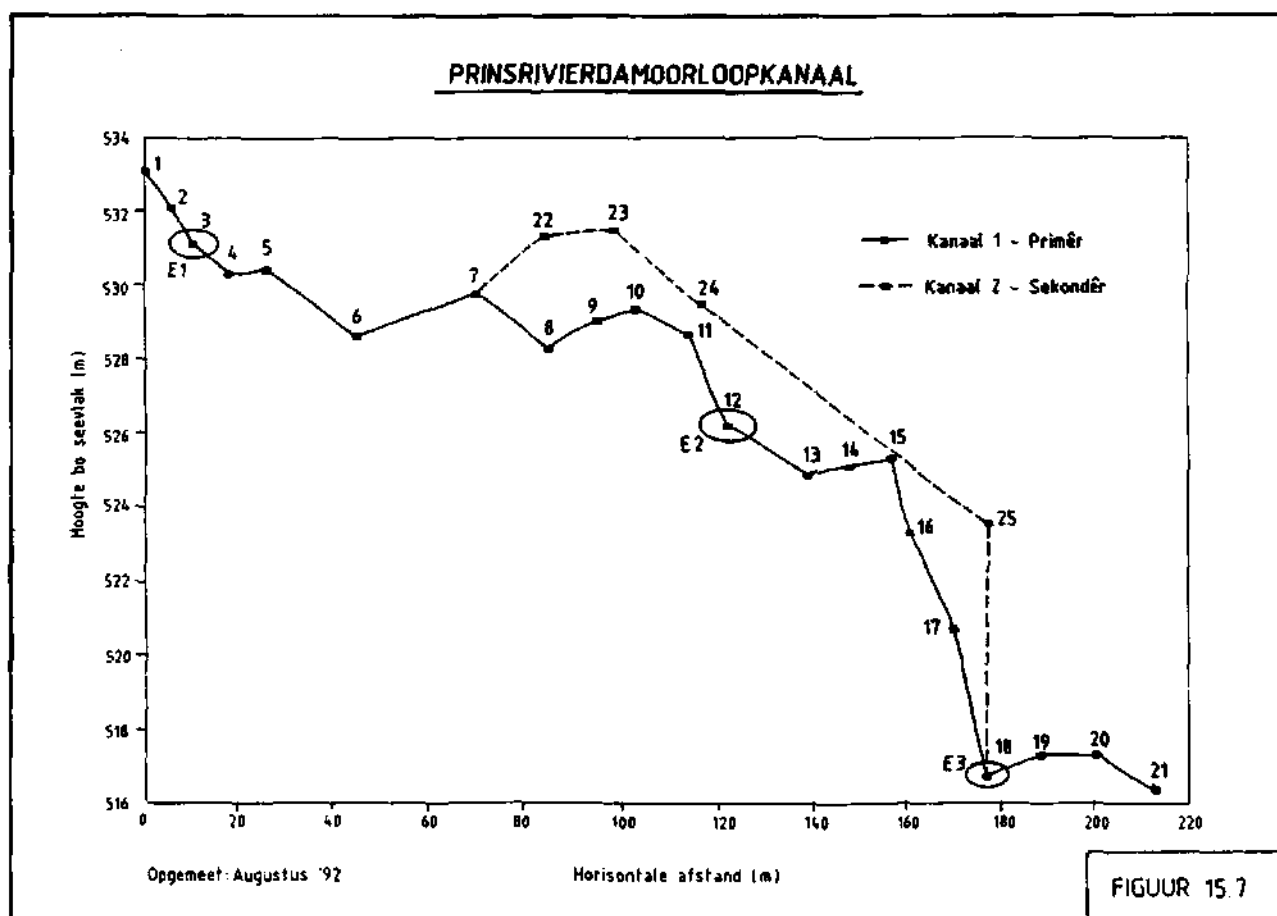
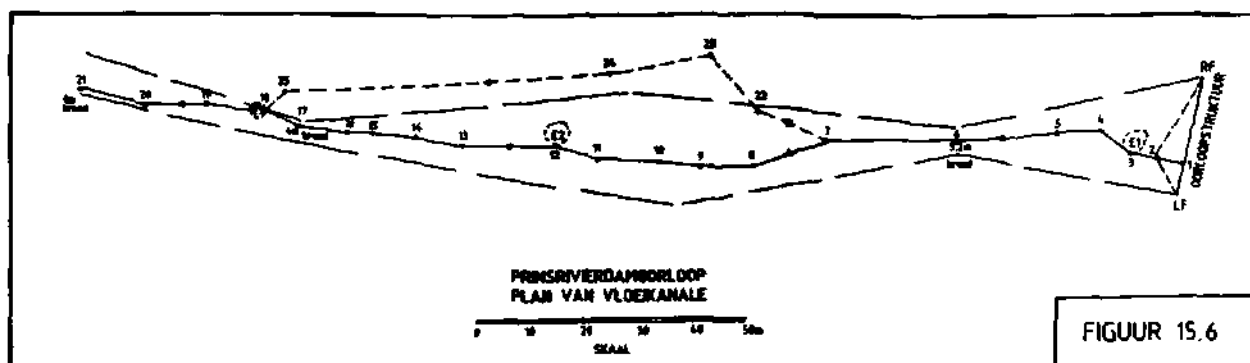
1 m	76°/010°
2 m	22°/347°
3 m	90°/180°
4 m	89°/245°
5 m	85°/135°

78 POLE



PRIMÈRE NAATSTELLE

FIGUUR 15.5



Tydens 'n vloed in 1981 het ernstige erosie stroomaf van die oorloopstruktuur voorgekom en dit gedeeltelik ondergrawe. Foto 15.2 (Album 3, Bylae 2) toon die omvang van die erosie aan.

Gedurende 1982 is 'n nuwe trogvormige struktuur met 'n ogee-oorloop (Foto 15.3, Album 3, Bylae 2) gebou en deeglik veranker. Figuur 15.1 toon 'n plan van die nuwe struktuur, terwyl Figure 15.2 en 15.3 snitte deur die ogee en die skort aantoon.

Die gesteentes in die oorloop bestaan uit kwartsiet, sandsteen, sliksteen en skalie van die Tafelberg Groep, Kaap Supergroep. Die gebied vorm deel van die Kaapse plooistreek en die rots is gevolglik geplooi en hoogs genaat.

Die gesteentelae hel steil na weerskante van die oorloopkanaal wat aandui dat dit langs die as van 'n antiklien geleë is. 'n Verskuiwingsone strek parallel met die kruin van die antiklien en veroorsaak dat die rots in die oorloopkanaal intens genaat en verbrokkel is. Die foliasie van die gesteentes is loodreg op die gelaagdheid wat veroorsaak dat die gesteente in blokkies opgebreek is. Figuur 15.4 is 'n skematiese voorstelling van die antiklien met verskuiwingsone. Die oorloop is in die boonste gedeelte van die antiklien gebou en erodeer dus makliker as gevolg van die verbrokkelde gesteente.

Agt en sewentig naatoriëntasies is opgemeet en op 'n Schmidt-net gestip. Die water vloei in 'n rigting 116 grade oor die gesteente. Figuur 15.5 is 'n stereografiese projeksie van die verskillende naatrigtings met die vloeirigting van die water ook aangedui.

Figuur 15.6 is 'n diagram wat die hoofvloeikanale en die drie erosiepunte toon. 'n Lengtesnit langs die twee kanale word in Figuur 15.7 uitgebeeld.

Erosiepunt 1 (Foto 15-E1, Album 5, Bylae 2) kom ongeveer 10 m stroomaf van die oorloopstruktuur voor. Die rots is swak en dig genaat en ernstige erosie het voorgekom omdat klein rotsblokke maklik deur die water beweeg kon word.

Erosiepunt 2 (Foto 15-E2, Album 5, Bylae 2) kom ongeveer 120 m stroomaf van die oorloopstruktuur voor en toestand is ongeveer dieselfde as dié by Punt 1. Ernstige erosie het voorgekom.

By Erosiepunt 3 (Foto 15-E3, Album 5, Bylae 2) het ernstige erosie in sagte, dig genate moddersteen en sliksteen plaasgevind.

16. Roodeplaatdam

Roodeplaatdam is 18 km noordoos van Pretoria in die Pienaarsrivier geleë. Dit is 'n boogdam wat 59 m hoog is en die oorloop is toegerus met energiever spreiders voordat water vry in 'n onbeklede skortgebied val (Foto 16.1, Album 4, Bylae 2). Die kruinlengte van die boog is 195 m en die oorloopgedeelte is 143 m lank. Figuur 16.1 is 'n algemene plan van die dam en Figuur 16.2 'n snit deur die damwal.

Die terrein word onderlê deur felsiet van die Leeuwfontein Intrusiewe Suite. Drie naatstelle kom voor. Van die nate is baie gegolf wat meebring dat die rotsdagsome 'n geronde voorkoms vertoon (Foto 16.2, Album 3, Bylae 2). Verwering van die nate is tot 2 m benede die grondoppervlak beperk.

Erosiepunt 1 (Foto 16-E1, Album 5, Bylae 2) is in 'n sone van 'n dig genate, matig verweerde rotslaag teen die linkerflank geleë. Geringe erosie het plaasgevind omdat slikkerige naatvul tussen klein rotsblokke kon uitspoel.

Erosiepunt 2 (Foto 16-E2, Album 5, Bylae 2) is op effens verweerde, wyd genate, baie sterk felsiet teen die regterflank gekies waar geen erosie plaasgevind het nie.

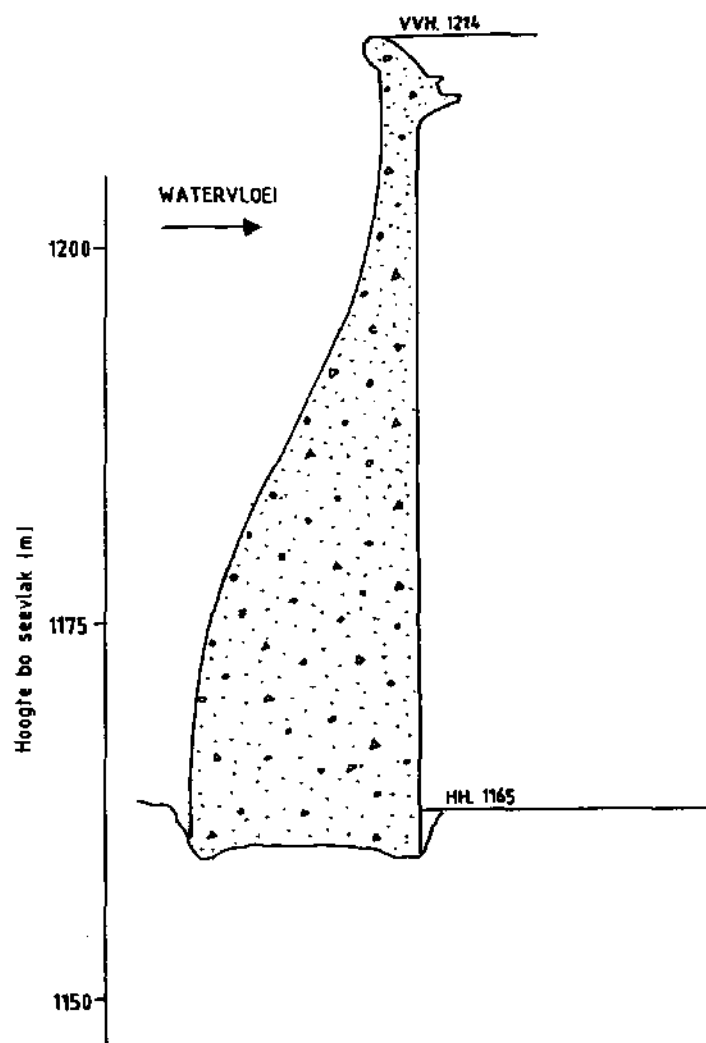
17. Tuinroetendam

Tuinroetendam is 3 km oos van George in die Swartrivier geleë. Die 39 m-hoë grondvuldam (Foto 17.1, Album 3, Bylae 2) is in 1979 voltooi. Dit het 'n onbeheerde ogee-tipe oorloop met betonbeklede stilbak en onbeklede afvoerkanaal langs die regterflank (Foto 17.2, Album 3, Bylae 2). 'n Keermuur is ± 100 m stroomaf van die oorloopstruktuur gebou om terugwaartse erosie te verhoed. Figuur 17.1 is 'n algemene diagram van die damwal en oorloop. Figuur 17.2 verteenwoordig 'n snit deur die oorloopgedeelte en stilbak.

Die afvoerkanaal word onderlê deur mikaskis en andalusietskis van die Saasveld Formasie van die Kaaimans Groep. Die gelaagdheid van die andalusietskis strek loodreg ten opsigte van die watervloei en hel ongeveer 70° stroomaf. Nadat die boonste laag van 1,5 m weggespoel het, het erosie gestabiliseer op 'n harde skisband.

Figuur 17.3 toon 'n lengtesnit van die afvoerkanaal en die posisie van Erosiepunt 1.

By Erosiepunt 1 (Foto 17-E1, Album 5, Bylae 2) het matige erosie plaasgevind deur die verwydering van steil hellende laagvlakke wat dig gepasieer is in die effens tot matig verweerde skis. Die meganisme van erosie word in Figuur 17.4 getoon.



ROODEPLAATDAM

Maks. uitvloeï : $971 \text{ m}^3/\text{s}$ (1978)

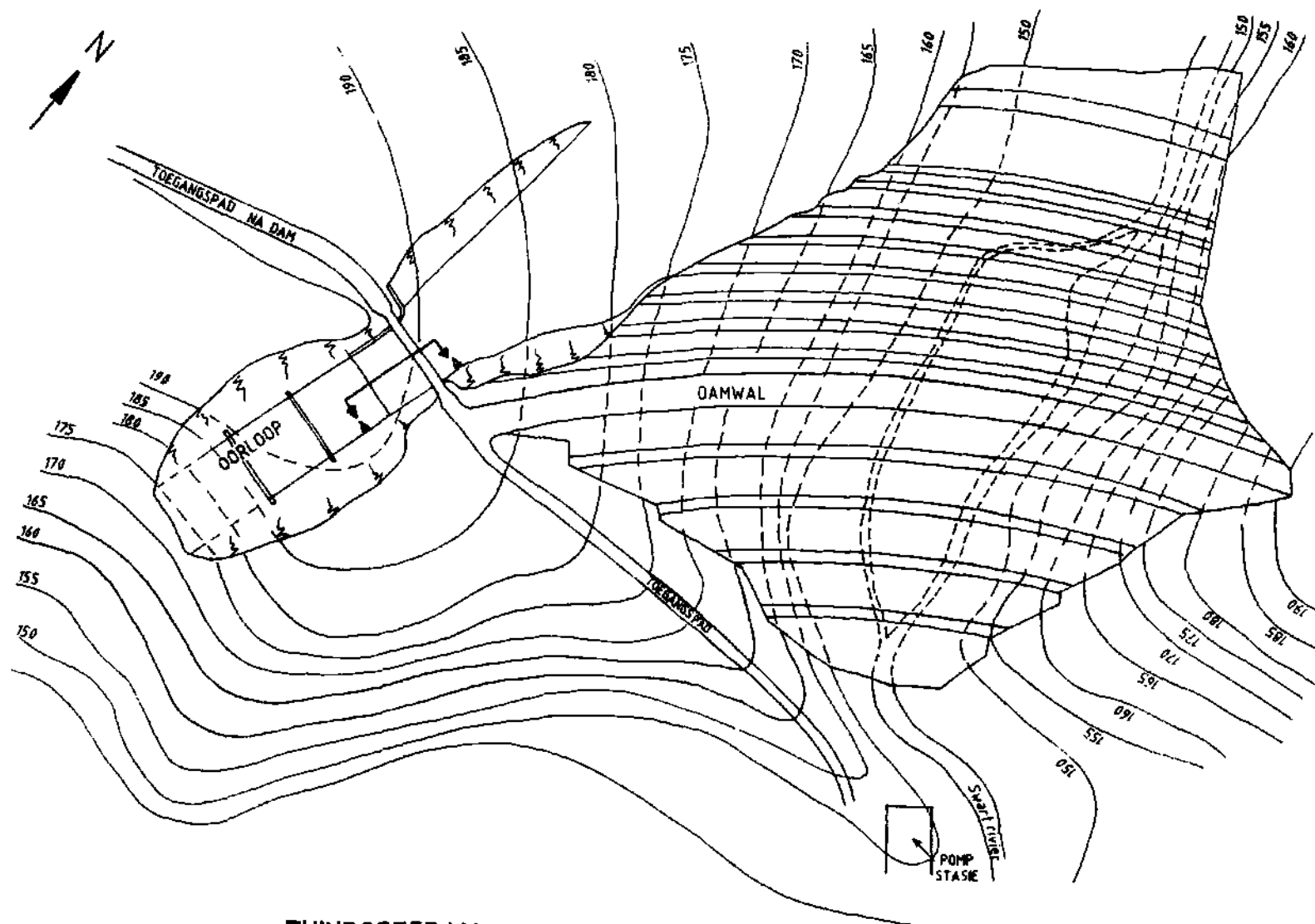
Kruinlengte
(oorloop) : 143 m

$K_n = 3570$ min erosie

0 10 20 m

SKAAL 1 : 500

FIGUUR 16.2



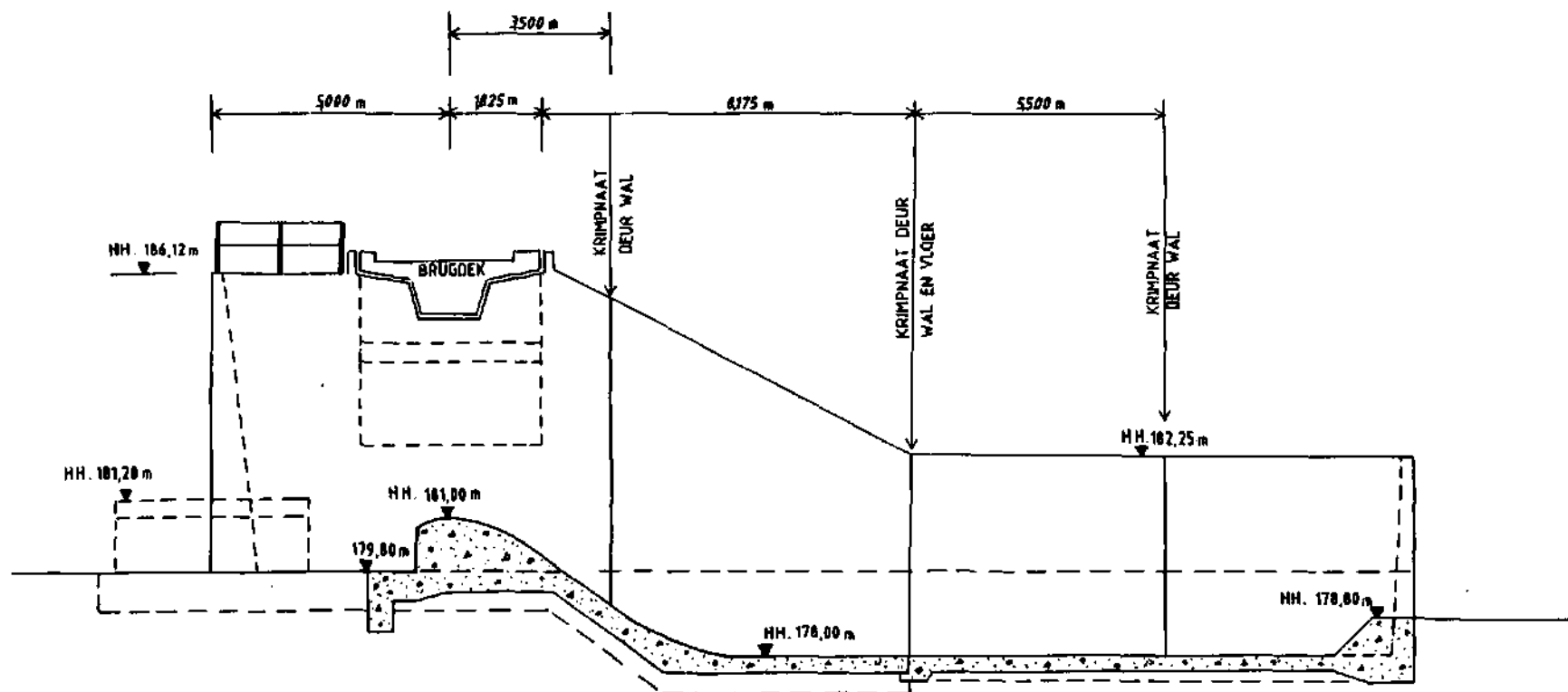
TUINROETEDAM

Kontoere in meter

ALGEMENE PLAN VAN DAM EN OORLOOP
A-A Snit deur damwaloorloop (kyk Fig. 17.3)

0 50 100 m
SKAAL 1 : 2000

FIGUUR 17.1



TUINROETEDAM

Maks. uitvloeï : $54,21 \text{ m}^3 / \text{s}$ (1985)

