

DOOGE, NICO

DIE HIDROULIESE ERODEERBAARHEID VAN
ROTSMASSAS IN ONBELYNDE OORLOPE MET
SPESIALE VERWYSING NA DIE ROL VAN
NAATVULMATERIAAL

MSc

UP

1993

**DIE HIDROULIESE ERODEERBAARHEID VAN ROTSMASSAS
IN ONBELYNDE OORLOPE MET SPESIALE VERWYSING
NA DIE ROL VAN NAATVULMATERIAAL**

deur

Nico Dooge

Voorgelê ter vervulling van 'n deel van die
vereistes vir die graad

M. Sc

In die Fakulteit Natuurwetenskappe
Universiteit van Pretoria

PRETORIA

November 1993

SAMEVATTING

Erosie in onbelynde oorloopkanale van damme veroorsaak skade aan die omgewing en bedreig die veiligheid van strukture. Huidige metodes om die potensiaal van erosieskade in oorloopkanale te bepaal is onbevredigend. Onnodige onkoste word dikwels aangegaan deur goeie rots te beklee of deur regmakende aksies waar die rots te swak was om onbelyn te laat. Dit is derhalwe noodsaaklik dat praktiese metodes ontwikkel word om die erodeerbaarheid van rots te kan voorspel voor konstruksie plaasvind.

'n Uitgebreide literatuurstudie is aangepak oor aspekte van erosie, uitskuring, rotsmassaklassifikasiesistels, vloede by damoorlope en hidrouliese parameters wat betrekking het op erodeerbaarheid.

Nege en twintig damme in die R.S.A. is besoek in 'n poging om die invloed van verskillende geologiese, geotegniese en hidrouliese parameters op erosie te bepaal. Die omvang van die erosieskade is by elk van 43 erosiepunte bepaal en die erosiemeganisme is bestudeer. Waterspuittoetse is uitgevoer om 'n aanduiding te kry van die erosiepotensiaal en erosietempo vir spesifieke erodeerbare sones. Nate verswak die rotsmassa en hoe meer nate met vulmateriaal teenwoordig is, hoe groter is die erosiepotensiaal van die rotsmassa. Die naattoestande in verskillende tipes rotsmassas by verskillende oorloopkanale is bestudeer en aangeteken.

Kohesiewe naatvulmateriaal speel 'n belangrike rol by die erodeerbaarheid van rotsmassas. Dit het daartoe gelei dat indekstoetse en vloeikanaaltoetse op gesimuleerde naatvulmateriaal uitgevoer word. Met behulp van indekstoetse is die mees geskikte materiaal en mengsel, wat so ver moontlik natuurlike vulmateriaal naboots, verkry. Toetsmonsters is van hierdie materiaal gemaak en in 'n vloeikanaal vir erosiepotensiaal en erosiemeganisme getoets. Die vloeikanaal is so aangepas dat watersnelhede van tot 10 meter per sekonde bereik kon word. Snelhede waarby die monsters begin erodeer is bepaal en die eenheids stroomdrywing (kW/m^2) vir hierdie drumpelsnelhede is bepaal. Daar is deurgaans gepoog om met 'n skaal van 1:1 te werk, maar aangesien dit nie altyd prakties moontlik was nie, kon die rol van skaal op die betroubaarheid van die toetsdata nie bepaal word nie.

Die hidrouliese erodeerbaarheid van 'n rotsmassa is 'n funksie van die eienskappe van die rotsmassa en die versteurende effek van die water wat daaroor vloei. Deur vergelyking van die Kirsten uitgraafbaarheidsklas en die eenheids stroomdrywing met die omvang van erosie by 43 geselekteerde punte in 'n aantal oorloopkanale, is 'n tegniek ontwikkel waarmee die hidrouliese erodeerbaarheid van verskillende rotsmassas bepaal kan word.

Aanbevelings aangaande die evaluering van 'n terrein vir erosiepotensiaal word gemaak. Metodes vir die voorkoming van erosieskade in 'n onbelynde oorloop word bespreek. Sekere aanbevelings omtrent terreine waar erosie reeds plaasgevind het en terreine waar moontlike erosie kan voorkom, word gemaak. Aanbevelings vir maatreëls teen erosie en herstel van die skade word ook gemaak.