Kruinlengte

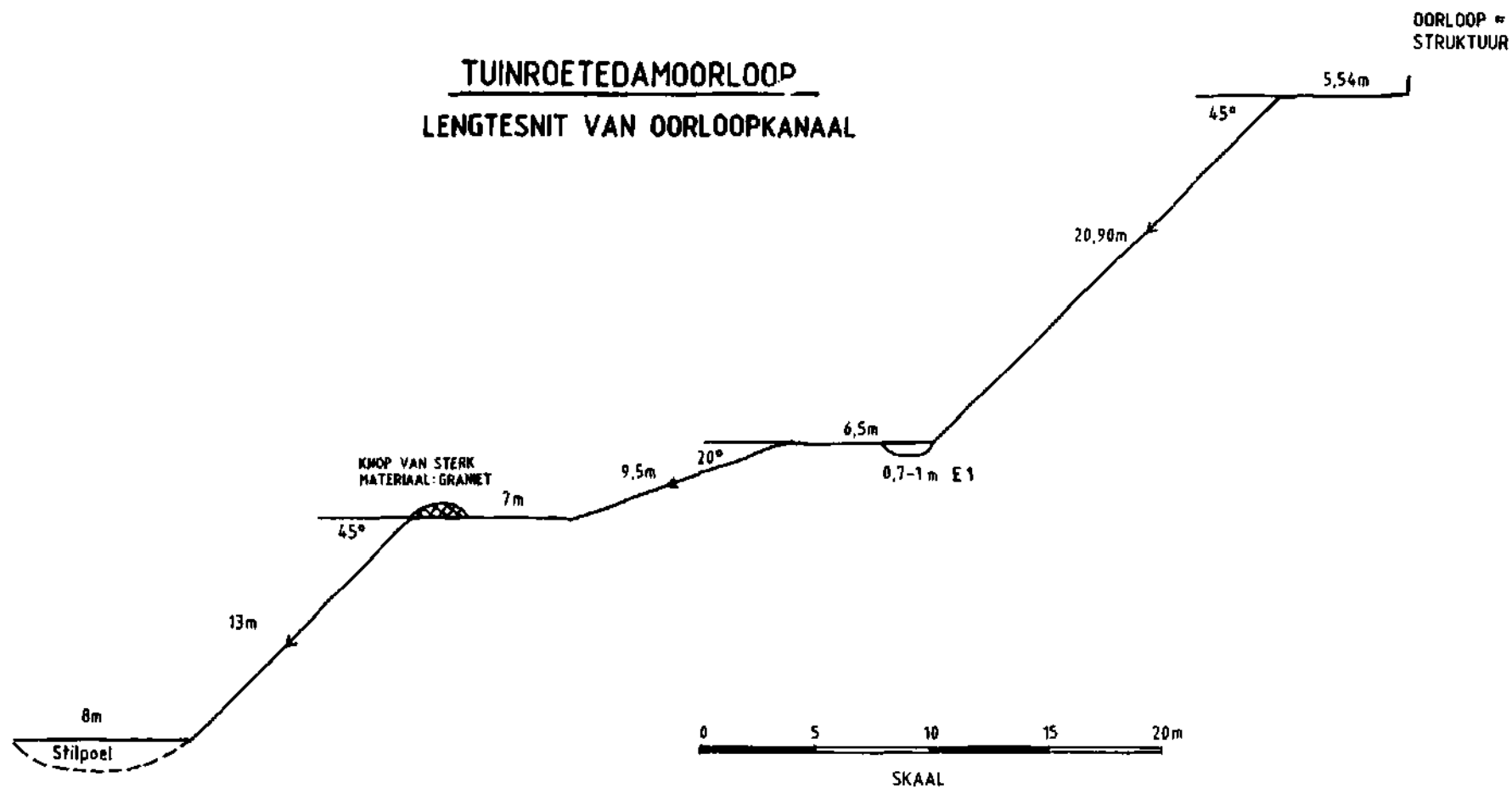
(oorloop) : 26 m

Skaal 1:150

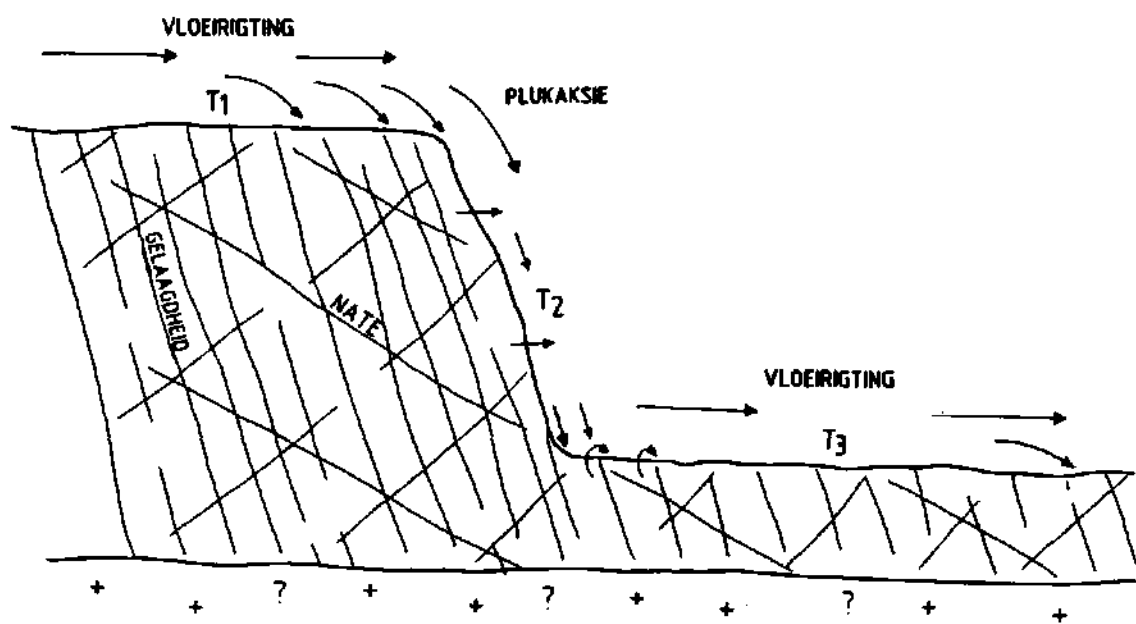
0 3 6 9 12 15 m

FIGUUR 17.2

TUINROETEDAMMOORLOOP LENGTESNIT VAN OORLOOPKANAAL



FIGUUR 17.3



PLUKAKSIE VAN ROTSBLOKKE WANNEER WATER OOR ROT S VLOEI (TUINROETEDAM)

FIGUUR 17.4

18. Wagendriftydam

Wagendriftydam is 'n 40 m-hoë, meervoudige boogdam wat 4 km suidwes van Estcourt in die Boesmansrivier geleë is. Die dam het 'n kruinlengte van 281 m en die middelste twee boë dien as oorlope vir die dam (Figuur 18.1).

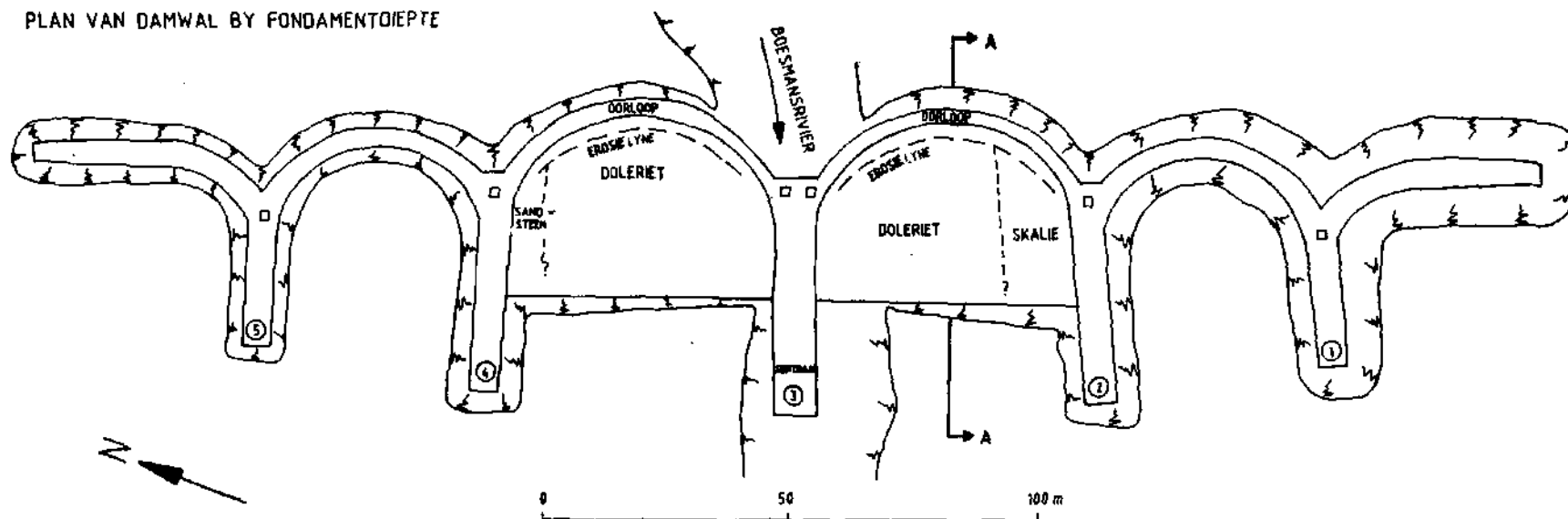
Aanvanklik het water vry op 'n onbeklede skortgebied geval (Figuur 18.2). As gevolg van matige erosie is 'n betonskort gedurende 1991 gebou (Foto 18.1, Album 3, Bylae 2).

Die skortgebied word deels onderlê deur sandsteen en skalie van die Estcourt Formasie van die Beaufort Groep, Karoo Opeenvolging, en deels deur 'n intrusiewe dolerietplaat.

Die dolerietintrusie veroorsaak dat die skalie hoogs genaat is en dat diep verweerde sones langs kontaksones ontstaan het.

Erosiepunt 1 (Foto 18-E1, Album 5, Bylae 2) word op Figuur 18.1 aangetoon. Die skalie is matig verweer en bevat hoogs verweerde laagvlakke en wyd gespasiëerde nate. Erosie van die swak laagvlakke het gelei tot ondergraving van oorliggende sterker lae en verwydering van plaatvormige rotsblokke.

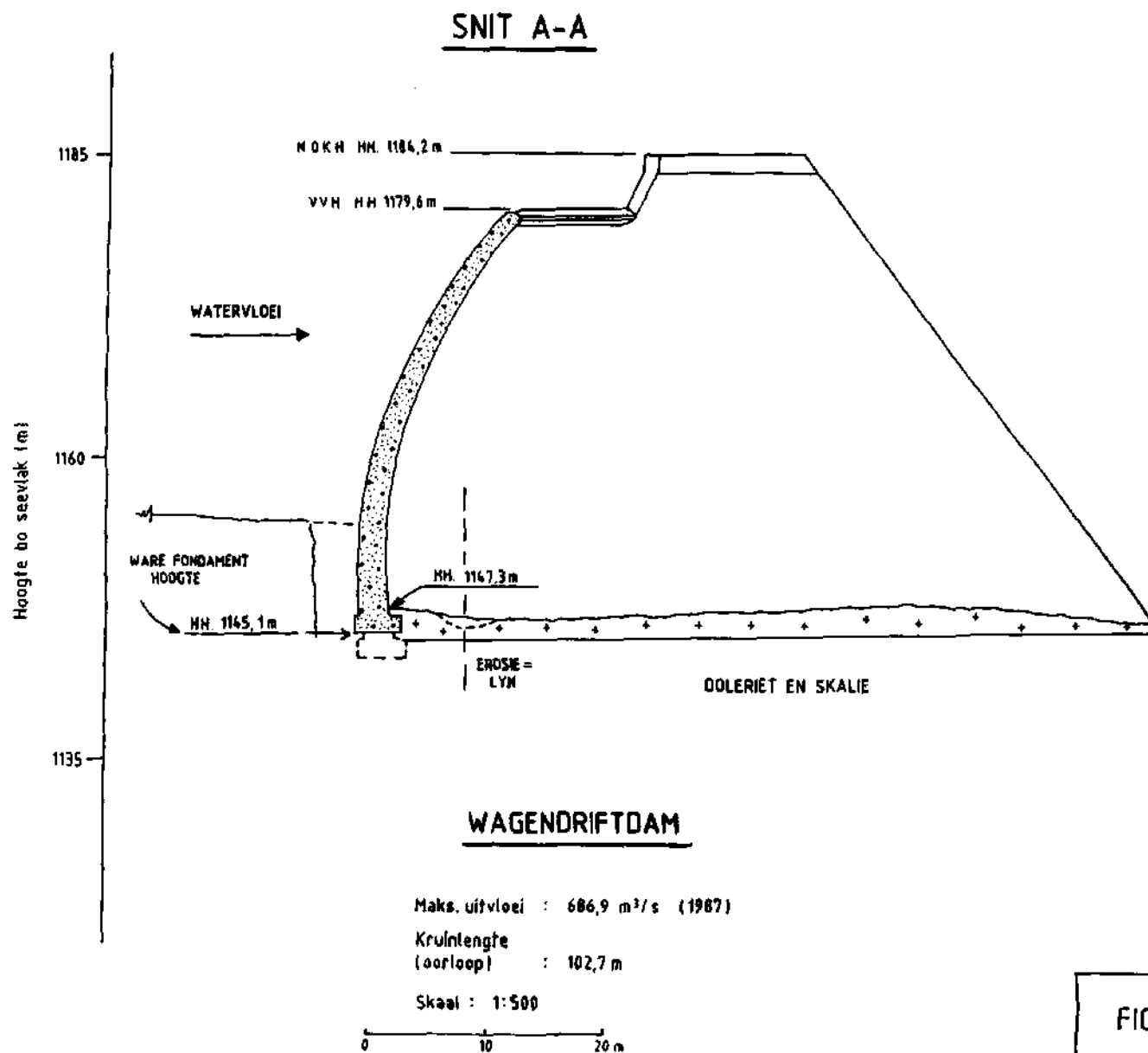
PLAN VAN DAMWAL BY FONDAMENTOIEPTE



WAGENDRIFTDAM

A-A Snit deur damwal (kyk Figuur 18.2)

FIGUUR 18.1



FIGUUR 18.2

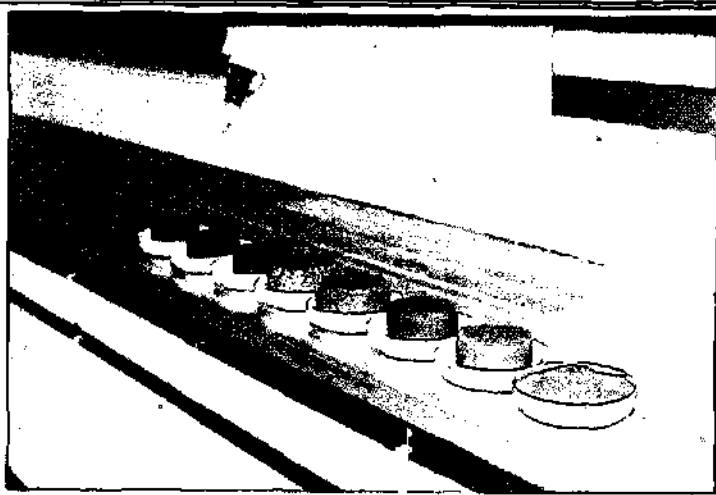
BYLAE 2

FOTO-ALBUMS

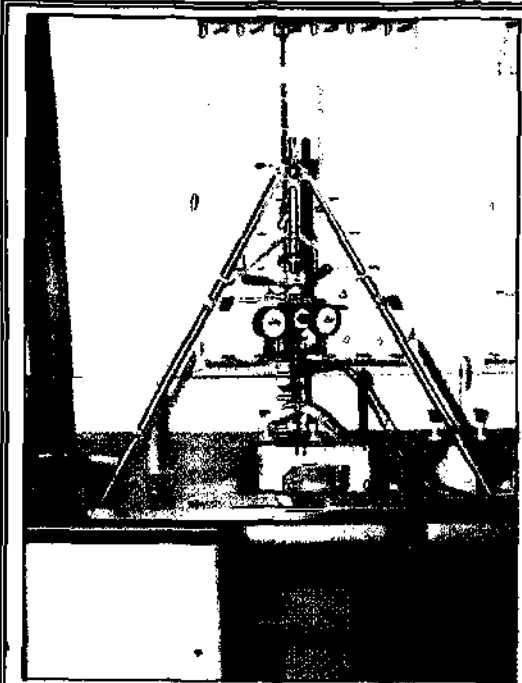
- 1. FOTO'S VIR DIE VERSLAG**
- 2. FOTO'S VAN DAMOORLOPE WAARVOOR GEEN VLOEIDATA
BESKIKBAAR IS NIE**
- 3. FOTO'S VAN DAMOORLOPE WAARVOOR VLOEIDATA
BESKIKBAAR IS**
- 4. SKUINS LUGFOTO'S VAN DAMME**
- 5. FOTO'S VAN EROSIEPUNTE**

ALBUM 1

FOTO'S VIR DIE VERSLAG



4.1 Monsters na watertoets.



4.2 ETCOM (Erosion Tester Chamber of Mines) toets apparaat.



4.3 Vloeikanaal soos opgerig by die Universiteit van Pretoria



4.4 Klein kanaal wat groter snelhede kan hanteer.



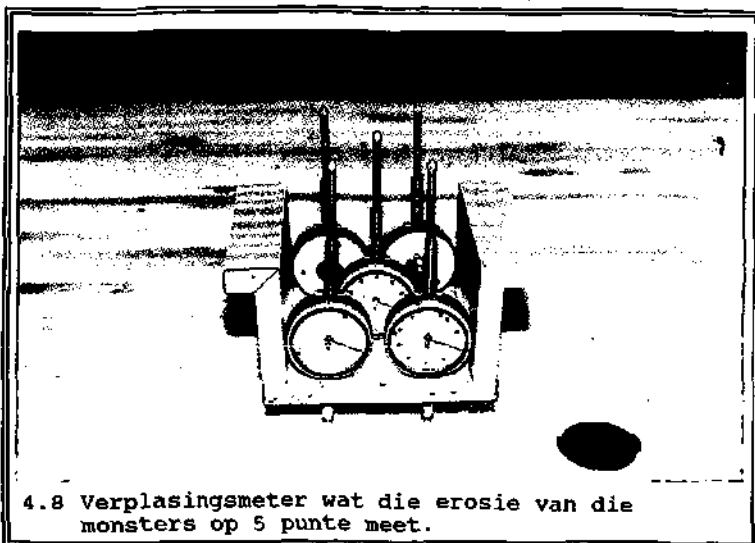
4.5 Reguit kanaaltoets.



4.6 Monsters tapsgewys in kanaal geplaas.



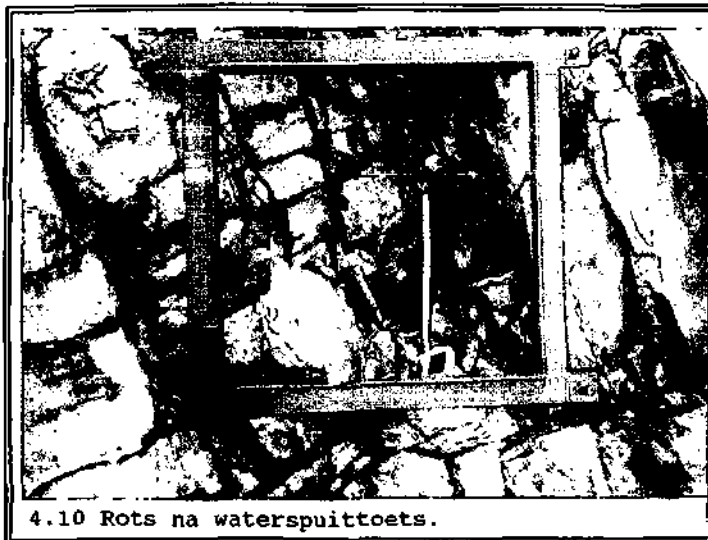
4.7 Kleiteëls in kanaal.



4.8 Verplasingsmeter wat die erosie van die monsters op 5 punte meet.



4.9 Rots voor waterspuittoets.



4.10 Rots na waterspuittoets.

ALBUM 2

**FOTO'S VAN DAMOORLOPE
WAARVOOR GEEN VLOEIDATA BESKIKBAAR IS NIE**



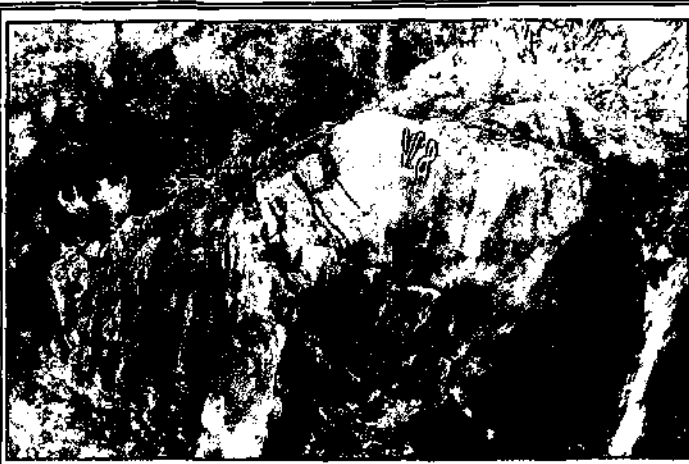
B.1. Arieskraal II. Betonboogdam.



C.1. Bevensondam. Erosie in afvoerkanaal.



E.1. Koos Raubenheimerdam. Hulp oorloop.



F.1. Melvilledam. Erosie in veldspatiese sandsteen.



G.1. Nagledam. Afvoerkanaal.



H.1. Nuwebergdam. Afvoerkanaal.



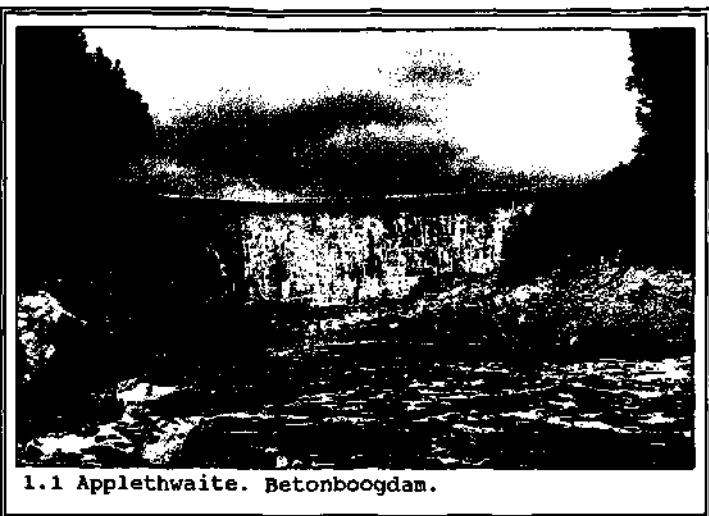
I.1. Boonste Steenbras. Afvoerkanaal.



J.1. Laer Steenbras. Swaartekragdam.

ALBUM 3

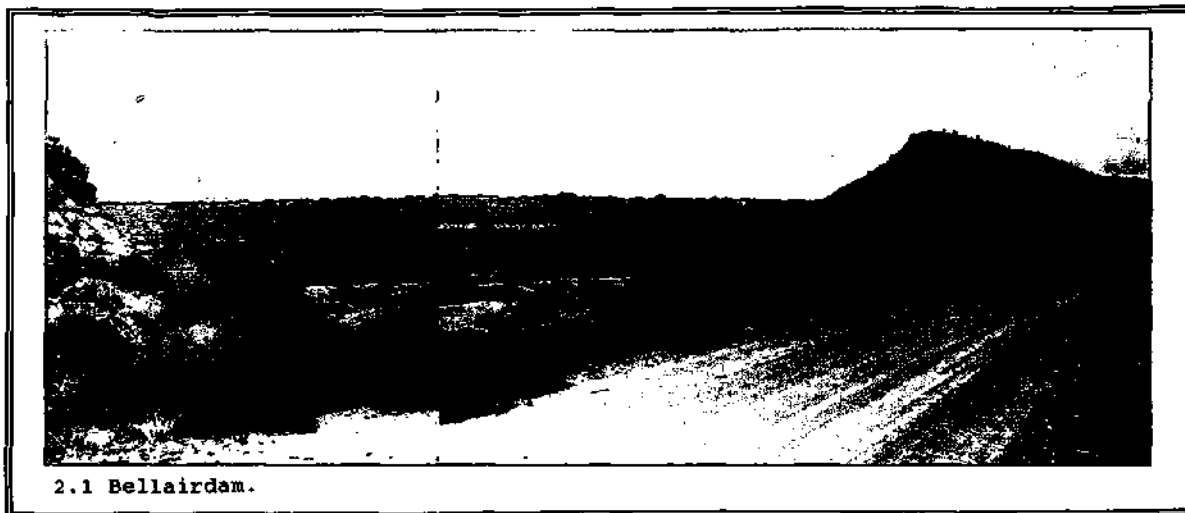
**FOTO'S VAN DAMOORLOPE
WAARVOOR VLOEIDATA BESKIKBAAR IS**



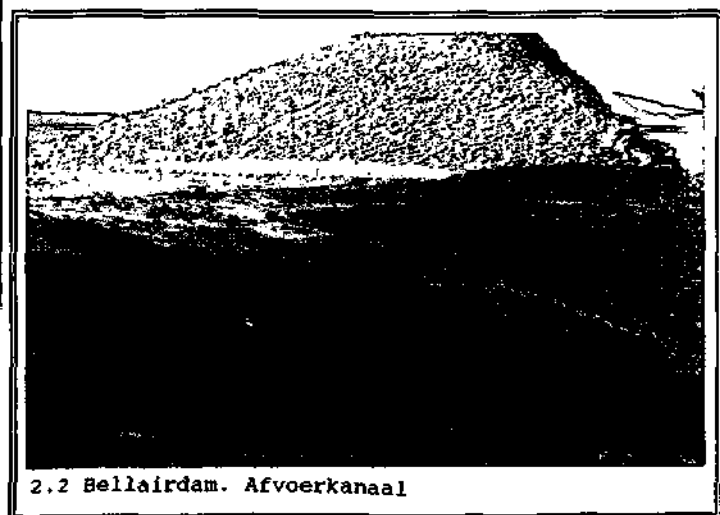
1.1 Applethwaite. Betonboogdam.



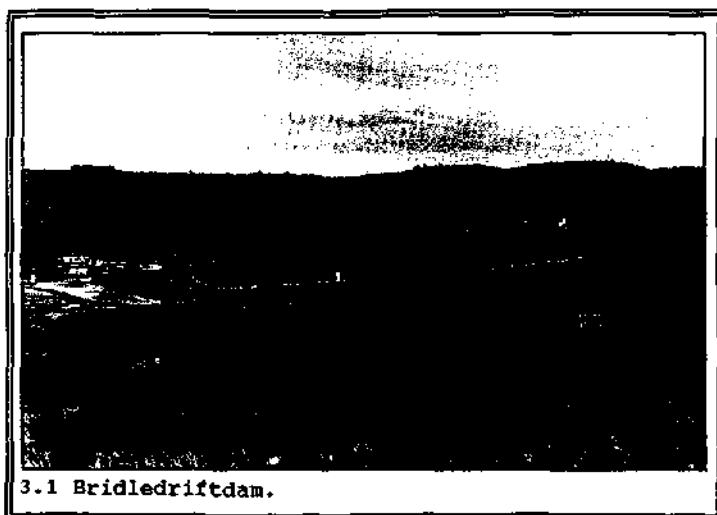
1.2 Applethwaite. Afvoerkanaal.



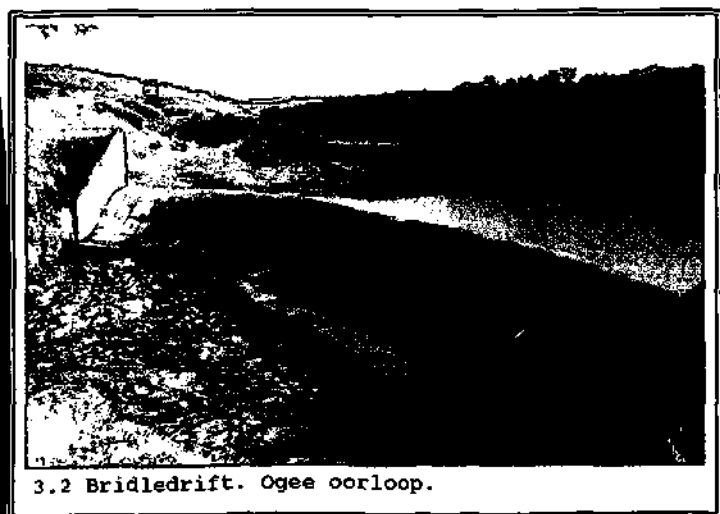
2.1 Bellairdam.



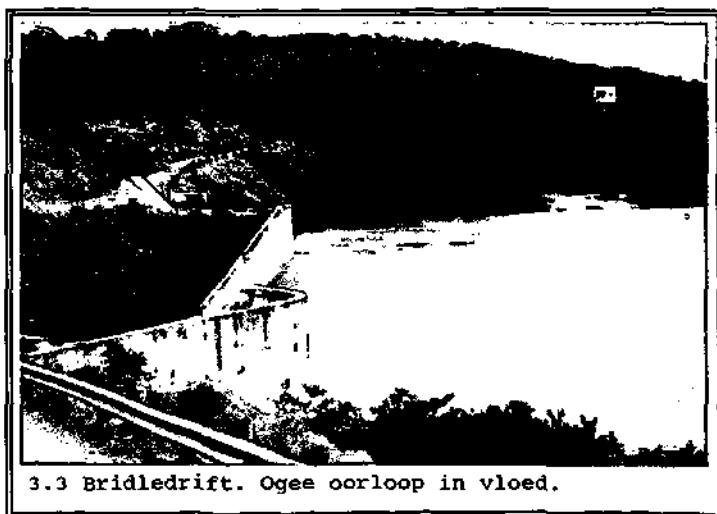
2.2 Bellairdam. Afvoerkanaal



3.1 Bridledriftdam.



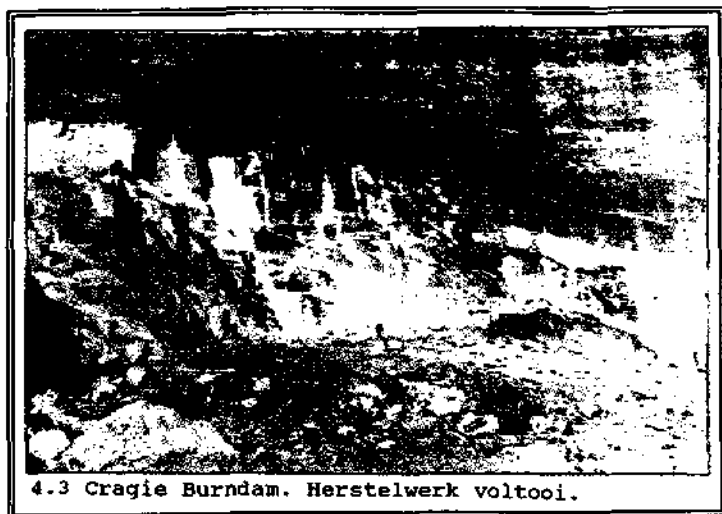
3.2 Bridledrift. Ogee oorloop.



3.3 Bridledrift. Ogee oorloop in vloed.



4.2 Cragie Burndam na 1987 vloed.



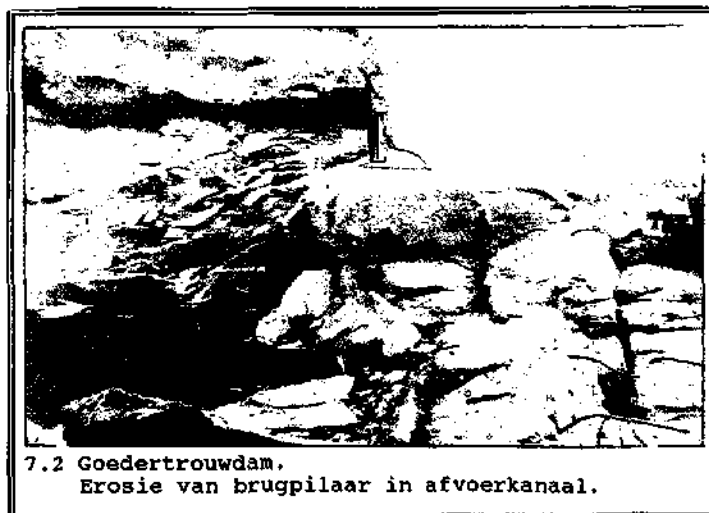
4.3 Cragie Burndam. Herstelwerk voltooi.



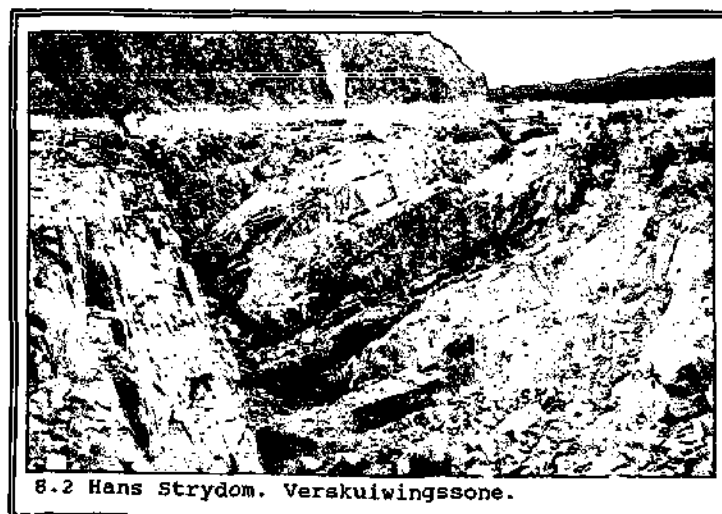
5.2 Floriskraal. Erosieskade na vloed.



6.2 Gamkapoort. Erosieskade stroomaf van wipskoop.



7.2 Goedertrouwdam.
Erosie van brugpilaar in afvoerkanaal.



8.2 Hans Strydom. Verakuiwingssone.



10.2 Kammanassiedam.
Boonste deel van afvoerkanaal.



10.3 Kammanassiedam.
Onderste punt van afvoerkanaal.



11.2 Katrivierdam. Afvoerkanaal.



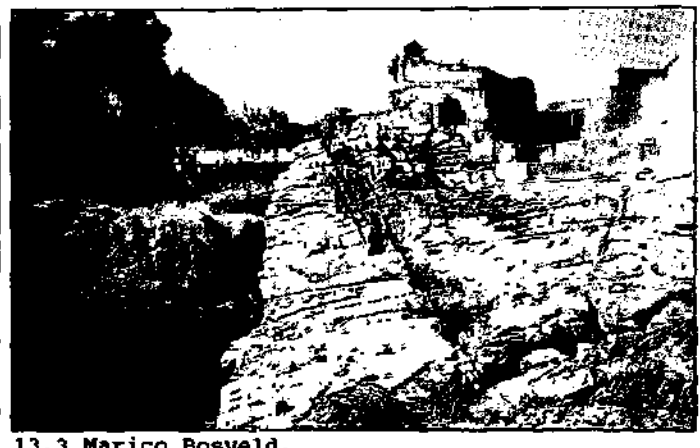
12.1 Klipfonteindam.



12.2 Klipfonteindam. Afvoerkanaal.



13.2 Marico Bosveld. Geboë wal om erosiesloot.



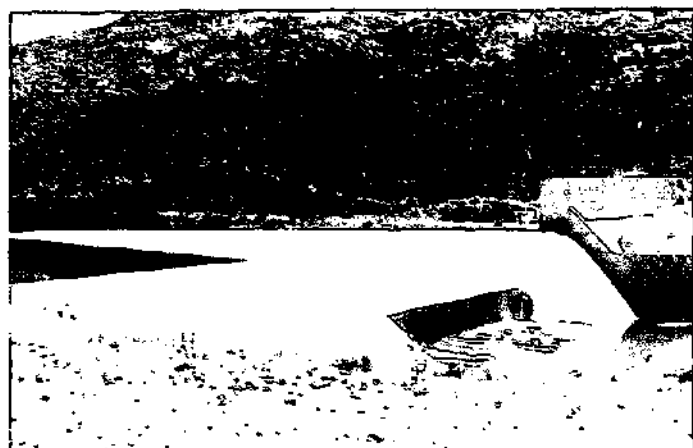
13.3 Marico Bosveld.
Erosiesloot in diabaasgang (links).



14.1 Mzikidam. Oorloopkanaal na vloed.



14.2 Mzikidam. Oorloop na herstelwerk.



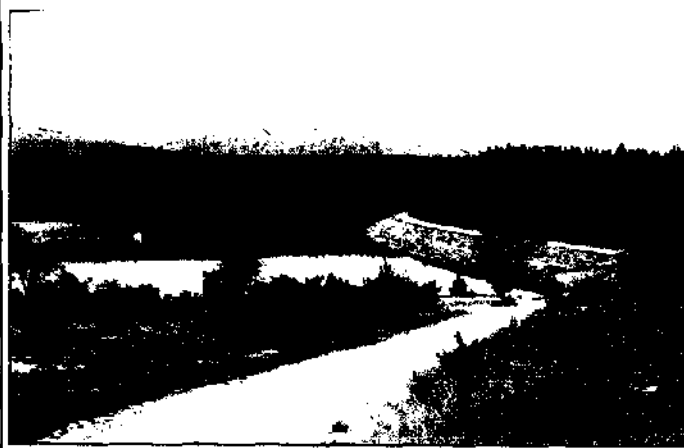
15.2 Prinsrivierdam. Huidige ogee oorloop.



15.3 Prinsrivierdam. Erosie in afvoerkanaal.



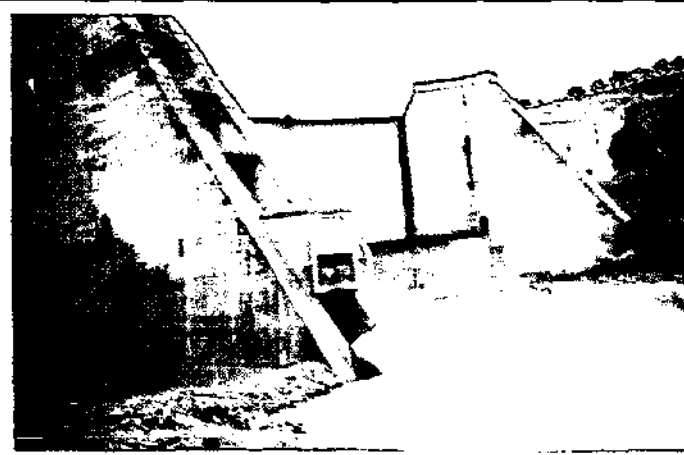
16.2 Roodeplaatdam. Rotsdagsome.



17.1 Tuinroetedam.



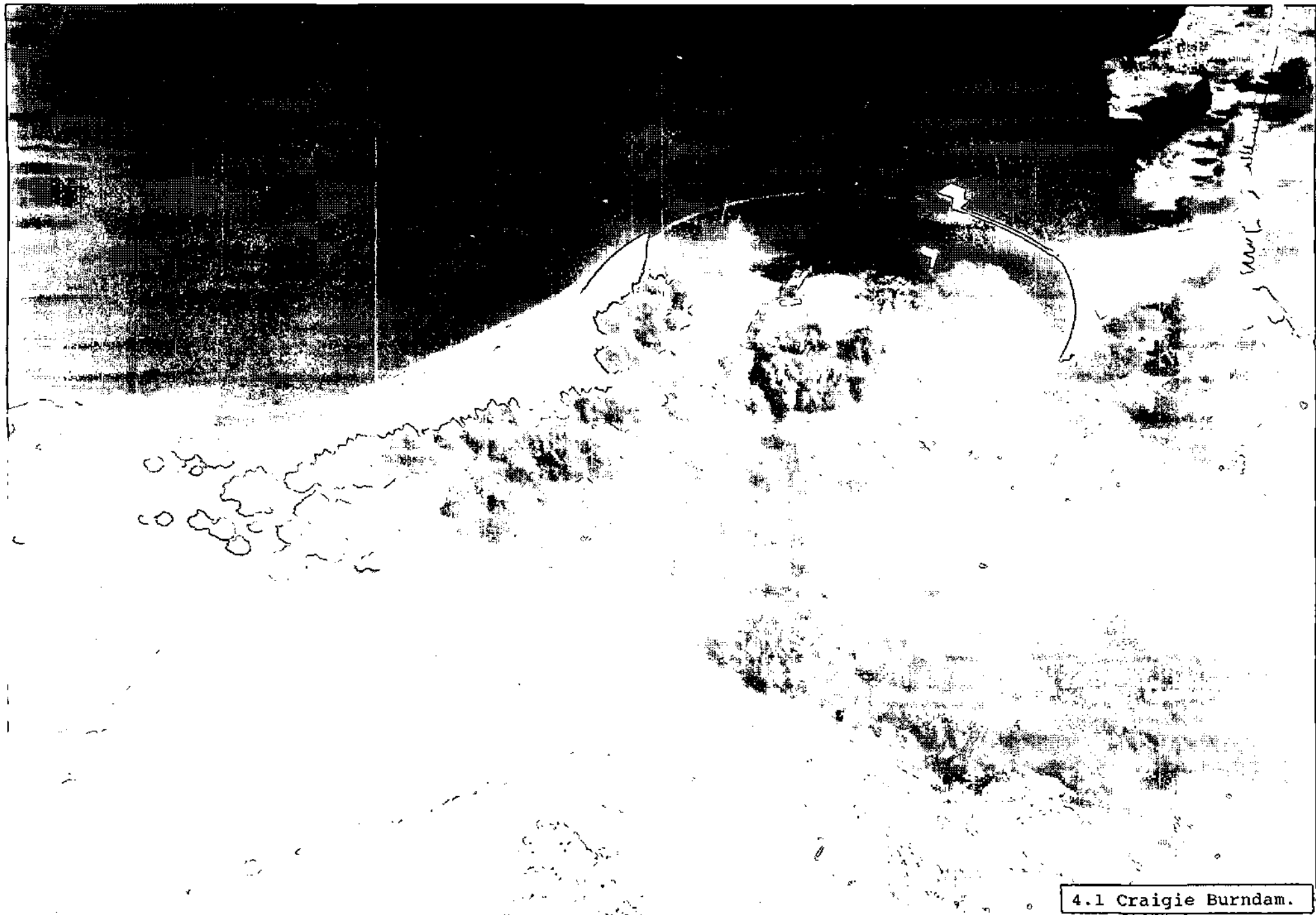
17.2 Tuinroetedam. Ogee oorloop.



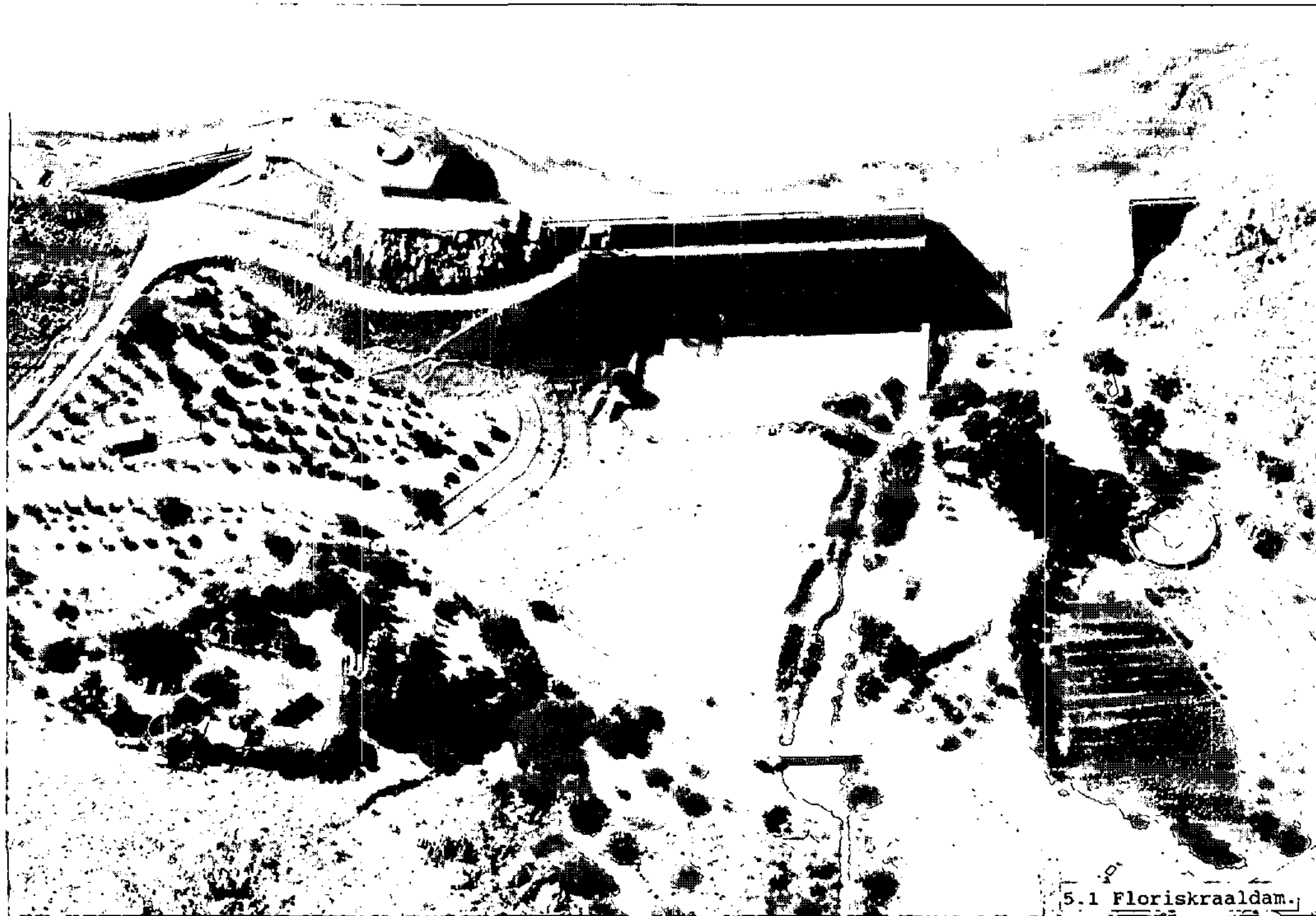
18.1 Wagendriftdam.

ALBUM 4

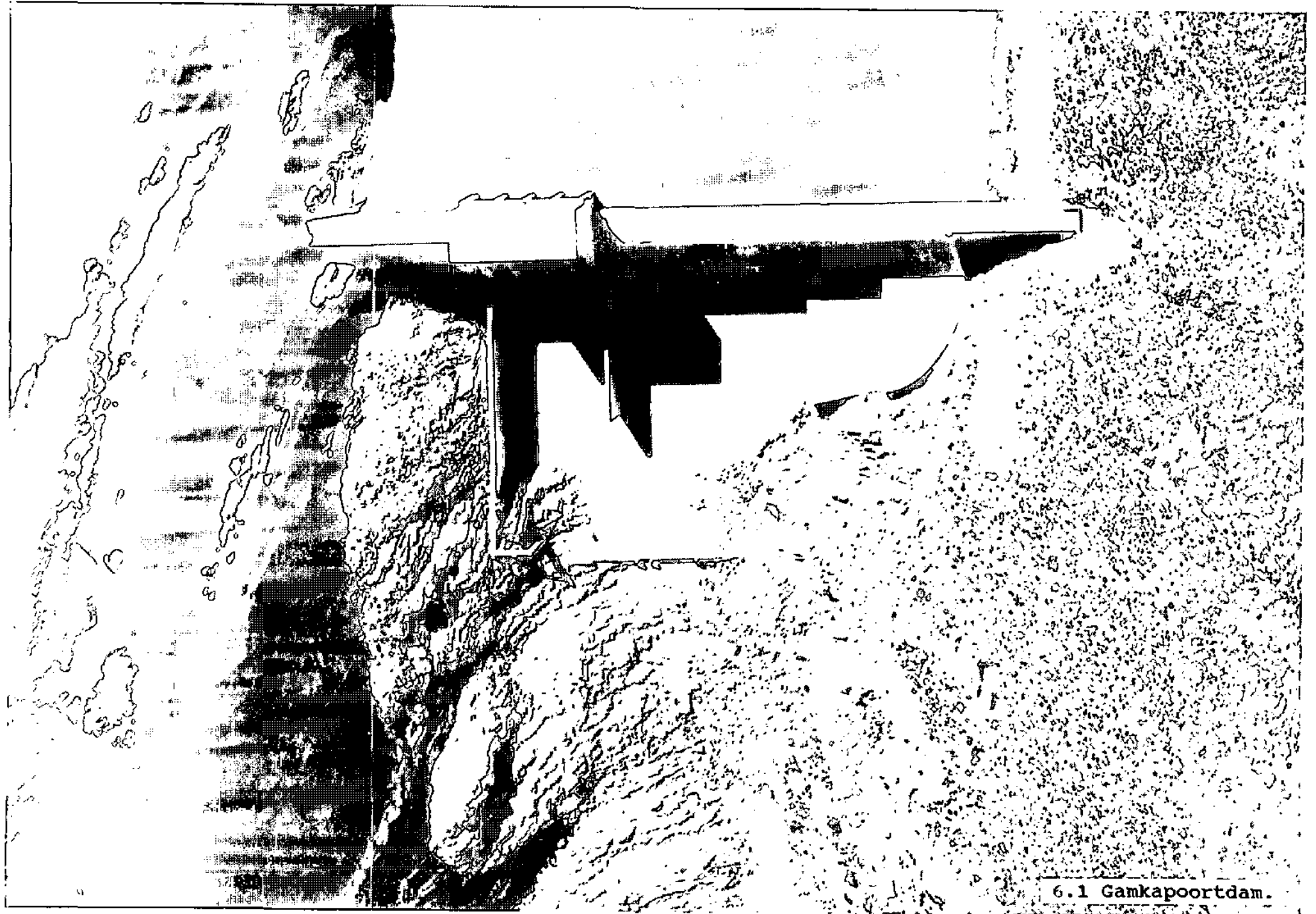
SKUINS LUGFOTO'S VAN DAMME



4.1 Craigie Burndam.



5.1 Floriskraaldam.



6.1 Gamkapoortdam.



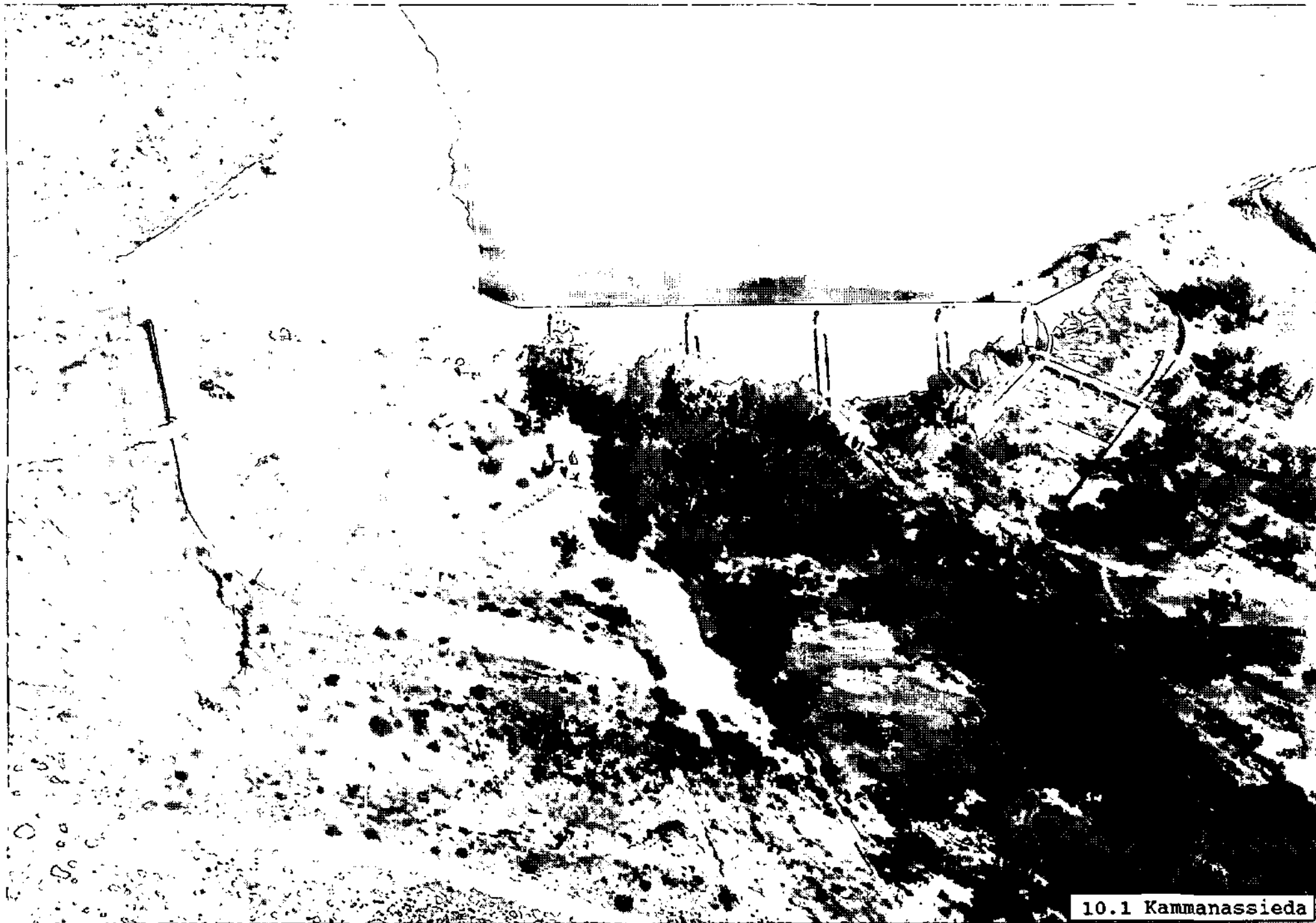
7.1 Goedertrouwdam.