ABSTRACT

Erosion in unlined spillways of dams can cause environmental damage and threaten the safety of structures. Existing methods to evaluate the potential of erosion in spillways are unsatisfactory. Unnecessary costs are incurred on the lining of sound rock or on remedial action where weak rock has eroded. It is therefore necessary to develop practical methods to assess the erodibility of rock prior to construction.

A comprehensive literature study was undertaken on aspects of erosion, scouring, rock mass classification systems, floods at spillways and hydraulic parameters with relation to erodibility.

Twenty nine dams in the R.S.A. were visited in an attempt to analyse the effects of different geological, geotechnical and hydraulic parameters on erosion. The extent of erosion at each of 43 erosion points was noted and the erosion mechanism studied. Water jetting tests were conducted to give a indication of the potential and rate of erosion at specific erodible zones. Joints weaken the rock mass and the more joints with fill material present, the greater is the erosion potential of the rock. The joint conditions in different rock formations at different spillways were studied and documented.

Cohesive joint fill material is an important aspect towards the erodibility of rock mass. This lead to the performance of index tests and flume tests on simulated joint fill material. Different types of materials and mixtures were tested in the laboratory. By means of index tests, the most effective material to simulate natural fill material was developed. Test samples were made and tested in a flume for erosion potential and erosion mechanism. The flume was constructed in such a way that velocities of up to 10 metres per second could be obtained. Velocities where the samples start to erode and unit stream power (kW/m^2) for these threshold velocities were determined. Where possible a scale of 1:1 was used, but since that was not always possible, the effect of scale on the reliability of the flume test data could not be established.

The hydraulic erodibility of a rock mass is a function of the properties of the rock and the disturbing effect of flowing water. By comparing the Kirsten excavation class and the unit stream power with the extent of erosion at 43 selected points along a number of spillway channels, a method for predicting the hydraulic erodibility of different rock masses was developed.

Recommendations are made for evaluating a site for erosion potential. Methods for the prevention of erosion damage in a unlined spillway are discussed. Some recommendations are made on sites where erosion has taken place and also on sites where erosion can occur in the future. Recommendations for the prevention and repair of erosion damage are proposed.

DIE HIDROULIESE ERODEERBAARHEID VAN ROTSMASSAS IN ONBELYNDE OORLOPE
MET SPESIALE VERWYSING NA DIE ROL VAN NAATVULMATERIAAL

INHOUDSOPGAWE

<u>HOOFSTUK 1</u>		<u>Bladsy</u>
1.	INLEIDING	
1.1	Doel van studie	1
1.2	Studiemetodes	2
<u>HOOFSTUK 2</u>		
2.	LITERAATUURSTUDIE	
2.1	Algemeen	3
2.2	Rotsmassaklassifikasiesistels	8
2.3	Soorte damoorlope	10
2.4	Vloede en hidrograwe van damoorlope	11
<u>HOOFSTUK 3</u>		
3.	LABORATORIUM- EN INDEKSTOETSE OP NAATVULMATERIAAL	
3.1	Materiale en mengsels	13
3.1.1	Jakobsdal sand	13
3.1.2	Sement	13
3.1.3	Bentoniet	13
3.1.4	Kalk	13
3.1.5	Kaolien	15
3.1.6	Mengsels	15
3.2	Indekstoetse	15
3.2.1	Proctortoets	15
3.2.2	Waternoets	16
3.2.3	Boortoets	18
3.2.4	Kraptoets	18
3.2.5	ETCOM toets	19
3.2.6	Skuurtoets	20
3.2.7	Opsomming en gevolgtrekkings	21
3.3	Ander toetse	22
3.3.1	X- straal diffraksie toets	22
3.3.2	Skuifsterkte toets	22
3.3.3	Digtheidstoets	23
3.3.4	Waterspuittoets	24
3.3.5	Gevolgtrekkings van die waterspuittoets	29
3.4	Maak van monsters vir modeltoetse	29
3.4.1	Vorbereiding	30
3.4.2	Bewerkings en aannames	30
3.4.3	Verdigting	32