8.1 Hans Strydomdam.



9.1 Hartebeespoortdam.



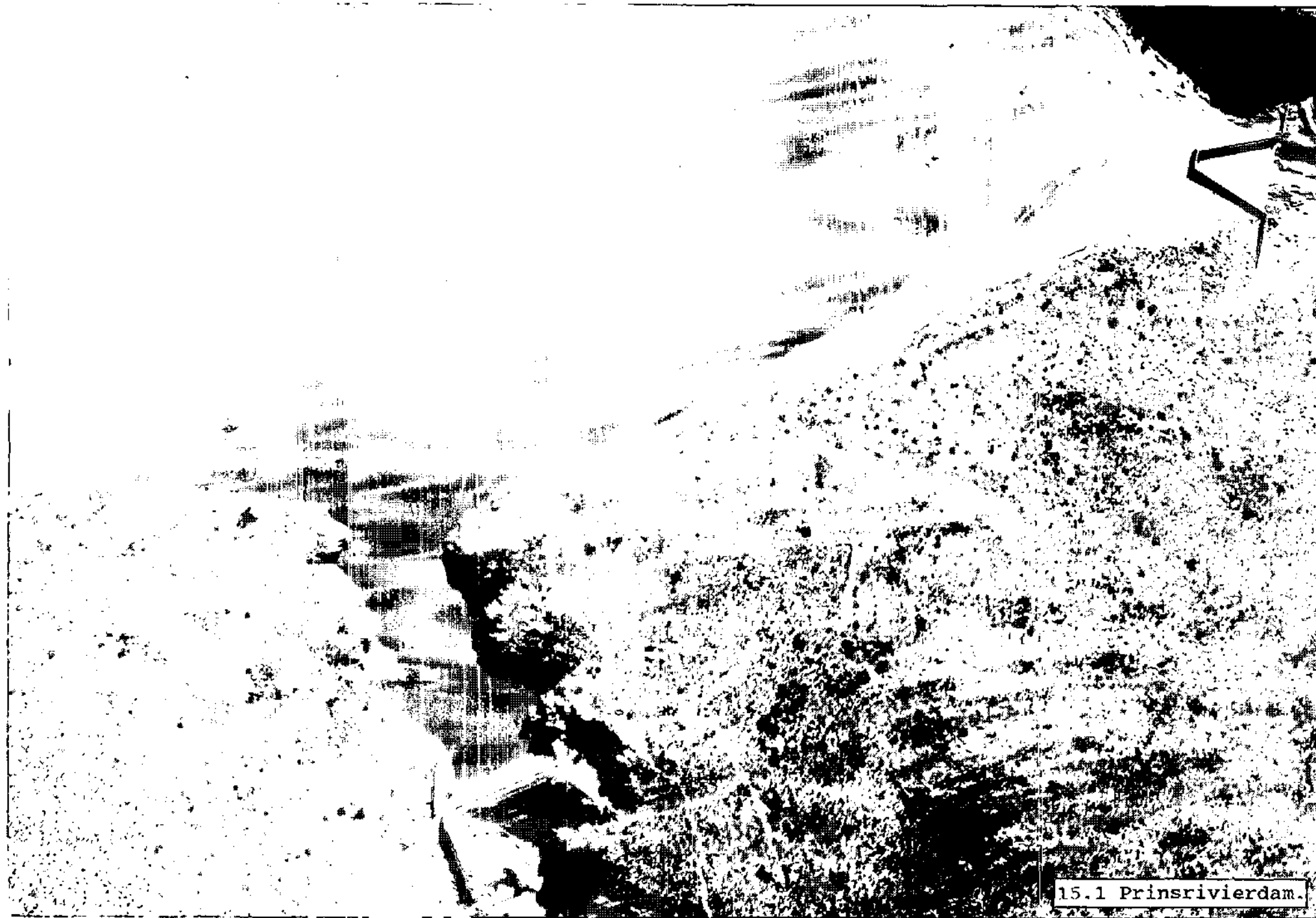
10.1 Kammanassieda



11.1 Katrivierdam.



13.1 Marico Bosvelddam.



15.1 Prinsrivierdam.



16.1 Roodeplaatdam.

ALBUM 5

FOTO'S VAN EROSIEPUNTE



1-E1. Applethwaite, erosiepunt 1.



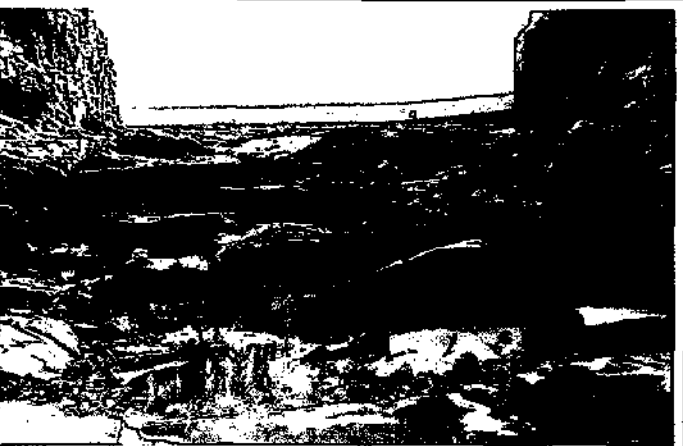
2-E1. Bellair, erosiepunt 1.



2-E2. Bellair, erosiepunt 2.



3-E1. Bridledrift, erosiepunt 1.



3-E2. Bridledrift, erosiepunt 2.



3-E3. Bridledrift, erosiepunt 3.



4-E1. Craigie Burn, erosiepunt 1.



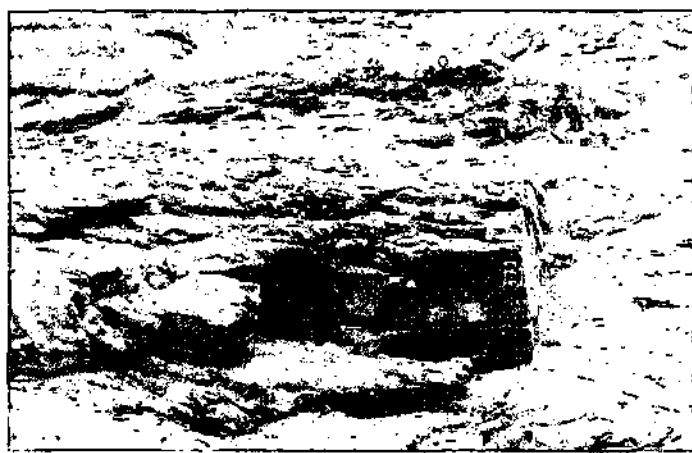
5-E1. Floriskraal, erosiepunt 1.



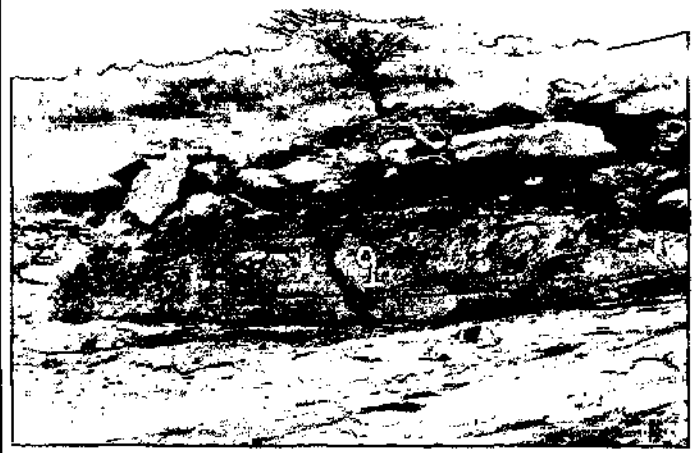
5-E2. Floriskraal, erosiepunt 2.



6-E1. Gamkapoort, erosiepunt 1.



7-E1. Goedertrouw, erosiepunt 1.



7-E2. Goedertrouw, erosiepunt 2.



7-E3. Goedertrouw, erosiepunt 3.



7-E4. Goedertrouw, erosiepunt 4.



8-E1. Hans Strydom, erosiepunt 1.



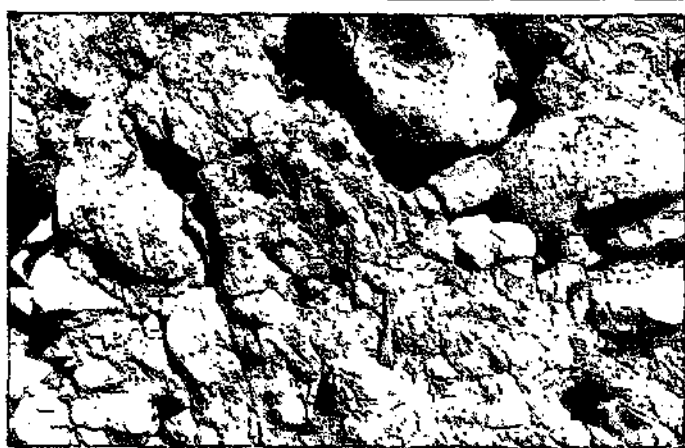
8-E2. Hans Strydom, erosiepunt 2.



8-E3. Hans Strydom, erosiepunt 3.



8-E4. Hans Strydom, erosiepunt 4.



8-E5. Hans Strydom, erosiepunt 5.



9-E1. Hartebeespoort, erosiepunt 1.



9-E2. Hartebeespoort, erosiepunt 2.



10-E1. Kammanassie, erosiepunt 1.



10-E2. Kammanassie, erosiepunt 2.



10-E3. Kammanassie, erosiepunt 3.



11-E1. Katrivier, erosiepunt 1.



11-E2. Katrivier, erosiepunt 2.



12-E1. Klipfontein, erosiepunt 1.



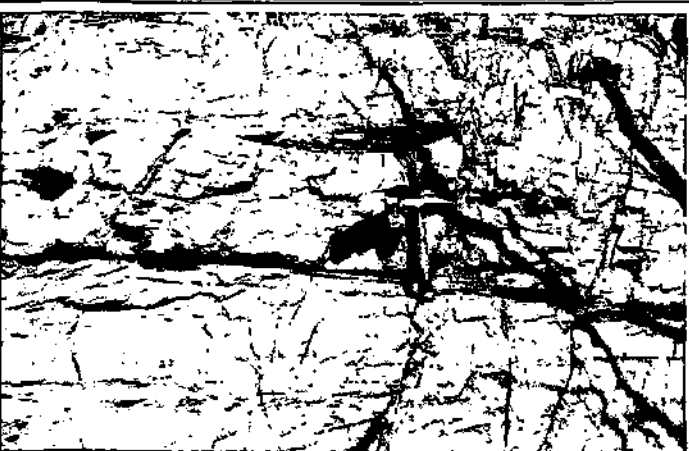
12-E2. Klipfontein, erosiepunt 2.



12-E3. Klipfontein, erosiepunt 3.



12-E4. Klipfontein, erosiepunt 4.



13-E1. Marico Bosveld, erosiepunt 1.



13-E2. Marico Bosveld, erosiepunt 2.



13-E3. Marico Bosveld, erosiepunt 3.



13-E4. Marico Bosveld, erosiepunt 4.



14-E1. Mziki, erosiepunt 1.



14-E2. Mziki, erosiepunt 2.



15-E1. Prinsrivier, erosiepunt 1.



15-E2. Prinsrivier, erosiepunt 2.



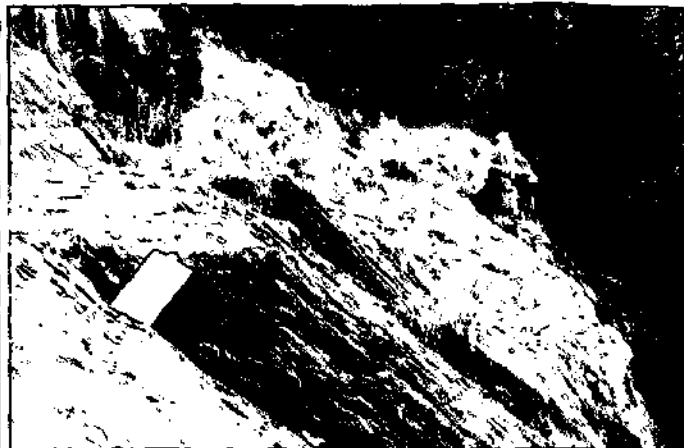
15-E3. Prinsrivier, erosiepunt 3.



16-E1. Rooдеplaat, erosiepunt 1.



16-E2. Roodeplaat, erosiepunt 2.



17-E1. Tuinroete, erosiepunt 1.

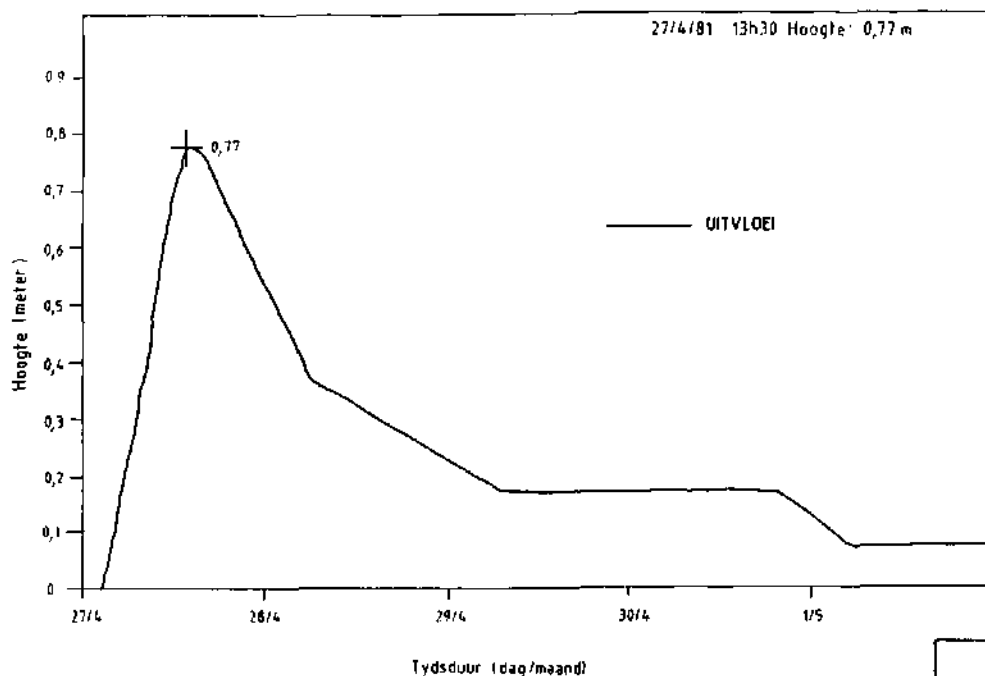


18-E1. Wagendrift, erosiepunt 1.

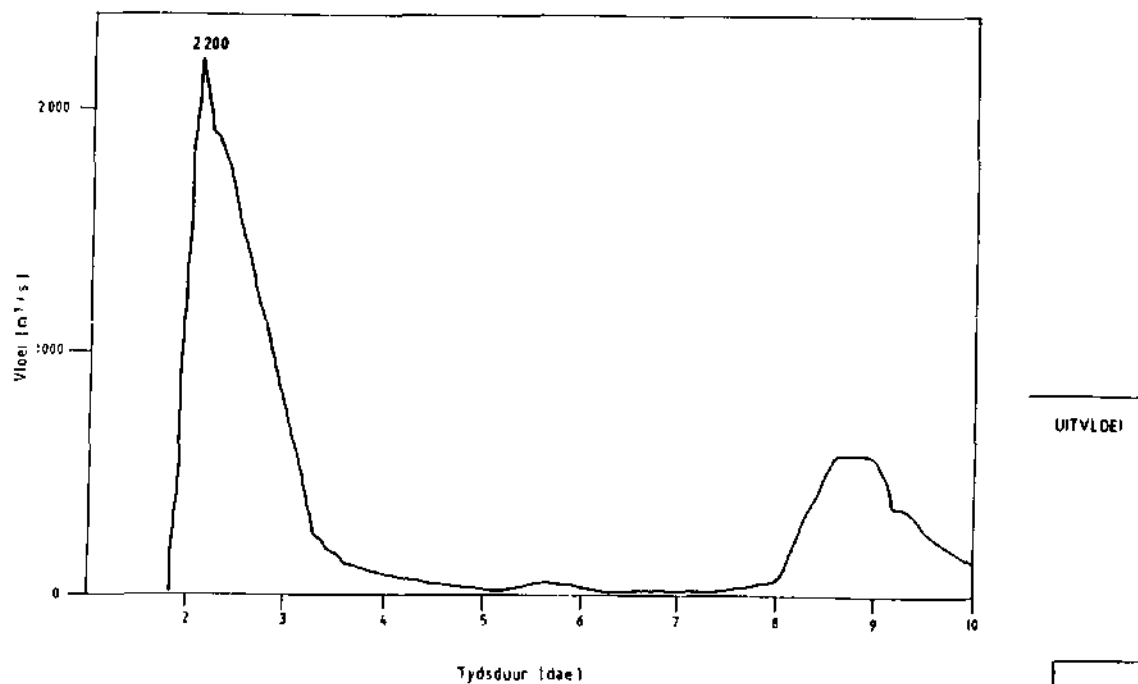
BYLAE 3

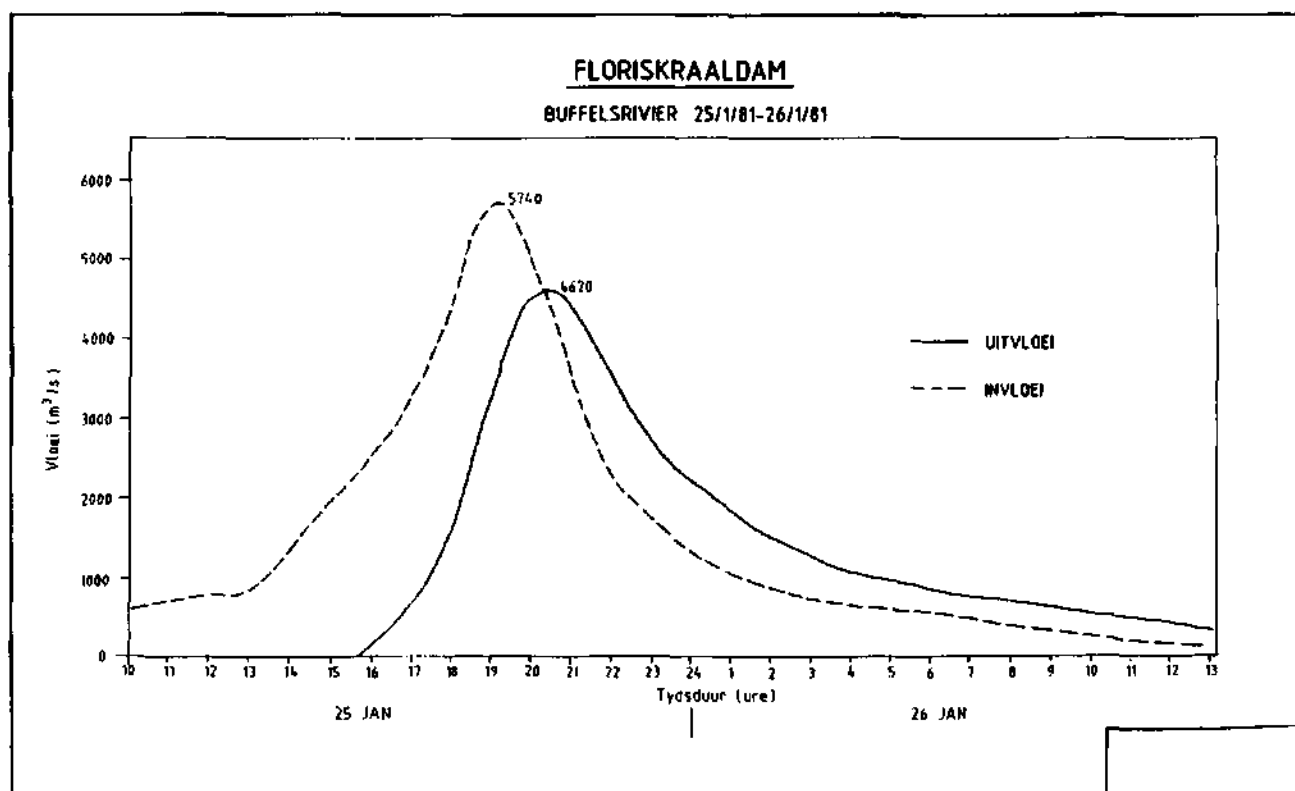
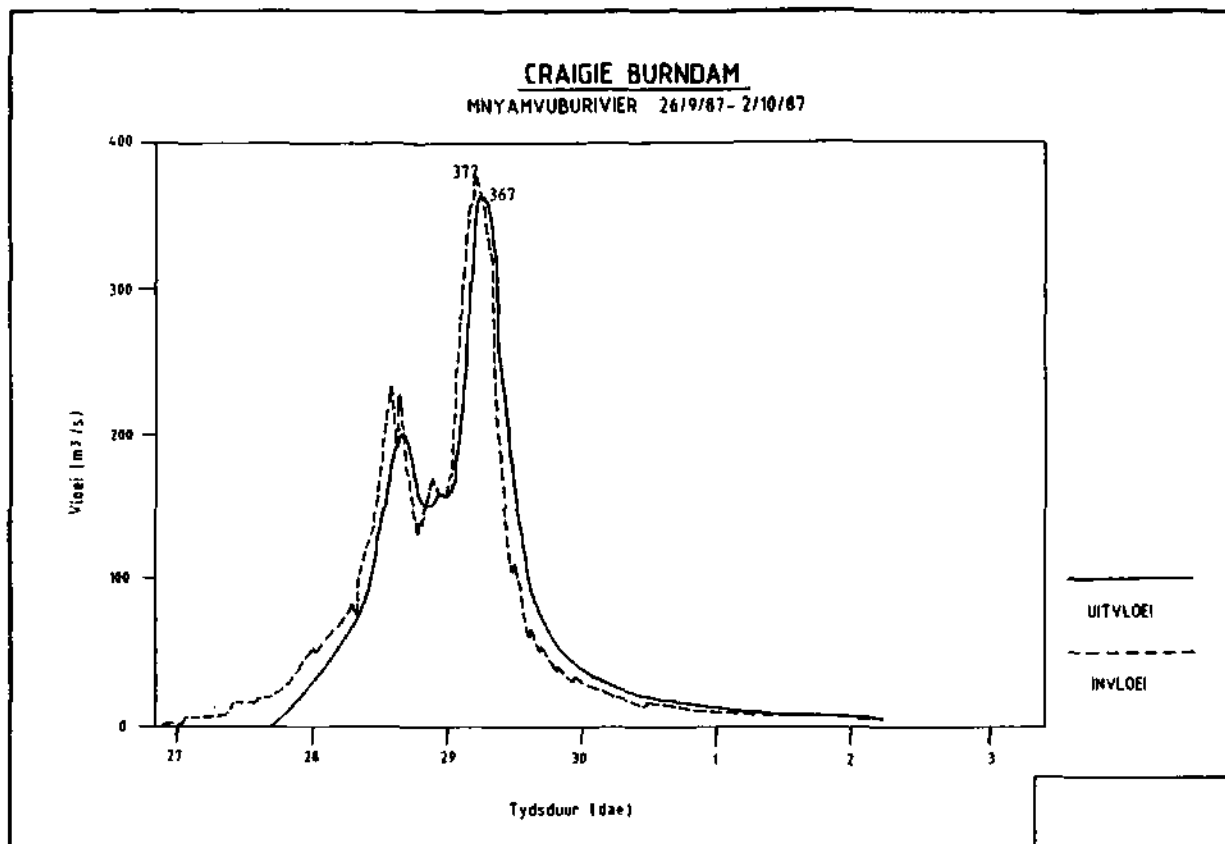
HIDROGRAWE EN BEREKENINGS VIR PIEKVLOEIE

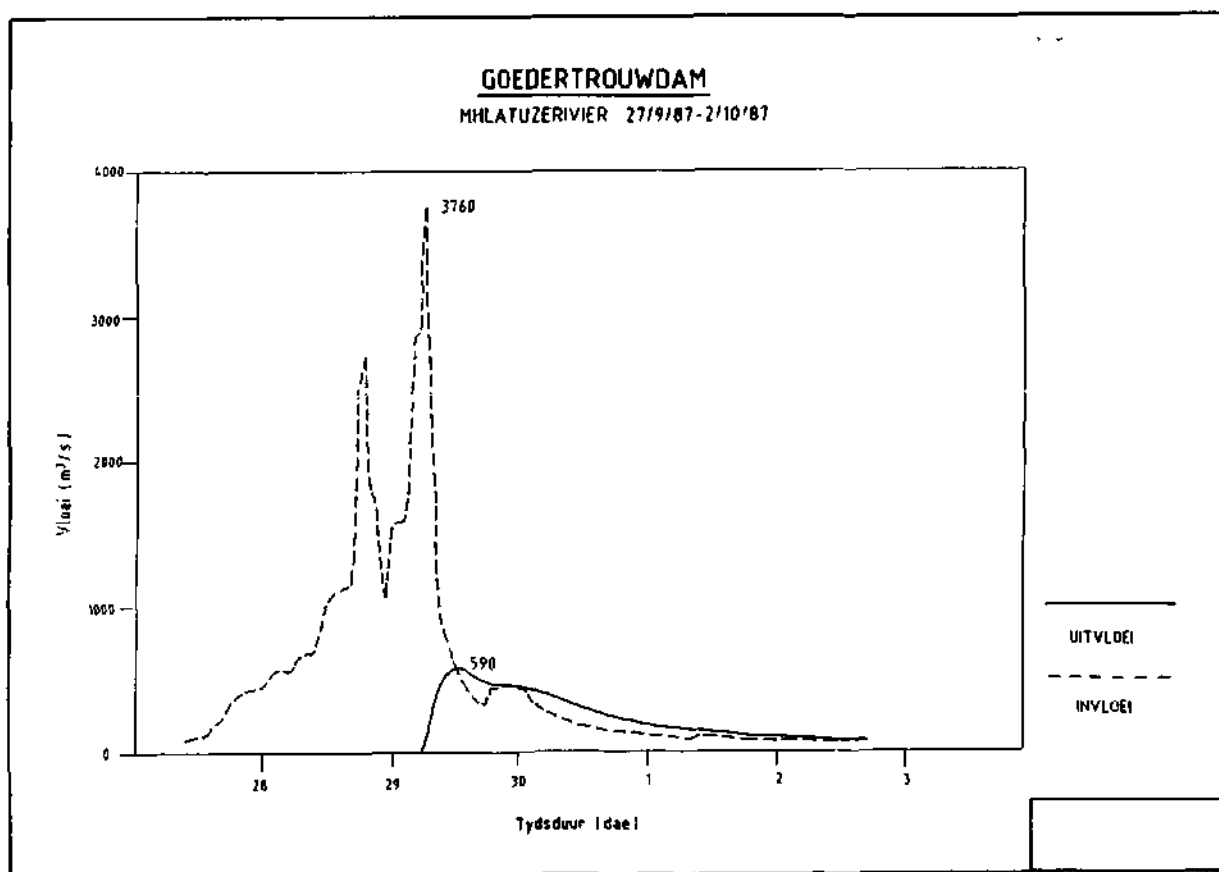
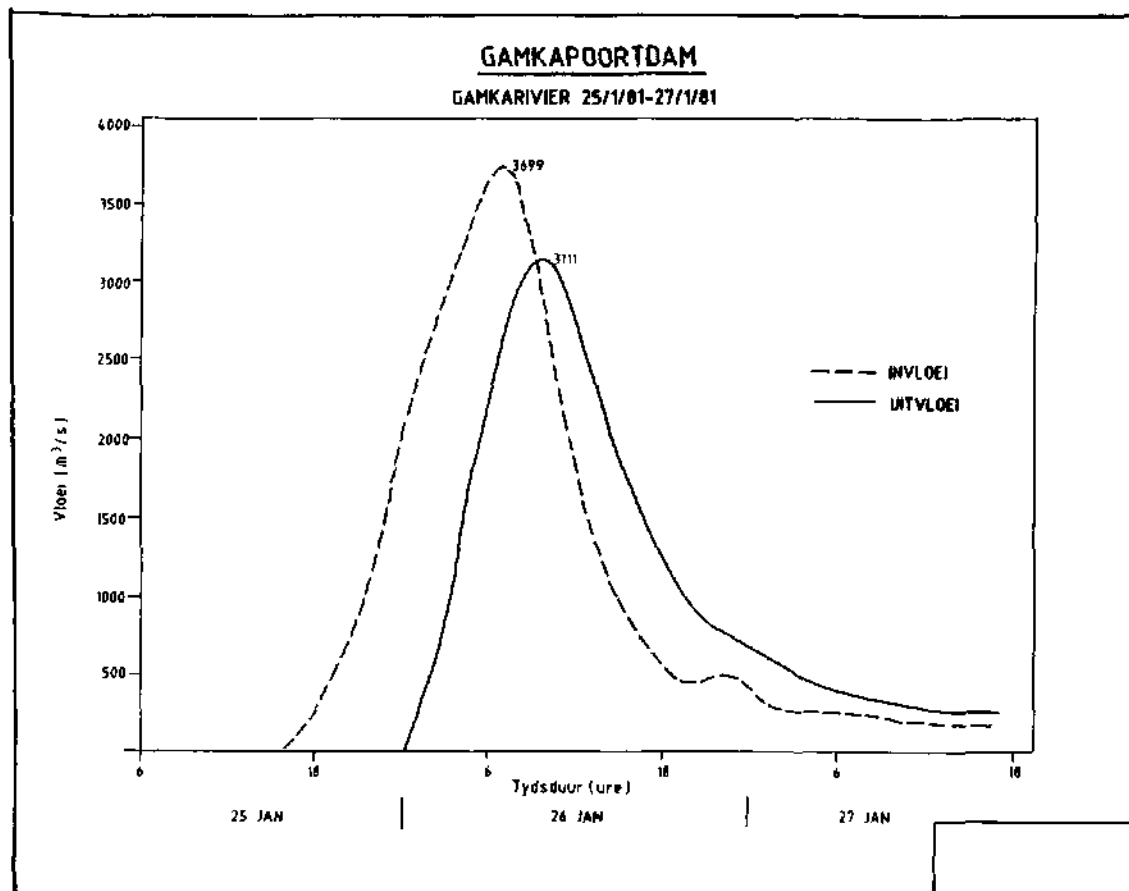
BELLAIRDAM
BRAKRIVIER 27/4/81-2/5/81



BRIDLEDRIFTDAM
BUFFELSRIVIER 2/11/85-10/11/85

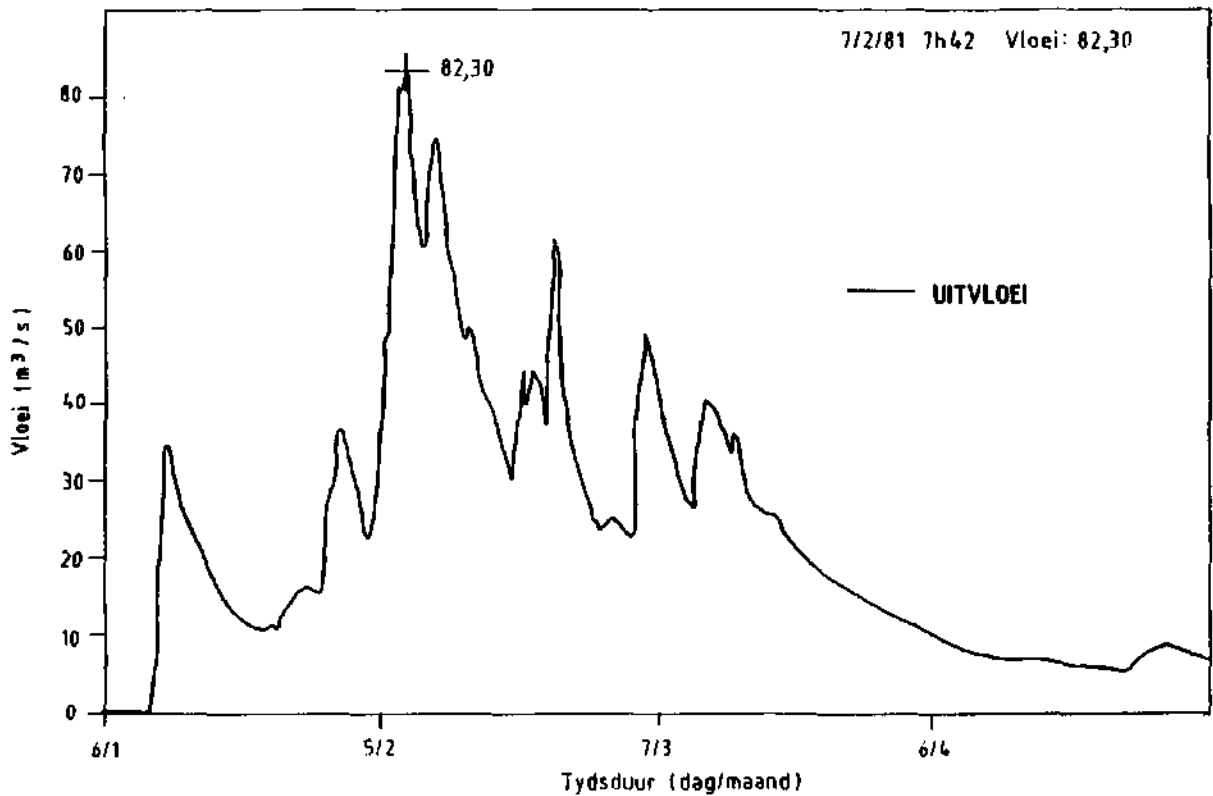






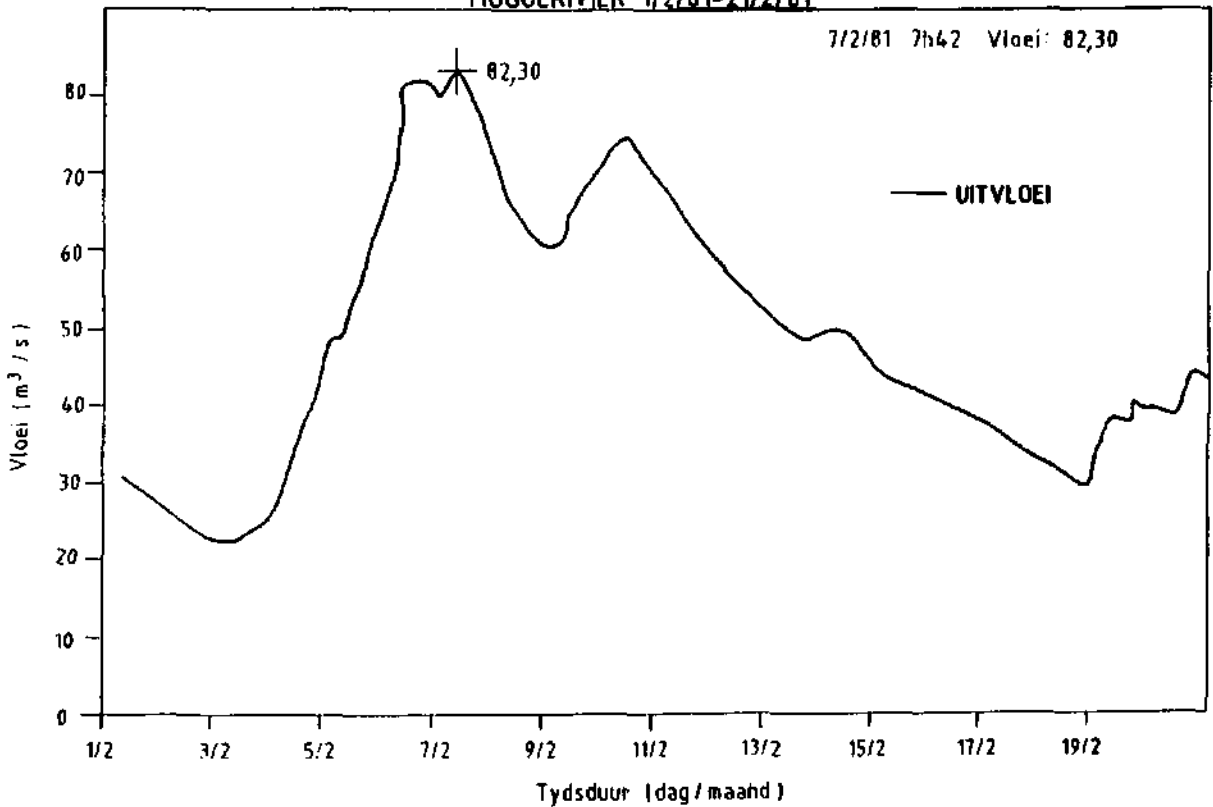
HANS STRYDOMDAM

MOGOLRIVIER 6/1/81-6/5/81

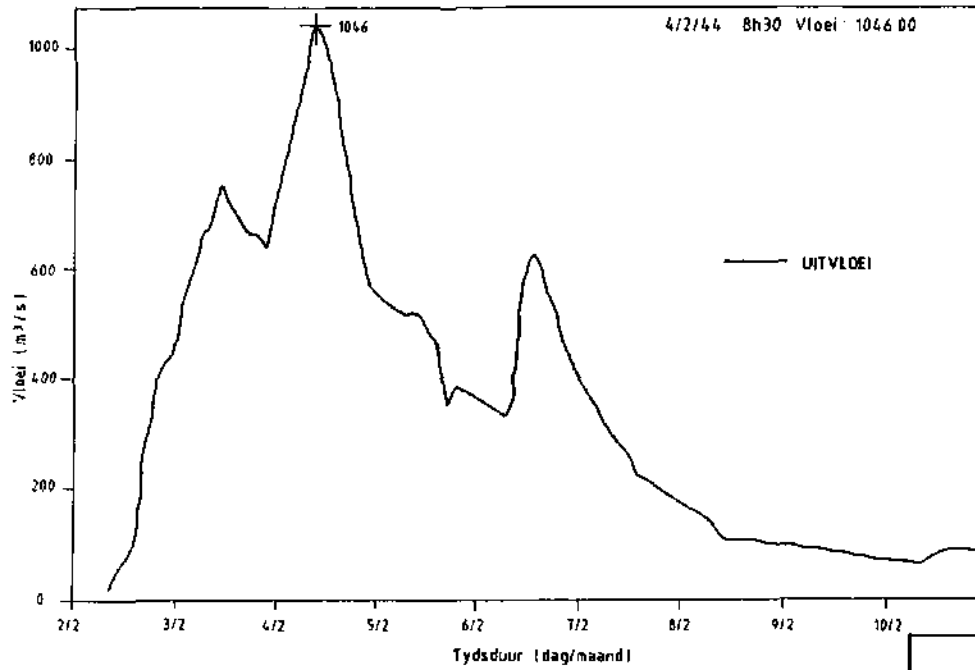


HANS STRYDOMDAM

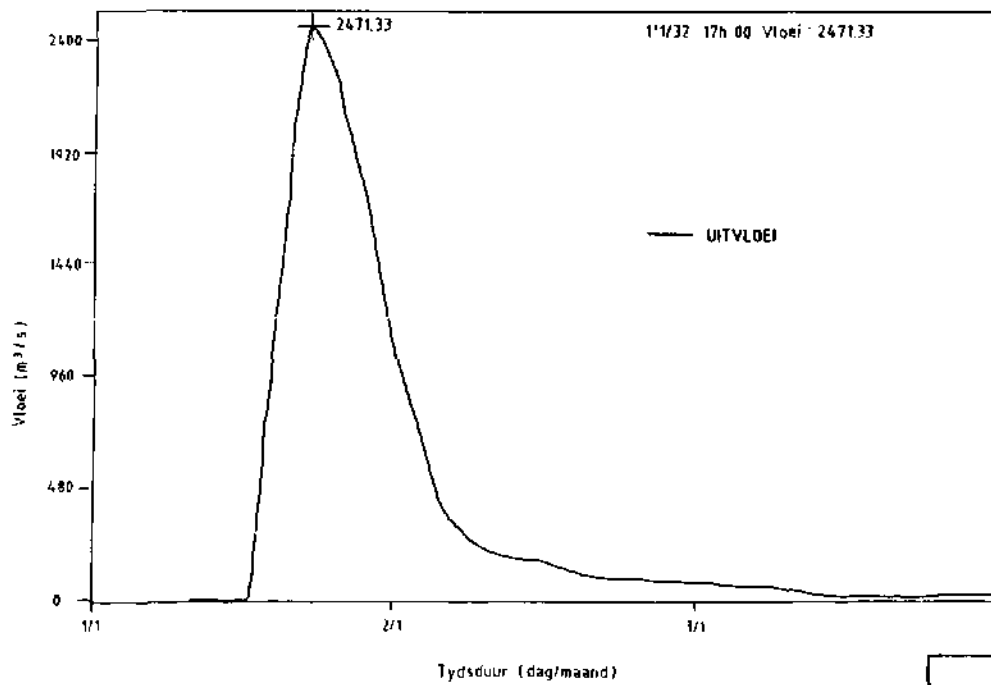
MOGOLRIVIER 1/2/81-21/2/81



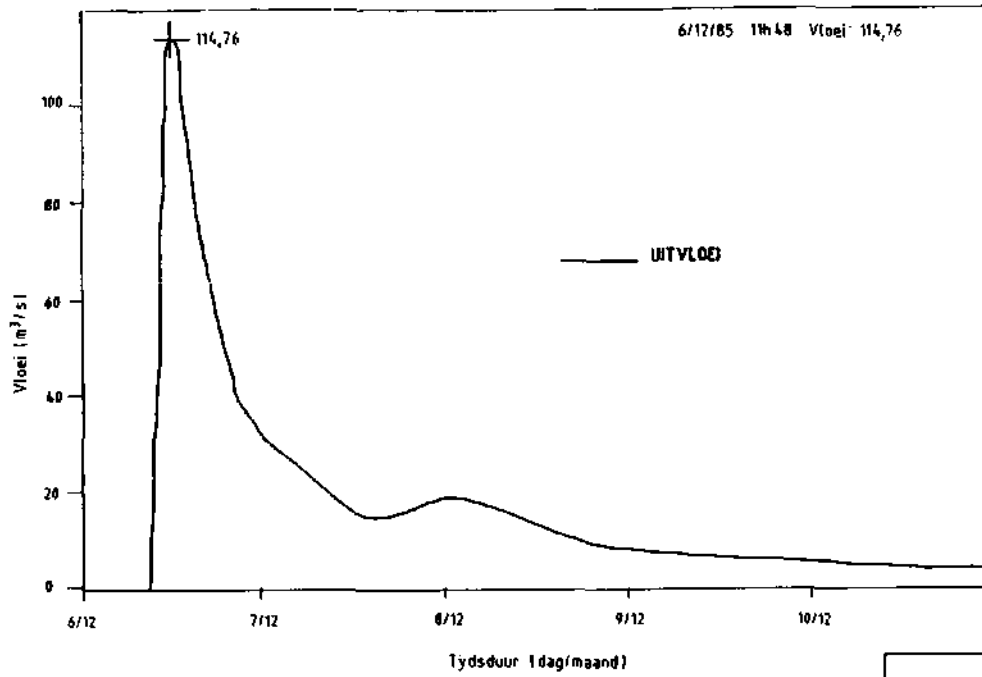
HARTEBESPOORTDAM **KROKODILRIVIER 2/2/44-11/2/44**



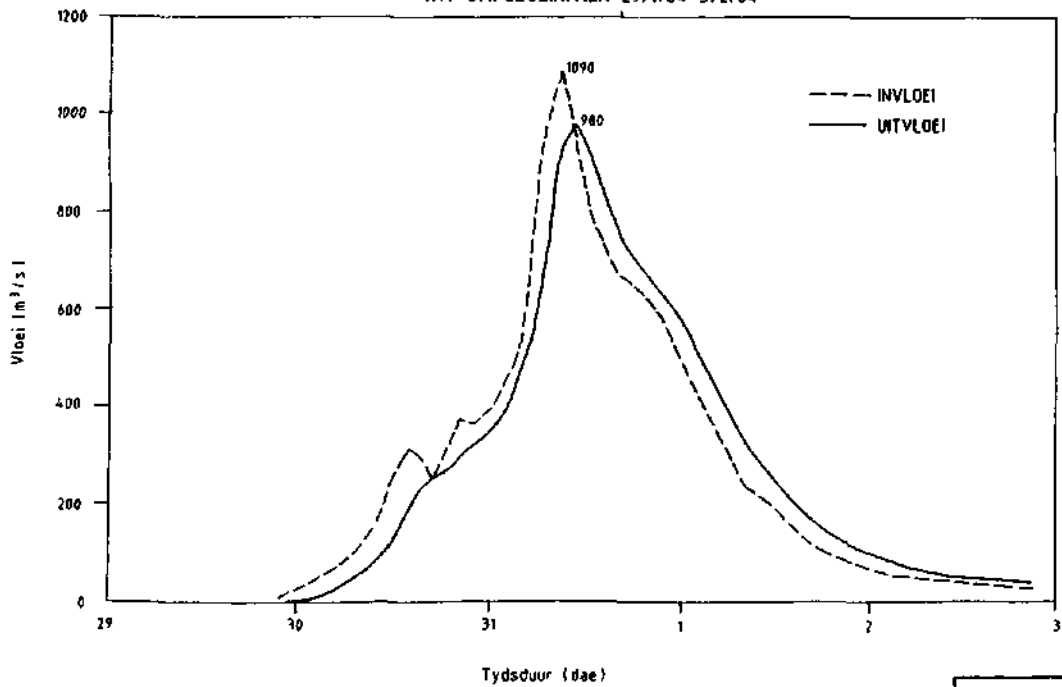
KAMMANASSIEDAM **KAMMANASSIERIVIER 1/1/32-4/1/32**