HOOFSTUK 4

4. MODELSTUDIES

4.1	Inleiding	33
4.2	Waterkanaaltoetse	
4.2.1	Toets 1	35
4.2.2	Toets 2	37
4.2.3	Toets 3	38
4.2.4	Toets 4	39
4.2.5	Toets 5	40
4.2.6	Toets 6	44
4.2.7	Toets 7	44
4.2.8	Toets 8	46
4.2.9	Toets 9	48
4.2.10	Toets 10	48
4.3	Opsomming en gevolgtrekkings	50

HOOFSTUK 5

5. VELDWERK

5.1	Inleiding	52
5.2	Beskrywing van damme sonder vloeidata	
5.2.1	Arrieskraaldam I	52
5.2.2	Arrieskraaldam II	54
5.2.3	Bevensondam	54
5.2.4	Ida's Valleydam	56
5.2.5	Koos Raubenheimerdam	56
5.2.6	Melvilledam	57
5.2.7	Morgenstonddam	58
5.2.8	Nagiedam	59
5.2.11	Nuwebergdam	60
5.2.10	Boonste Steenbrasdam	61
5.2.11	Laer Steenbrasdam	61
5.3	Damme met vloeidata	
5.3.1	Applethwaitedam	62
5.3.2	Bellairdam	65
5.3.3	Bridle Driftdam	67
5.3.4	Craigie Burndam	70
5.3.5	Floriskraaldam	72
5.3.6	Gamkapoortdam	74
5.3.7	Goedertrouwdam	75
5.3.8	Hans Strydomdam	79
5.3.9	Hartebeespoortdam	83
5.3.10	Kammanassiedam	84
5.3.11	Katrivierdam	88
5.3.12	Klipfonteindam	89
5.3.13	Marico Bosvelddam	91
5.3.14	Mzikidam	93
5.3.15	Prinsrivierdam	95
5.3.16	Rocdeplaatdam	99
5.3.17	Tuinroetendam	100
5.3.18	Wagendriftdam	103

HOOFSTUK 6

6.	KLASSIFIKASIE VAN ROTSMASSA IN TERME VAN EROSIE, DRYWING EN KIRSTEN WAARDE	
6.1	Inleiding	104
6.2	Kirsten se uitgraafbaarheidsklassifikasiesetel	104
6.3	Formules vir bepaling van stroomdrywing	110
6.3.1	Drywing in oop kanale	110
6.3.2	Drywing by vryvaloorlope	111
6.3.3	Drywing in vloeikanaal	112
6.4	Gevolgtrekkings (Kirsten waarde - Drywing grafiek)	115

HOOFSTUK 7

7.	GEVOLGTREKKINGS	118
-----------	------------------------	------------

HOOFSTUK 8

8.	AANBEVELINGS	
8.1	Ondersoeke	119
8.2	Ontwerpkriteria	119

DANKBETUIGINGS	121
-----------------------	------------

VERWYSINGS	122
-------------------	------------

AANHANGSEL A:	Hidrograwe en berekening vir piekvloei.
AANHANGSEL B:	Korrelasie tussen maksimum droë digtheid en vuginhoud. Korrelasie tussen maksimum droë digtheid en klei inhoud.
AANHANGSEL C:	Data van waterspuittoets.
AANHANGSEL D:	Voorbereiding van monsters vir vloeikanaaltoetse: Bewerkings.
AANHANGSEL E:	Rou data vir modeltoetse.
AANHANGSEL F:	Beskrywing van erosiepunte en parameters vir Kirsten waarde (Kn) bepaling. Beskrywing van naatstelle. Toekenning van die Jr\Ja waarde by elke erosiepunt.
AANHANGSEL G:	Vloei berekeninge vir erosiepunte waar die totale vloei verdeel word.
AANHANGSEL H:	Moody diagram (Stephenson, 1979)