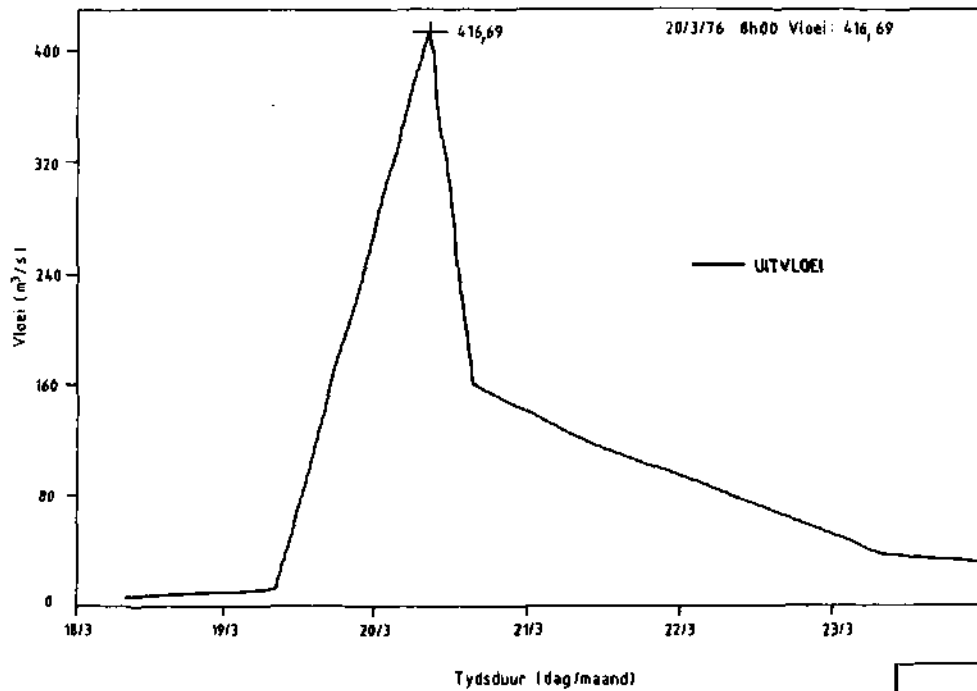
KATRIVIERDAM **KATRIVIER 6/12/85-11/12/85**



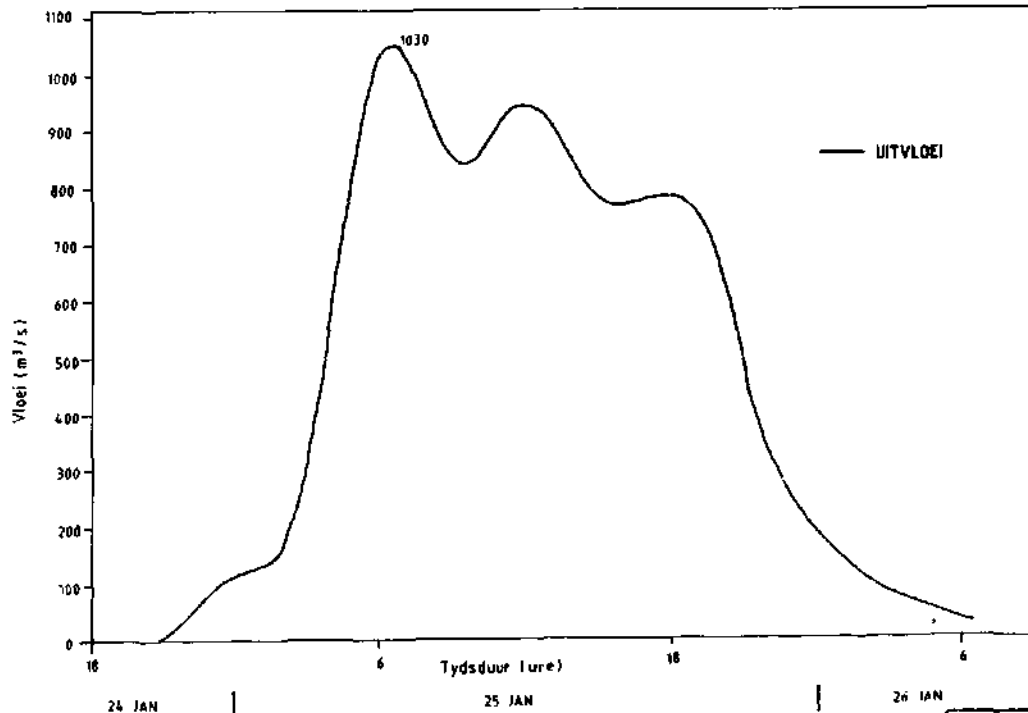
KLIPFONTEINDAM **WIT UMFOLOZIRIVIER 29/1/84-3/2/84**

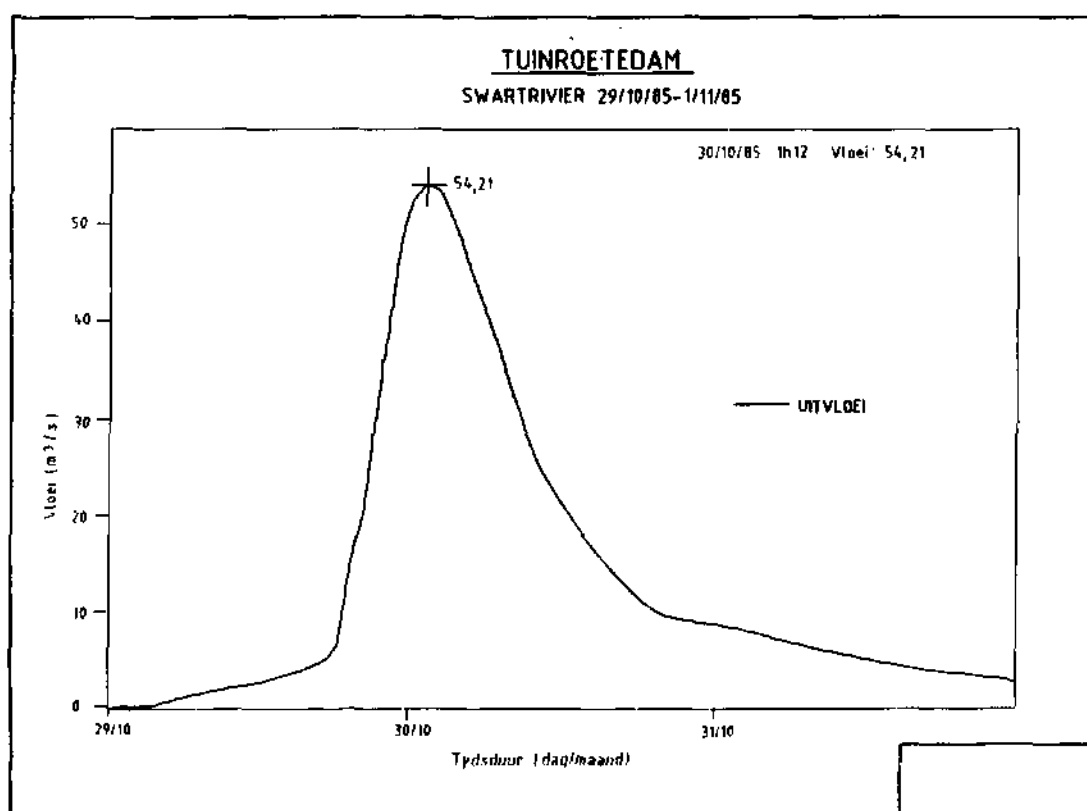
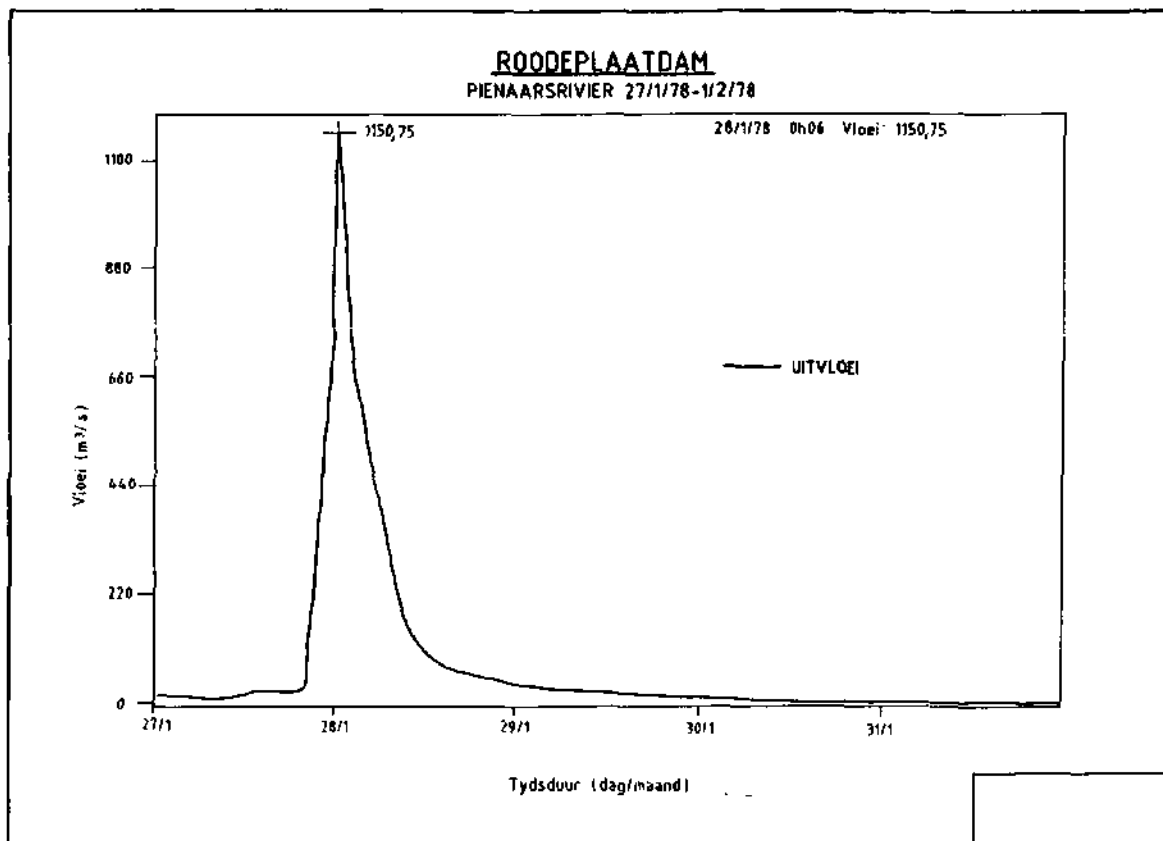


MARICO BOSVELDDAM
GROOT MARICORIVIER 18/3/76-24/3/76



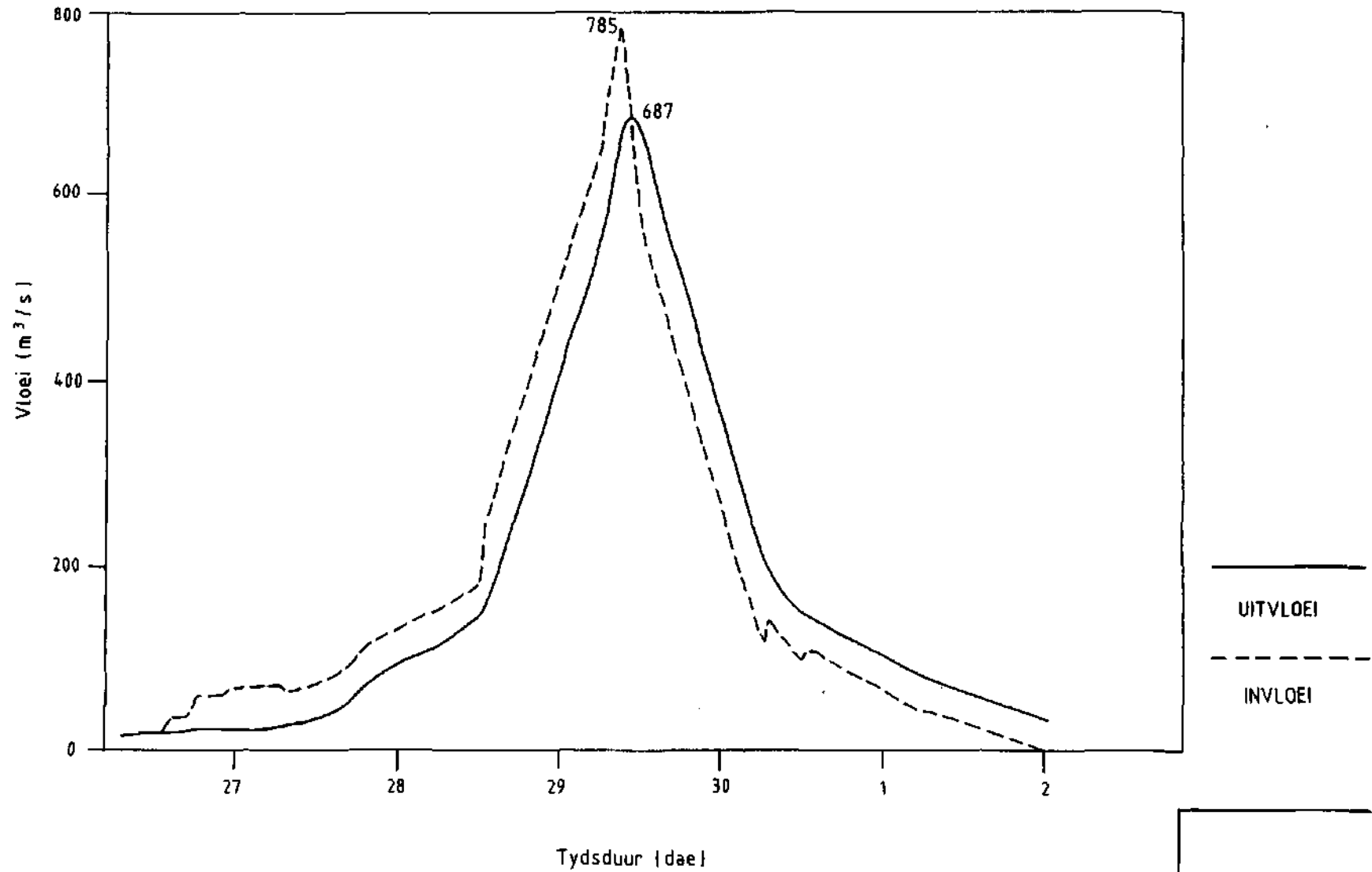
PRINSRIVIERDAM
PRINSRIVIER 24/1/81-26/1/81





WAGENDRIFTDAM

BOESMANS RIVIER 26/9/87-2/10/87



Piekvloeiempo's vir damme waar vloedhidrograwe nie beskikbaar is nie, is bereken. Hierdie piekvloeiwaardes is baie rofweg uitgewerk.

Applethwaitedam

Tydens 'n veldbesoek het die dam 1,5 m oor volvoorraadhoogte (VH) oorgeloop. Daar word aangeneem dat die vloedpiek meer as dubbel hierdie hoogte sal wees, d.w.s. ongeveer 3,5 m.

$$v = 7 \text{ m/s}$$

en $Q = v * A$
 $Q = 5,4 * 36,3 * 3,5$
 $Q = 762 \text{ m}^3/\text{s}$

Bellairdam

Vanuit verslae hidrograwe is vasgestel dat hierdie dam ongeveer 0,8 m oor VH oorgeloop het. Neem aan $h = 0,8 \text{ m}$.

$$v \approx 3 \text{ m/s}$$

en $Q = 3 * 60 * 0,8$
 $Q = 144 \text{ m}^3/\text{s}$

Mzikidam

Vanaf 'n video-opname is vasgestel dat hierdie dam ongeveer 1 m oor VH oorgeloop het. Neem aan $h = 1 \text{ m}$.

$$v = \sqrt{2gh}$$
$$v = (2 * 9,8 * 1)^{1/2}$$
$$v = 4,43 \text{ m/s}$$

en $Q = 4,43 * 33 * 1$
 $Q = 146 \approx 150 \text{ m}^3/\text{s}$

h = energiehoogte

v = watersnelheid

g = gravitasieversnelling

Q = vloei van water in kumek (m^3/s)

A = vloeiarea

Vloeberekeninge

Floriskraakdam

Watervloei Q_T	$\approx 4\,620\text{ m}^3/\text{s}$
Waterhoogte oor NOK	$\approx 3,5\text{ m}$
Waterhoogte oor oorloop	$\approx 7,5\text{ m}$
Kruinlengte - totaal	$\approx 185\text{ m}$
Hulpwallengte	$= 62\text{ m}$
Oorloopkruinlengte	$\approx 61\text{ m}$
Kruinlengte - hulpwal	$= 123\text{ m}$

Oppervlak (area):

Kruin	$123 * 3,5 = 431\text{ m}^2$
Hulpwal	$62 * 3,5 = 217\text{ m}^2$
Oorloop	$61 * 7,5 = 458\text{ m}^2$
Totaal	$= 1\,106\text{ m}^2$

Vloei:

Hulpwal	$(217/1\,106) * 4\,620 = 906,5\text{ m}^3/\text{s}$
Oorloop	$(458/1\,106) * 4\,620 = 1\,913,2\text{ m}^3/\text{s}$

Goedertrouwdam

By Goedertrouwdam vloei 3/4 van die totale water by E1 en E2. By E3 en E4 vloei Q_T .

$$\text{Watervloei } Q_T = 590\text{ m}^3/\text{s}$$

Vloei:

E1	$3/4 * 590 = 443\text{ m}^3/\text{s}$
E2	$3/4 * 590 = 442,5\text{ m}^3/\text{s}$

Hans Strydomdam

Hier is slegs E1 nie blootgestel aan die totale vloei van water nie. By E1 vloei 3/4 van Q_T .

$$\text{Watervloei } Q_T = 82,3\text{ m}^3/\text{s}$$

Vloei:

$$E1 \quad 3/4 * 82,3 = 61,7\text{ m}^3/\text{s}$$

Hartebeespoortdam

1/4 van die water vloei by E1 en $60\text{ m}^3/\text{s}$ vloei nie in een van die twee kanale nie.

$$\text{Watervloei } Q_T = 1\,046\text{ m}^3/\text{s}$$

Vloei:

$$E1 \quad 1/4 * 1046 = 260\text{ m}^3/\text{s}$$

dus:

$$E2 \quad 1\,046 - 260 - 60 = 726\text{ m}^3/\text{s}$$

Kammanassiedam

By E3 is $Q_T = 2\,471\text{ m}^3/\text{s}$. E1 en E2 het 3/4 van die vloei.

$$\text{Watervloei } Q_T = 2\,471\text{ m}^3/\text{s}$$

Vloei:

E1	$3/4 * 2\,471 = 1\,853,3\text{ m}^3/\text{s}$
E2	$3/4 * 2\,471 = 1\,853,3\text{ m}^3/\text{s}$

Klipfonteindam

By E1, E2 en E3 vloei 3/4 van Q_T in die kanaal. By E4 vloei 1/4 van Q_T .

$$\text{Watervloei } Q_T = 980\text{ m}^3/\text{s}$$

Vloei:

E1, E2, E3	$3/4 * 980 = 735\text{ m}^3/\text{s}$
E4	$1/4 * 980 = 245\text{ m}^3/\text{s}$

Marico Bosvelddam

By E1 en E4 vloei 1/2 van Q_T . By E2 en E3 vloei Q_T .

$$\text{Watervloei } Q_T = 400\text{ m}^3/\text{s}$$

Vloei:

$$E1, E4 \quad 1/2 * 400 = 200\text{ m}^3/\text{s}$$

Prinsivierdam

Slegs E2 het 'n waarde 4/5 laer as Q_T a.g.v die sekondêre kanaal in die RF van die kanaal.

$$\text{Watervloei } Q_T = 1\,030\text{ m}^3/\text{s}$$

Vloei:

$$E2 \quad 4/5 * 1\,030 = 824\text{ m}^3/\text{s}$$

BYLAE 4

DATA VAN WATERSPUITTOETSE

WATERSPUITTOETS

DATA VIR 'N 121-WAARDE-TOETS (50 mm spasies)

Naam: N.Dooge Terrein: Hans Strydomdam
Toetsnr: 1 Rigting: Vertikaal
Tydsduur (min): 5 Spuitstuk (mm): 8

Geologie: Kolluvium in 'n grondmatriks ryk aan Fe-oksied
Die toetspunt is naby verskuiwingsone 1

Waardes in mm voordat toets uitgevoer is

0:10	79	75	67	73	85	86	92	88	113	115	115
0:9	80	74	64	75	87	101	103	118	119	104	99
0:8	70	79	77	70	78	101	95	95	75	77	106
0:7	69	90	88	77	79	87	100	84	63	58	105
0:6	76	94	86	85	90	93	96	63	53	64	85
0:5	78	88	84	89	92	93	101	64	61	63	75
0:4	86	91	86	84	81	84	69	69	62	57	73
0:3	91	78	84	85	92	91	35	62	45	62	73
0:2	85	85	91	95	90	89	58	65	33	64	83
0:1	107	101	100	100	92	65	68	71	83	63	68
0:0	111	95	103	104	85	70	72	71	72	60	68
	0:0	1:0	2:0	3:0	4:0	5:0	6:0	7:0	8:0	9:0	10:0

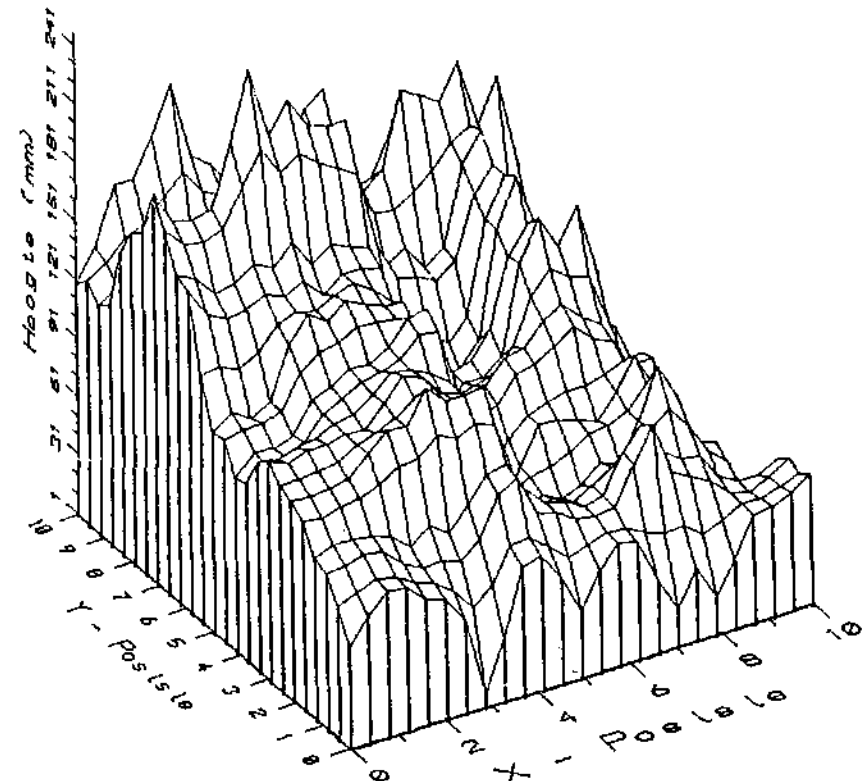
Waardes in mm nadat toets uitgevoer is

0:10	198	242	274	231	180	190	208	190	162	135	135
0:9	195	173	189	197	194	210	216	220	220	210	112
0:8	240	210	204	244	254	254	306	303	271	98	175
0:7	270	272	342	306	295	211	210	265	155	81	112
0:6	245	237	230	220	241	166	167	242	183	152	144
0:5	180	188	232	237	234	165	184	224	222	72	82
0:4	172	185	205	207	238	169	182	194	172	80	106
0:3	204	191	196	220	211	131	126	141	155	82	73
0:2	188	188	215	235	228	145	116	131	148	132	83
0:1	188	187	166	163	199	141	135	185	155	115	134
0:0	165	172	165	110	155	105	136	90	91	117	134
	0:0	1:0	2:0	3:0	4:0	5:0	6:0	7:0	8:0	9:0	10:0

Waardes in mm van hoeveelheid materiaal weggespoel

0:10	119	167	207	158	95	104	116	102	49	20	20
0:9	115	99	126	122	107	109	113	102	101	106	13
0:8	170	131	127	174	223	153	211	208	196	21	69
0:7	201	182	254	229	216	124	110	181	92	23	7
0:6	169	143	144	135	151	73	71	179	130	88	59
0:5	102	100	148	148	142	72	83	160	161	9	7
0:4	86	94	119	123	157	85	113	125	110	23	33
0:3	113	113	112	135	119	40	91	79	110	20	0
0:2	103	103	124	140	138	56	58	66	115	68	0
0:1	81	86	66	63	107	76	67	114	72	52	66
0:0	54	77	62	6	70	35	64	19	19	57	66
	0:0	1:0	2:0	3:0	4:0	5:0	6:0	7:0	8:0	9:0	10:0

TOETS 1 (8mm)



WATERSPUITTOETS

DATA VIR 'N 121-WAARDE-TOETS (50 mm spasies)

Naam: N.Dooge Terrein: Hans Strydomdam
Toetsnr: 1 Rigting: Vertikaal
Tydsduur (min): 5 Spuitstuk (mm): 12

Geologie: Kolluvium in 'n grondmatriks ryk aan Fe-oksied
Die toetspunt is naby verskuiwingsone 1

Waardes in mm voordat toets uitgevoer is

0:10	198	242	274	231	180	190	208	190	162	135	135
0:9	195	173	189	197	194	210	216	220	220	210	112
0:8	240	210	204	244	254	254	306	303	271	98	175
0:7	270	272	342	306	295	211	210	265	155	81	112
0:6	245	237	230	220	241	166	167	242	183	152	144
0:5	180	188	232	237	234	165	184	224	222	72	82
0:4	172	185	205	207	238	169	182	194	172	80	106
0:3	204	191	196	220	211	131	126	141	155	82	73
0:2	188	188	215	235	228	145	116	131	148	132	83
0:1	188	187	166	163	199	141	135	185	155	115	134
0:0	165	172	165	110	155	105	136	90	91	117	134
	0:0	1:0	2:0	3:0	4:0	5:0	6:0	7:0	8:0	9:0	10:0

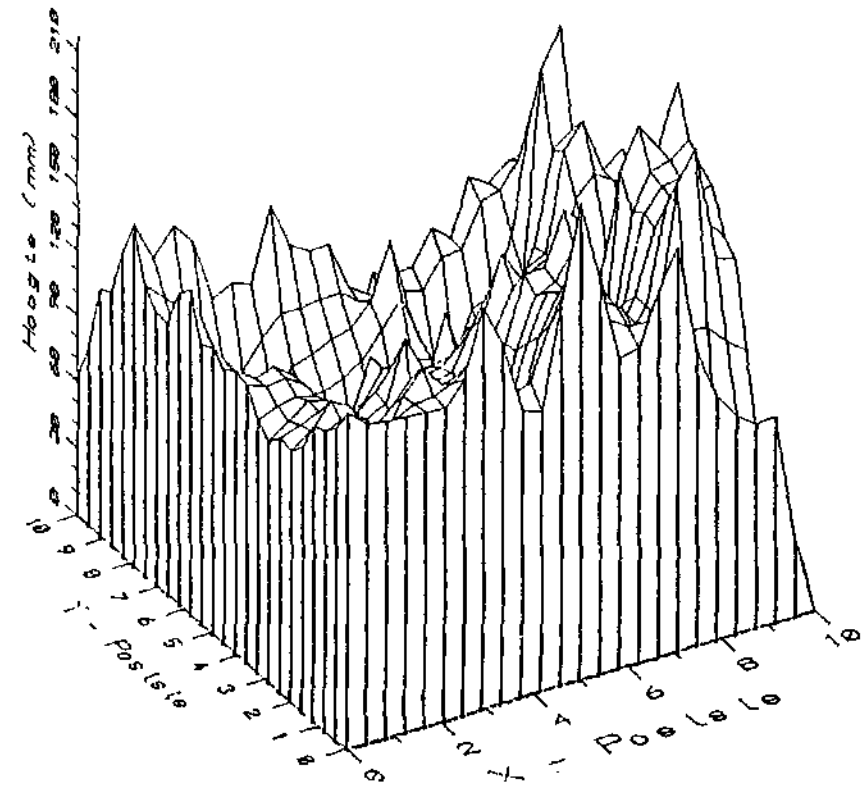
Waardes in mm nadat toets uitgevoer is

0:10	260	242	274	242	198	200	223	214	225	219	210
0:9	309	281	248	255	279	256	310	321	338	331	226
0:8	240	367	319	393	379	344	319	324	306	301	203
0:7	393	340	362	385	382	336	270	265	248	240	245
0:6	396	335	270	266	247	243	242	250	239	236	246
0:5	308	289	277	292	276	277	242	256	258	250	266
0:4	300	315	279	329	342	287	211	212	265	235	262
0:3	312	314	301	360	312	294	282	267	248	283	200
0:2	301	322	288	290	292	306	310	264	262	164	126
0:1	324	302	321	310	305	308	292	279	220	126	134
0:0	317	316	306	293	276	321	271	275	200	216	134
	0:0	1:0	2:0	3:0	4:0	5:0	6:0	7:0	8:0	9:0	10:0

Waardes in mm van hoeveelheid materiaal weggespoel

0:10	62	0	0	11	18	10	15	24	63	84	75
0:9	114	108	59	58	85	46	94	101	118	121	114
0:8	155	157	115	149	125	90	13	21	35	203	28
0:7	123	68	20	79	87	125	60	0	93	159	133
0:6	151	98	40	46	6	77	75	8	56	84	102
0:5	128	101	45	55	42	112	58	32	36	178	184
0:4	128	130	74	122	104	118	29	18	93	155	156
0:3	108	123	105	140	101	163	156	126	93	201	127
0:2	113	134	73	55	64	161	194	133	114	32	43
0:1	136	115	155	147	106	167	157	94	65	11	0
0:0	152	144	141	183	121	216	135	185	109	99	0
	0:0	1:0	2:0	3:0	4:0	5:0	6:0	7:0	8:0	9:0	10:0

TOETS 1 (12mm)



WATERSPUITTOETS

DATA VIR 'N 36-WAARDE-TOETS (100 mm spasies)

Naam: N.Dooge

Terrein: Hans Strydomdam

Toetsnr: 2

Rigting: Horisontaal

Tydsduur (min): 10

Spuitsuk (mm): 12

Afstand van front (mm): 700

Geologie: Naatvulmateriaal in verskuiwingsone 1 is uitgespuut.
Die rots in die sone is verbrokken en kan dus ook deur die waterstraal weggespoel word. Die water dam egter op a.g.v. die feit dat die templaar horisontaal is. Die krag van die water word nadelig beïnvloed deur die opdamming.

Waardes in mm voordat toets uitgevoer is

0:5	100	87	79	80	35	110
0:4	119	85	76	75	141	126
0:3	132	102	92	146	141	134
0:2	134	120	99	146	136	100
0:1	143	125	94	115	124	109
0:0	180	114	90	91	81	124
	0:0	1:0	2:0	3:0	4:0	5:0

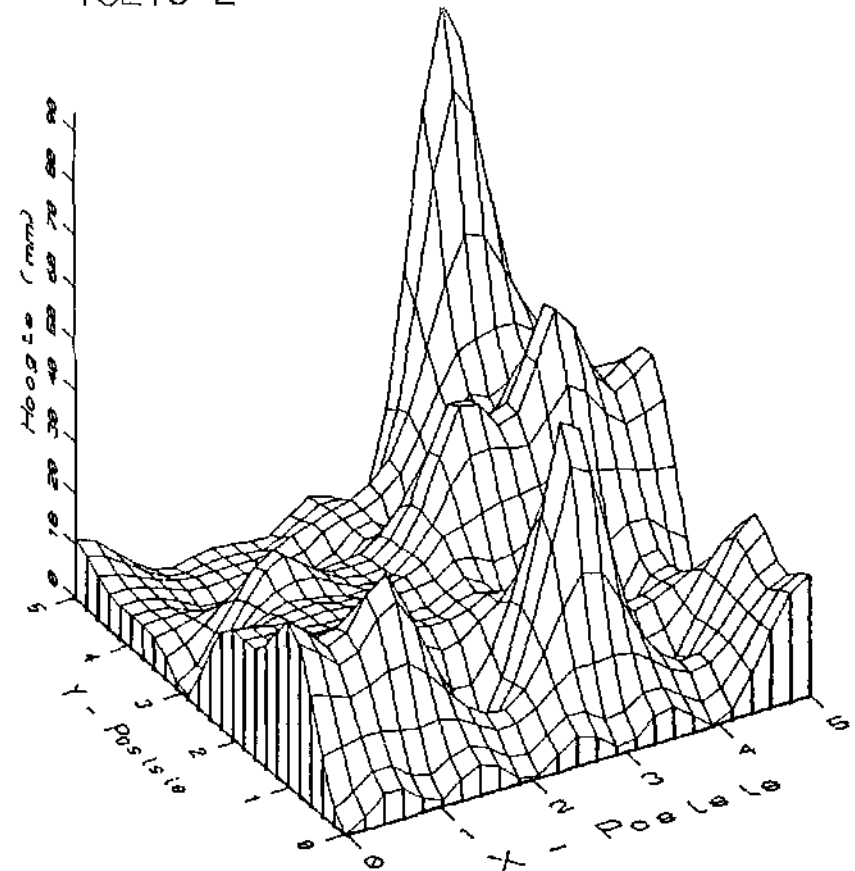
Waardes in mm nadat toets uitgevoer is

0:5	111	87	78	80	129	128
0:4	125	85	77	76	163	150
0:3	132	124	105	188	196	173
0:2	155	139	112	156	136	100
0:1	175	161	94	172	124	133
0:0	130	115	90	82	81	147
	0:0	1:0	2:0	3:0	4:0	5:0

Waardes in mm van materiaal weggespoel

0:5	11	0	0	0	94	18
0:4	6	0	1	1	22	24
0:3	0	22	13	42	55	39
0:2	21	19	13	10	0	0
0:1	32	36	0	57	0	25
0:0	0	1	0	1	0	23
	0:0	1:0	2:0	3:0	4:0	5:0

TOETS 2



WATERSPUITTOETS

DATA VIR 'N 36-WAARDE-TOETS (100 mm spasies)

Naam: N.Dooce

Terrein: Hans Strydomdam

Toetsnr: 3

Rigting: Vertikaal

Tydsduur (min): 10

Spuitstuk (mm): 12

Afstand van front (mm): 2 000

Geologie: Naatvulmateriaal in verskuiwingsone 1 is uitgespuut.
Slegs die naatvulmateriaal word uitgespoel.
Die rots is intak en kan nie uitgespoel word nie.

Waardes in mm van materiaal weggespoel

0:5	0	0	0	0	0	0
0:4	0	0	0	0	23	0
0:3	26	112	0	0	0	0
0:2	7	1	0	13	2	119
0:1	0	1	1	0	0	2
0:0	0	1	0	1	0	0
	0:0	1:0	2:0	3:0	4:0	5:0

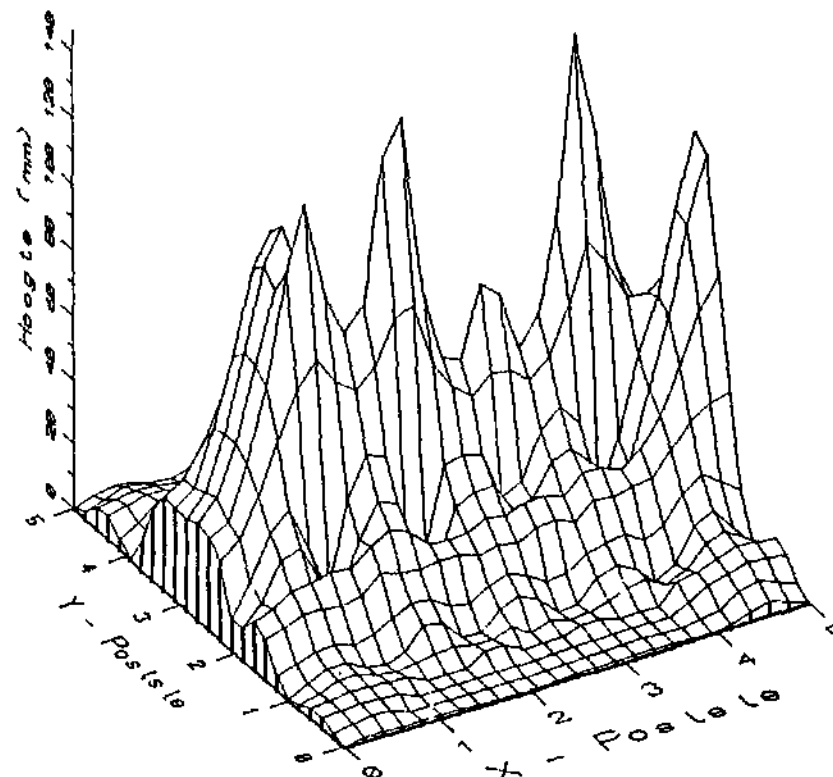
Waardes in mm voordat toets uitgevoer is

0:5	65	85	82	75	84	95
0:4	71	108	99	62	60	77
0:3	112	131	100	59	46	102
0:2	136	156	131	95	88	106
0:1	147	143	117	93	189	100
0:0	165	126	115	144	97	75
	0:0	1:0	2:0	3:0	4:0	5:0

Waardes in mm nadat toets uitgevoer is

0:5	65	85	82	75	84	95
0:4	71	109	99	62	83	77
0:3	138	243	100	59	46	102
0:2	143	157	131	108	90	225
0:1	147	144	118	93	189	102
0:0	165	127	115	145	97	75
	0:0	1:0	2:0	3:0	4:0	5:0

TOETS 3



WATERSPUITTOETS

DATA VIR 'N 20-WAARDE-REGUITLYN-TOETS (100 mm spasies)

Naam: N.Dooge

Terrein: Hans Strydomdam

Toetsnr: 4

Rigting: Vertikaal

Tydsduur (min): 10

Spuitstuk (mm): 8

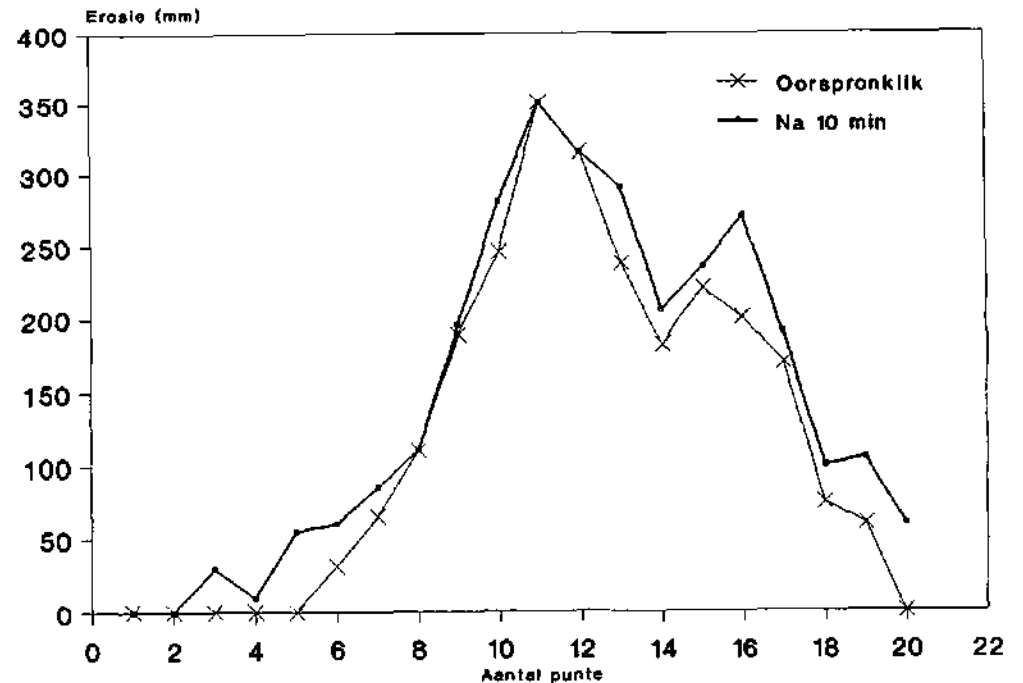
Afstand van front (mm): 600

Geologie:

Die toets bepaal die sterkte van die naatvulmateriaal. Op die oog af lyk die materiaal sterker as die materiaal by toetspunt 3. Die toetsgebied is 2 m breed en die naat is 100 mm dik. Die templaar is nie met hierdie toets gebruik nie.

Puntnr.	Voor toets	Na 10 min.	Mat. verwyder
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	30	30
4	0	10	10
5	0	55	55
6	31	60	29
7	65	85	20
8	110	110	0
9	188	195	7
10	245	280	35
11	350	350	0
12	315	315	0
13	237	290	53
14	182	205	23
15	220	235	15
16	200	270	70
17	170	190	20
18	75	100	25
19	60	105	45
20	0	60	60

TOETS 4 (8 mm): REGUITLYNTOETS 100 mm spatie



WATERSPUITTOETS

DATA VIR 'N 36-WAARDE-TOETS (100 mm spasies)

Naam: N.Dooge

Terrein: Hans Strydomdam

Toetsnr: 5

Rigting: Vertikaal

Tydsduur (min): 10

Spuitsuk (mm): 12

Afstand van front (mm): 1 000

Geologie: Intens verweerde kwartsitiese sandsteen in die verskuiwingsone. Die naatvulmateriaal spoel maklik uit en groter rotsblokke kom dan los.

Waardes in mm van materiaal weggespoel

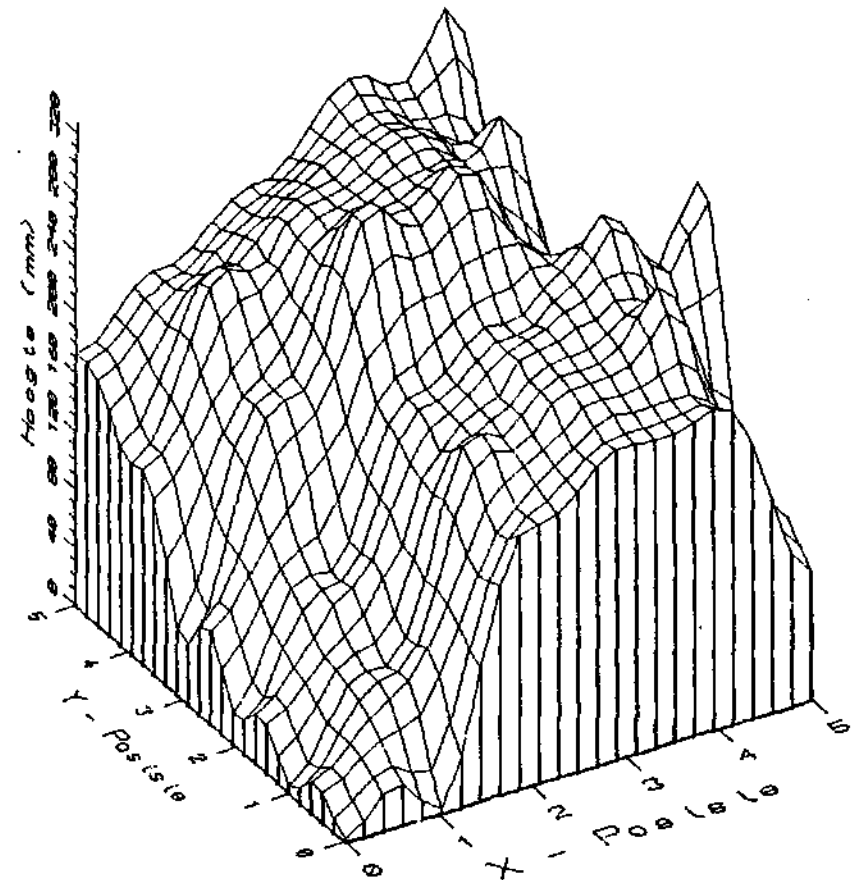
0:5	173	212	248	300	327	0
0:4	131	243	270	294	290	4
0:3	38	189	302	307	212	0
0:2	19	95	201	228	286	289
0:1	4	65	208	229	269	32
0:0	2	2	178	213	220	88
	0:0	1:0	2:0	3:0	4:0	5:0

Waardes in mm voordat toets uitgevoer is

0:5	81	150	113	132	118	119
0:4	102	81	112	110	136	113
0:3	100	74	39	72	205	135
0:2	112	134	64	114	90	101
0:1	141	135	74	77	62	184
0:0	133	139	87	59	105	139
	0:0	1:0	2:0	3:0	4:0	5:0

Waardes in mm nadat toets uitgevoer is

0:5	254	362	361	432	445	119
0:4	233	324	382	404	426	117
0:3	138	263	341	379	417	135
0:2	131	229	265	342	376	390
0:1	145	200	282	306	331	216
0:0	135	141	265	272	325	227
	0:0	1:0	2:0	3:0	4:0	5:0