LYS VAN TABELLE

Bladsy

TABEL 1 :	Opsomming van gegewens oor die damme wat gedurende die navorsingsprojek besoek is.	2
TABEL 2 :	Uitgraafbaarheidstoekenningskaart volgens Weaver.	9
TABEL 3 :	Opsomming van die vloedpieke van die damme.	12
TABEL 4 :	Eienskappe van Jakobsdal sand.	13
TABEL 5 :	Chemiese analise van bentoniet.	14
TABEL 6 :	Chemiese analise van kalk.	14
TABEL 7 :	Chemiese analise van kaoliniet.	14
TABEL 8 :	Watertoets - Beskrywing van monster na 10 min.	17
TABEL 9 :	Watertoets - Beskrywing van monster na 12 ure.	17
TABEL 10:	Watertoets - Beskrywing van monster na 24 uur.	17
TABEL 11:	Indekswaarde bepaling vir die watertoets.	18
TABEL 12:	Opsomming van boortoets.	18
TABEL 13:	Opsomming van kraptoets.	19
TABEL 14:	Opsomming van ETCOM toets.	20
TABEL 15:	Opsomming van skuurtoets.	20
TABEL 16:	Grenswaardes vir skuurtoets.	21
TABEL 17:	Indekswaardes vir skuurtoets.	21
TABEL 18:	Opsomming van die indekstoeuse wat op die monsters uitgevoer is.	22
TABEL 19:	Opsomming van die skuifsterkte toets.	23
TABEL 20:	Opsomming van die digtheidstoets.	24
TABEL 21:	Opsomming van waterkanaaltoets 7.	45
TABEL 22:	Opsomming van waterkanaaltoets 8.	47
TABEL 23:	Opsomming van waterkanaaltoets 10.	49
TABEL 24:	Opsomming van damme sonder vloeddata.	53
TABEL 25:	Naatoriëntasies by Applethwaitedam.	64
TABEL 26:	Schmidt hamer waardes van rots in die kanaal by Bellairdam.	66
TABEL 27:	Naatoriëntasies in die oorloopkanaal van Goedertrouwdam.	77
TABEL 28:	'n Opsomming van rotsblokgroottes in die oorloopkanaal van Goedertrouwdam.	78
TABEL 29:	Beskrywing van boorgatkern wat in 1972 geboor is in die kanaaloorloop van Hans Strydomdam.	81
TABEL 30:	Schmidt hamer waardes van rots in die oorloopkanaal by Kammanassiedam.	86
TABEL 31:	Schmidt hamer waardes van rots in die oorloopkanaal by Prinsrivierdam.	97
TABEL 32:	Schmidt hamer waardes van rots in die oorloopkanaal by Tuinroetedam.	102
TABEL 33:	Massasterkte waarde (Ms) vir kohesiewe materiaal.	104
TABEL 34:	Massasterkte waarde (Ms) vir rots.	105
TABEL 35:	Aantal nate nommer, Jc.	105
TABEL 36:	Naatstel nommer, Jn.	106
TABEL 37:	Relatiewe struktuur waarde, Js (Pitsiou, 1990)	106
TABEL 38:	Relatiewe struktuur waarde, Js (Kirsten, 1982)	107
TABEL 39:	Interne wrywingshoek (ϕ) vir verskillende gesteentes.	108
TABEL 40:	Naatruheidwaarde, Jr.	108
TABEL 41:	Naatvulmateriaalwaarde, Ja.	109
TABEL 42:	Definisie van agt punt uitgrawings klassifikasie sisteem.	109
TABEL 43:	Opsomming van drywing waardes vir die vloeikanaaltoetse.	115
TABEL 44:	Waterdrywing en Kirsten waardes (Kn) vir die erosiepunte.	117
TABEL 45:	Aksies vir verskillende erosietoestande.	120

LYS VAN FOTO'S

Bl.