BYLAE 5

DATA OOR NAATEIENSKAPPE BY EROSIEPUNTE

Nr	Damnaam	Gesteente	EAD MPa	Kirsten-parameters					Kirsten (K_{p1})	#	Erosie (m)	Beskrywing
				M_s	AKW	J_n	J_s	J_r/J_d				
1	Appelthwaaldam	E1: Sstn/kwart; 20 m stroomaf van brug	100	70	80	4.09	0.63	1.0	847	45	Matig	Die water loop 0.73 m oor kruin van oorloop; 3-5 m/s
2	Bellairdam	E1: Mod-slikstn; 120 m stroomaf	150	140	70	2.73	0.63	0.52	1 178	27	Geen 0.2 m	Los bogrond ($M_s > 0.1$) het 1-2 m geërodeer; 0.3 m erosie
		E2: Sliksteen; 170 m stroomaf	20	17.7	5	2.73	0.58	0.7	14	35	Matig 1 m	Laas vloei; foliasie van gesteente in berekening gebring
3	Bridledrifdam	E1: Doleriet; op 50 m lyn op kaart	200	140	80	5.0	0.49	0.86	944	41	Min	Skietmerke; plek-plek nate gevul met beton
		E2: Doleriet; 130-160 m stroomaf van versk.	110	140	50	5.0	1.0	0.78	1 082	38	Matig 1-2 m	Meer genaas en willekeurige nate; rots meer verweer
		E3: Verw.doleriet; 320 m stroomaf v. wral	20	17.7	15	4.08	1.0	0.51	33	27	Bale 5 m	Bale swak gebraksieerde materiaal het geërodeer
4	Craigie Burdam	E1: Doleriet; regs in skort area	200	140	50	3.34	0.72	0.75	1 132	38	Matig 0.5-1 m	Rots in RF is vasgeanker en nate is gesementeer
5	Floriskraaldam	E1: Tilliet; 50 m stroomaf van hulpwal	160	140	85	3.34	1.0	0.84	2 289	40	Matig 1-2 m	Harde rots; verweering laat rots opbreek
		E2: Tilliet; in LF van oorloop	108	70	50	4.09	0.8	0.47	322	25	Bale >2 m	Begin van sferoidale verw; nat en droë siklusse
6	Gamkapaortdam	E1: Kwart.Sstn; onder laer skoop	212	140	45	3.34	0.57	0.48	538	26	Bale 2.5 m	Laagvlakke ongunstig georiënteer; masakisie
7	Goedertrouwdam	E1: Tilliet; 20 m stroomaf van wip 4	40	35	85	4.09	0.70	0.58	285	29	Matig 1 m	Boonste materiaal verweer; dieper af materiaal meer intak
		E2: Tilliet; naby blokke 9,10,13	28	35	5	3.34	0.72	0.75	28	37	Bale 3 m	Hoogs verweerde tilliet; los grond bo
		E3: Tilliet; punt 20; 80 m stroomop v. brug	106	70	90	4.09	1.0	0.58	893	30	Geen	Rots wat oorgebly het na 'n vloei; intakte rots
		E4: Tilliet; 50 m stroomop van brug in LF	40	35	25	5.0	0.88	0.50	60	30	Bale 4 m	Indikasie van tipe materiaal wat geërodeer het
8	Hens Strydomdam	E1: Kwart.Sstn; 82 m stroomaf v. struktuur	200	140	85	3.34	0.81	0.84	2 713	43	Geen	Harde rots; skietskade
		E2: Kw.Sstn en skalie; By C7; versk. sone	100	70	25	5.0	0.71	0.74	183	36	Bale 8 m	Gebraksieerde rots in verskuivingsone; klein gebroke rotsblokke
		E3: Kw.Sstn en sstn; 60 m stroomaf v. C7	40	35	25	4.09	0.71	0.57	87	30	Bale 5 m	In skuifseursone; nate gevul met tot 20 cm sagte mat
		E4: Kwart.Sstn; op lyn 18	70	70	80	4.09	0.71	0.58	564	30	Geen 0.2 m	Harde rots; gebreek deur skietwerk
		E5: Detritus; onder D7	-	-	-	-	-	-	0.10	-	Bale 8 m	Heuningkoekkonkresie; 2.5 m diep en 2-3 m breed; in skuifone
9	Hartheespoortdam	E1: Kw.Sstn; tussen 1 en P op kaart (17°)	20	17.7	50	3.34	1.2	1.24	394	51	Matig 1 m	Boonste oppervlak materiaal is verwyder; Harde rots onder
		E2: Kw.Sstn; RF; in kanaal 2 (28°)	100	70	55	3.34	1.2	1.0	1 383	45	Matig 1 m	Harde rots; boonste laag het geërodeer
10	Kammanassiedam	E1: Sstn/mod./slikstn; LF naby punt 9	120	140	5.0	5.0	1.33	0.76	142	37	Min 0.5 m	Rots is hard; intens genaas tot gebraksleerd
		E2: Sstn/mod./slikstn; 20 m stroomop v. pad	150	140	85	2.73	0.63	0.56	1 538	29	Geen	Harde intakte rots op vloeilyn
		E3: Sstn/mod./slikstn; onder in oorloop	28	35	5.0	3.34	1.0	0.35	19	20	Bale 3-5 m	Rots is verweer en sagler; oop nate en los rotsblokke

Nr	Damnaam	Gesteente	EAD mPa	Kirsten-parameters					Kirsten (K_{st})	ϕ	Erosie (m)	Beskrywing
				M_f	RKW	J_n	J_s	J_r/J_B				
11	Katrivierdam	E1: Doleriet; 14 m stroomaf van wal	25	17.7	45	5.0	0.63	0.80	80	35	Baie $\pm$ 1 m	Los oppervlak materiaal; sfæroïdale verw. in berekening gebing
		E2: Doleriet; 50 m stroomaf van wal	200	140	80	5.0	0.72	0.82	1 322	40	Min 0.5 m	Meer intakte materiaal as E1; die rots is hard; geen sf. verw.
12	Klipfontein dam	E1: Doleriet; 32 m strmaf v. punt 1 op krt 2°	212	140	85	3.34	0.72	0.80	2 052	39	Geen	Geen definitiewe nate; lae skil af van rotsmassa
		E2: Verw. doleriet; naby punt 5 op krt (9°)	15	17.7	30	3.34	0.72	0.9	103	42	Matig 2 m	Sfæroïdale verwerking; sagte mat. tussen harde rots geërodeer
		E3: Verw. doleriet; by a v. S3 op krt, 23°	20	17.7	5.0	5.0	0.72	0.82	10	39	Baie 3 m	Sfæroïdale verwerking; water speel groter rol a.g.v. helling
		E4: Doleriet; by S2 lyn op kaart (4°)	200	140	80	3.34	0.77	0.85	2 195	40	Geen	Skietmerke dui aan rots is hard; sag plek-plek en skiffer af
13	Marico Bosveld dam	E1: Kwartsiet; in diep sloot	70	70	20	5.0	0.84	1.0	235	45	Baie $\pm$ 2 m	Materiaal wat erosie weerstaan; 100 m stroomaf van boog
		E2: Kwartsiet; knop-ekstrapoleer	100	70	35	4.0	0.49	1.88	558	62	Geen	Knop van swak materiaal is geëkstrapoleer na waar erosie is
		E3: Kwartsiet; langs knop; hard	160	140	90	3.34	0.87	1.88	4 752	62	Matig	Blok langs knop; harde rots; nate toe
		E4: Diabaas; verweerde materiaal	0.1	0.4	-	-	-	-	0.4	-	Baie 4-5 m	Hoogs verweerde diabaas stroomaf van walleitje
14	Mzikidam	E1: Tuff; diep sone 20 m stroomaf	1.7	0.87	-	-	-	-	1	-	Baie 4 m	Swak materiaal; skraap los met hamerpunt
		E2: Vulkaanas of tuff; 2 m stroomaf	15	17.7	25	3.34	0.5	0.82	54	39	Matig 1 m	Harde materiaal; nate moeilik identifiseerbaar
15	Prinsivierdam	E1: Mod./sliksteen; regs van punt 3 (11°)	26	17.7	15	3.34	0.71	0.84	47	40	Baie 1-2.5m	Rots is sag; antiklien; dele is sterker; Fe-oksiedlaag
		E2: Mod./sliksteen; by punt 12 op kaart 9°	30	35	5.0	3.34	1.2	0.73	48	36	Baie > 2 m	Oriëntasie is ongunstig t.o.v. watervloei; Fe-oksiedlaag
		E3: Mod./sliksteen; by punt 18 op krt 30°	50	35	5.0	3.34	0.99	0.73	38	36	Baie 6 m	Sagte materiaal; geen harde Fe-oksiedlaag bo
16	Roodeplaaddam	E1: Felsiet; hoër teen LF; swak sone	70	70	5.0	3.34	1.2	1.5	189	56	Min	Gebreksieerde sone (< M_f); waarde hoër a.g.v. sementasie
		E2: Felsiet; laer teen LF; goeie rots	200	140	95	3.34	0.72	1.2	3 440	50	Geen	Spanningsverligtingsnate; Harde intrusiewe rots
17	Tuinroetedam	E1: Kaaimansskis; 5 m strmaf v. meetwal	15	17.7	40	4.09	0.6	0.73	76	36	Matig 1 m	Die boonste swak materiaal het geërodeer; sterker rots bly oor
18	Wagendriftdam	E1: Skalie/mod; 20 m strmaf; regter skort	150	140	10	3.34	1.0	0.46	192	25	Matig 1.5 m	Intens genaai; < rotsblokke in skalie; skort is onlangs bely.

Damnaam	Punt	Naatstel	Spas. (m)	N/m	Skeiding (m)	J_r	J_a	J_r/J_a	C_j
Applethwaitedam	E1	----	---	---	---	1.0	1.0	1.0	---
Bellairstam	E1	1 =	0.3	3.3	0.005	3.0	4.0		400
		2	0.2	5.0	0.002	1.5	4.0		400
		3 ⊥	0.2	5.0	0.005	1.5	3.0		500
			$J_c = 13$					0.52	
Bellairstam	E2	1 =	0.1	10.0	0.002	1.5	4.0		200
		2	0.2	5.0	0.002	1.5	0.75		300
		3 ⊥	0.01	100	0.001	4.0	6.0		200
			$J_c = 115$					0.7	
Bridledriftam	E1	1 =	1.0	1.0	0.005	3.0	4.0		400
		2 ⊥	0.5	2.0	0.002	2.0	3.0		300
		3	0.5	2.0	0.005	1.5	4.0		400
		4 ⊥	0.2	5.0	0.002	4.0	3.0		200
		5 //	1.0	1.0	0.001	1.5	3.0		200
			$J_c = 11.0$					0.86	
Bridledriftam	E2	1 =	0.5	2.0	0.002	3.0	4.0		500
		2	0.5	2.0	0.03	1.5	6.0		200
		3 ⊥	0.2	5.0	0.02	3.0	6.0		200
		4 //	1.0	1.0	0.005	3.0	3.0		400
		5 ⊥	0.1	10.0	0.002	4.0	4.0		200
			$J_c = 20.0$					0.78	
Bridledriftam	E3	1 =	0.1	10.0	0.002	3.0	4.0		200
		2 ⊥	0.1	10.0	0.05	2.0	6.0		100
		3 //	0.2	5.0	0.005	1.5	4.0		100
		4 \\\	0.2	5.0	0.002	2.0	4.0		100
			$J_c = 30.0$					0.51	
Craigie Burdam	E1	1	0.3	3.0	0.005	1.5	4.0		400
		2 ⊥	0.2	5.0	0.002	1.5	4.0		300
		3 //	0.5	2.0	0.002	3.0	3.0		400
		4 ∨	0.2	5.0	0.001	4.0	2.0		500
			$J_c = 15.0$					0.75	

= Gelaagdheid

// Skuins nate (\\ is ook skuins in ander rigting)

| Nate parallel aan watervloeiing

∨ Willekeurige nate

⊥ Nate loodreg op watervloeiing

→/ Nate hel teen vloeiing

→\ Nate hel saam met vloeiing

Damnaam	Punt	Naatstel	Spas. (m)	N/m	Skeiding (m)	J _r	J _a	J _r /J _a	C _j
Floriskraaldam	E1	1 ⊥	0.5	2.0	0.002	1.5	3.0		600
		2 →/	0.3	4.0	0.001	1.5	3.0		500
		3 =	0.3	4.0	0.001	3.0	2.0		300
		4 √	0.2	5.0	0.002	4.0	4.0		200
			J _c = 15.0						0.84
Floriskraaldam	E2	1	0.2	5.0	0.005	1.5	4.0		—
		2 ⊥	0.2	5.0	0.002	3.0	4.0		—
		3 →/	0.5	2.0	0.002	1.0	3.0		—
		4 →\	0.15	6.7	0.002	1.5	4.0		—
			J _c = 18.7						0.47
Gamkapoortdam	E1	1 →/	0.2	5.0	0.01	1.5	6.0		300
		2	0.3	3.3	0.005	1.0	4.0		200
		3 //	0.5	2.0	0.002	1.5	3.0		500
		4 √	0.1	10.0	0.005	4.0	6.0		200
			J _c = 20.3						0.48
Goedertrouwdam	E1	1 =	0.3	4.0	0.01	3.0	6.0		300
		2	0.5	2.0	0.001	1.5	3.0		500
		3 ⊥	0.5	2.0	0.002	1.5	3.0		500
		4 //	1.0	1.0	0.001	1.0	1.0		500
			J _c = 9.0						0.56
Goedertrouwdam	E2	1 =	0.3	4.0	0.01	3.0	6.0		300
		2	0.5	2.0	0.001	1.5	1.0		400
		3 ⊥	1.0	1.0	0.003	1.0	3.0		300
		4 √	0.01	100.0	0.002	3.0	4.0		200
			J _c = 107.0						0.75
Goedertrouwdam	E3	1 =	0.5	2.0	0.01	3.0	6.0		200
		2 ⊥	0.5	2.0	0.005	1.5	3.0		500
		3 //	1.0	1.0	0.002	1.5	2.0		500
		4	0.5	2.0	0.002	2.0	3.0		400
			J _c = 7.0						0.58

* Gelaagtheid

$|$ Nate parallel aan watervloeirigting

$\perp$ Nate loodreg op watervloeirigting

// Skuins nate ($\backslash\backslash$ is ook skuins in ander rigting)

$\vee$ Willekeurige nate

$\rightarrow/\$ Nate hel teen vloeirigting

$\rightarrow\backslash$ Nate hel saam met vloeirigting

Damnaam	Punt	Naatstel	Spas. (m)	N/m	Skeiding (m)	J_i	J_a	J_i/J_a	C_j
Goedertrouwdam (ver.)	E4	1 =	0.2	5.0	0.02	3.0	6.0		200
		2 ⊥	0.5	2.0	0.002	1.0	4.0		200
		3	0.2	5.0	0.002	1.5	3.0		300
		4 //	0.2	5.0	0.002	1.5	3.0		400
		5 √	0.1	10.0	0.005	3.0	4.0		200
			$J_c = 27.0$					0.50	
Hans Strydomdam	E1	1 =	1.0	1.0	0.05	3.0	6.0		400
		2 //	0.5	2.0	0.01	1.5	4.0		500
		3 ⊥	1.5	0.5	0.003	3.0	3.0		500
		4 √	0.2	5.0	0.001	4.0	3.0		600
			$J_c = 9.0$					0.94	
Hans Strydomdam	E2	1 *	0.3	3.0	0.01	1.5	6.0		300
		2 //	1.0	1.0	0.02	3.0	6.0		500
		3 \\\	0.1	10.0	0.005	3.0	4.0		300
		4 ⊥	0.3	3.0	0.002	1.5	4.0		500
		5 √	0.1	10.0	0.002	4.0	4.0		400
			$J_c = 27.0$					0.74	
Hans Strydomdam	E3	1 =	0.3	3.3	0.05	3.0	6.0		200
		2	0.1	10.0	0.007	1.5	3.0		300
		3 \\\	0.2	5.0	---	---	---		---
		4 ⊥	0.1	10.0	0.005	2.0	3.0		300
			$J_c = 27.3$					0.57	
Hans Strydomdam	E4	1 =	0.3	3.0	0.005	2.0	4.0		400
		2 //	0.5	2.0	0.002	1.5	3.0		500
		3 \\\	0.5	2.0	---	---	---		---
		4 ⊥	0.4	3.0	0.005	4.0	4.0		500
			$J_c = 10$					0.58	
Hartebeespoortdam	E1	1 =	0.2	5.0	0.02	1.0	4.0		600
		2 //	0.6	2.0	0.005	1.0	4.0		200
		3 \\\	0.3	3.0	0.002	4.0	4.0		200
		4 √	0.1	10.0	0.001	4.0	2.0		500
			$J_c = 20.0$					1.24	

= Gelaagdheid

// Skuins nate (\ is ook skuins in ander rigting)

| Nate parallel aan watervloeirigting

√ Willekeurige nate

⊥ Nate loodreg op watervloeirigting

→/ Nate hel teen vloeirigting

→\ Nate hel saam met vloeirigting

Damnaam	Punt	Naatstel	Spas. (m)	N/m	Skeiding (m)	J _r	J _a	J _r /J _a	C _j
Hartebeespoortdam (ver.)	E2	1 =	0.2	5.0	0.03	1.0	4.0	1.0	600
		2 //	0.5	2.0	0.005	1.0	4.0		200
		3 ⊥	1.0	1.0	0.002	4.0	2.0		500
		4 √	0.1	10.0	0.001	4.0	1.0		600
		J _c = 18							1.0
Kammanassiedam	E1	1 =	0.3	3.3	0.005	1.5	4.0	0.76	500
		2 ⊥	0.3	3.3	0.005	1.5	4.0		300
		3 //	0.2	5.0	0.002	3.0	4.0		400
		4	0.2	5.0	0.002	1.0	3.0		400
		5 √	0.05	20.0	0.001	4.0	4.0		200
		J _c = 37							0.76
Kammanassiedam	E2	1 =	0.5	2.0	0.005	3.0	4.0	0.56	400
		2 //	0.3	3.3	0.002	1.5	3.0		500
		3 \\\	0.3	3.3	0.002	2.0	4.0		500
		J _c = 9							0.56
Kammanassiedam	E3	1 =	0.2	5.0	0.01	1.5	6.0	0.35	300
		2 //	0.3	3.3	0.005	1.0	3.0		300
		3	0.2	5.0	0.005	1.5	4.0		200
		4 √	0.05	20.0	0.002	1.5	4.0		200
		J _c = 33							0.35
Katrivierdam	E1	1 =	0.5	2.0	0.005	3.0	4.0	0.80	300
		2	1.5	0.5	0.002	1.5	3.0		500
		3 //	1.0	1.0	0.005	3.0	4.0		400
		4 ☼	0.2	5.0	0.001	3.0	3.0		200
		5 √	0.1	10.0	0.001	4.0	4.0		400
		J _c = 19							0.80
Katrivierdam	E2	1 =	0.3	3.0	0.005	3.0	4.0	0.824	200
		2	0.5	2.0	0.002	1.0	3.0		500
		3 //	1.5	0.5	0.001	1.5	1.0		600
		4 ⊥	2.0	0.5	0.002	2.0	3.0		400
		5 √	0.2	5.0	0.001	4.0	4.0		200
		J _c = 11							0.824

= Gelaagtheid

// Skuins nate (\\ is ook skuins in ander rigting)

| Nate parallel aan watervloeirigting

√ Willekeurige nate

⊥ Nate loodreg op watervloeirigting

↗ Nate hel teen vloeirigting

☼ Gesteente was skilfer of skisagtig is

↘ Nate hel saam met vloeirigting

Damnaam	Punt	Naatstel	Spas. (m)	N/m	Skeiding (m)	J _r	J _a	J _r /J _a	C _j
Klipfonteindam	E1	1 //	0.5	2.0	0.002	2.0	4.0		600
		2 ⊥	1.0	1.0	0.001	2.0	3.0		600
		3 ∨	0.2	5.0	0.002	4.0	4.0		400
		4 =	1.0	1.0	0.01	3.0	6.0		500
			J _c = 9						0.8
Klipfonteindam	E2	1 ⊥	0.3	3.0	0.005	2.0	4.0		400
		2 =	0.5	2.0	0.001	2.0	3.0		500
		3	1.0	1.0	0.001	2.0	3.0		400
		4 ☒	0.05	20.0	0.001	3.0	3.0		200
			J _c = 26						0.9
Klipfonteindam	E3	1 ⊥	0.5	2.0	0.005	2.0	3.0		400
		2 //	0.2	5.0	0.005	2.0	3.0		400
		3 \\\	0.5	2.0	0.002	3.0	3.0		400
		4	0.3	3.3	0.002	2.0	3.0		500
		5 =	0.2	5.0	0.005	3.0	3.0		500
		6 ☒	0.05	20	0.001	3.0	3.0		200
			J _c = 37						0.82
Klipfonteindam	E4	1 //	0.3	3.3	0.001	2.0	3.0		200
		2 ⊥	1.0	1.0	0.002	2.0	3.0		300
		3 =	3.0	0.3	0.002	3.0	3.0		500
		4 ∨	0.2	5.0	0.001	3.0	3.0		300
			J _c = 10						0.85
Marico Bosvelddam	E1	1 =	0.5	2.0	0.005	---	---		400
		2	0.3	3.0	0.002	---	---		S
		3 ⊥	0.3	3.0	0.002	---	---		S
		4 //	2.0	0.5	0.002	---	---		S
		5 ∨	0.05	20.0	0.001	---	---		400
			J _c = 29						1.0

= Gelaagtheid

// Skuins nate (\\ is ook skuins in ander rigting)

| Nate parallel aan watervloeiing

∨ Willekeurige nate

⊥ Nate loodreg op watervloeiing

↗/ Nate hel teen vloeiing

☒ Gesteente wat skisagtig is

↘\ Nate hel saam met vloeiing

Damnaam	Punt	Naatstel	Spas. (m)	N/m	Skeiding (m)	J ₁	J ₂	J ₁ /J ₂	C ₁
Marico Bosvelddam (ver.)	E2	1 =	0.2	5.0	0.01	3.0	6.0	1.86	300
		2	0.15	7.0	0.02	1.5	6.0		S
		3 ⊥	0.3	3.0	0.002	3.0	4.0		S
		4 √	0.1	10.0	0.001	4.0	1.0		200
		J _c = 25.0							
Marico Bosvelddam	E3	1 =	0.2	5.0	0.001	1.5	1.0	1.88	300
		2	0.2	2.0	0.001	3.0	1.0		300
		3 ⊥	2.0	1.0	0.001	1.5	1.0		200
		4 √	3.0	---	0.001	1.5	1.0		200
		J _c = 8.0							
Marico Bosvelddam	E4	Geen nate om te meet nie.							
Mzikidam	E1	Geen nate om te meet nie.							
Mzikidam	E2	1 =	1.0	1.0	0.01	3.0	6.0	0.82	---
		2	0.3	3.3	0.005	3.0	4.0		---
		3 ⊥	0.3	3.3	0.005	2.0	3.0		---
		4 √	0.05	20.0	0.002	3.0	4.0		---
		J _c = 27.6							
Prinsrivierdam	E1	1	0.2	5.0	0.005	1.5	4.0	0.84	300
		2 //	1.0	1.0	0.002	1.0	3.0		400
		3 =	0.2	5.0	0.003	3.0	4.0		300
		4 √	0.05	20.0	0.002	4.0	4.0		200
		J _c = 31.0							
Prinsrivierdam	E2	1 =	0.2	5.0	0.005	3.0	4.0	0.733	300
		2 ⊥	0.2	5.0	0.003	2.0	4.0		400
		3 //	0.1	10.0	0.001	2.0	3.0		400
		4 √	0.01	100	0.002	3.0	4.0		300
		J _c = 120							
Prinsrivierdam	E3	1 =	0.2	5.0	0.005	3.0	4.0	0.733	200
		2 ⊥	0.2	5.0	0.003	2.0	4.0		200
		3 //	0.1	10.0	0.001	2.0	3.0		200
		4 √	0.01	100	0.002	3.0	4.0		100
		J _c = 120							

= Gelaagdheid

// Skuins nate (\\ is ook skuins in ander rigting)

| Nate parallel aan watervloeiing

√ Willekeurige nate

⊥ Nate loodreg op watervloeiing

→/ Nate hel teen vloeiing

→\ Nate hel saam met vloeiing

Damnaam	Punt	Naatstel	Spas. (m)	N/m	Skeiding (m)	J_r	J_a	J_r/J_a	C_j
Roodeplaatdam	E1	1	0.1	10.0	0.005	3.0	4.0		200
		2 =	0.2	5.0	0.001	2.0	1.0		500
		3 ⊥	0.2	5.0	0.002	1.5	3.0		200
		4 √	0.05	20.0	0.001	4.0	2.0		200
			$J_c = 40.0$					1.5	
Roodeplaatdam	E2	1 =	1.0	1.0	0.002	1.5	1.0		
		2	0.5	2.0	0.005	1.5	1.0		
		3 //	2.0	0.5	0.002	3.0	1.0		
		4 √	0.5	2.0	0.001	2.0	4.0		
			$J_c = 5.5$					1.2	
Tuinroetendam	E1	1 ☼	0.05	20.0	<0.001	1.5	2.0		400
		2 //	2.5	0.4	0.005	3.0	4.0		500
		3 \\	2.5	0.4	0.005	1.5	4.0		500
		4 √	1.0	1.0	0.005	1.5	4.0		600
			$J_c = 21.8$					0.73	
Wagendriftdam	E1	1 =	0.5	2.0	0.01	3.0	6.0		300
		2	0.1	10.0	0.005	2.0	4.0		200
		3 ⊥	0.1	10.0	0.002	1.5	3.0		200
		4 √	0.1	10.0	0.002	1.5	4.0		300
			$J_c = 32.0$					0.46	

☼ Gelaagdheid

// Skuins nate (\\ is ook skuins in ander rigting)

| Nate parallel aan watervloeiing

√ Willekeurige nate

⊥ Nate loodreg op watervloeiing

↗/ Nate hel teen vloeiing

☼ Gesteente wat skisagtig is

↘\ Nate hel saam met vloeiing