FOTO 1 :	Monsters wat vir die indekstoetse gebruik is.	16
FOTO 2 :	Die ETCOM (Erosion Tester Chamber of Mines) toetsapparaat.	19
FOTO 3 :	Opgaartenk en templaas wat vir die waterspuittoets gebruik is.	25
FOTO 4 :	Toetspunt 5 voor waterspuittoets uitgevoer is.	26
FOTO 5 :	Toetspunt 5 na waterspuittoets uitgevoer is.	26
FOTO 6 :	Toetspunt 6 voor waterspuittoets uitgevoer is.	27
FOTO 7 :	Toetspunt 6 na waterspuittoets uitgevoer is.	27
FOTO 8 :	Toetspunt 7 voor waterspuittoets uitgevoer is.	28
FOTO 9 :	Toetspunt 7 na waterspuittoets uitgevoer is.	28
FOTO 10:	Vierkantige vorm waarin die monsters verdig is.	30
FOTO 11:	Pers wat gebruik is vir verdigting van monster materiaal.	32
FOTO 12:	Vloeikanaal soos opgerig by die Universiteit van Pretoria.	33
FOTO 13:	'n Klein kanaal is binne die groot kanaal monteer.	34
FOTO 14:	Die klein kanaal wat groter snelhede kan hanteer.	34
FOTO 15:	Opstelling van toets 1 - reguit toets.	36
FOTO 16:	Opstelling van toets 3 - monsters trapsgewys in kanaal geplaas.	38
FOTO 17:	Opstelling van toets 4 - kleiteëls.	39
FOTO 18:	Berekening van watersnelheid met behulp van die stuwal metode.	41
FOTO 19:	Watersnelheid bepaling met behulp van 'n roterende vloeimeter.	42
FOTO 20:	Verplasingmeters wat monster erosie op 5 punte meet.	42
FOTO 21:	Arrieskraaldam II.	54
FOTO 22:	Verweerde tilliet in Bevensondam oorloopkanaal.	55
FOTO 23:	Hulpoorloop by Koos Raubenheimerdam.	57
FOTO 24:	Erosie aan die einde van die oorloopkanaal by Melvilledam.	57
FOTO 25:	Noodoorloop van Morgenstonddam.	58
FOTO 26:	Los rotsklippe bedek die kanaalvloer by Morgenstonddam.	58
FOTO 27:	Onverweerde rots in oorloopkanaal by Nagledam.	59
FOTO 28:	Onbelynde oorloopkanaal teen regterflank van Nuwebergdam.	60
FOTO 29:	Boonste Steenbrasdam oorloopkanaal.	61
FOTO 30:	Laer Steenbrasdam.	62
FOTO 31:	Boogwal van Applethwaitedam.	63
FOTO 32:	Applethwaitedam oorloopkanaal.	63
FOTO 33:	Bellairdamwal.	65
FOTO 34:	Oorloopkanaal teen linkerflank van Bellairdam.	65
FOTO 35:	Bridle Driftdamwal.	67
FOTO 36:	Bridle Driftdam ogeë oorloop teen regterflank.	68
FOTO 37:	Foto van 1985 vloed oor ogeë oorloop.	68
FOTO 38:	Skuinslugfoto van Craigie Burndam.	70
FOTO 39:	Rots in skort van Craigie Burndam voor 1987 vloed.	70
FOTO 40:	Skort na 1987 vloed.	70
FOTO 41:	Sementering van nate en vasanker van rots by Craigie Burndam.	71
FOTO 42:	Skuinslugfoto van Floriskraaldam voor 1982 vloed.	72
FOTO 43:	Foto van ogeë oorloop en erosieskade stroomaf van wal.	72
FOTO 44:	Skuinslugfoto van Gamkapoortdam.	74
FOTO 45:	Erosie wat plaasgevind het stroomaf van wipskoop.	74
FOTO 46:	Lugfoto van Goedertrouwdam oorloopkanaal.	75
FOTO 47:	Skade aan brugpilare as gevolg van die vloed.	76
FOTO 48:	Lugfoto van Hans Strydomdam.	79
FOTO 49:	Hoof verskuiwingssone waar erosie plaasvind in oorloopkanaal van Hans Strydomdam.	79
FOTO 50:	Lugfoto van Hartebeespoortdam.	83
FOTO 51:	Lugfoto van Kammanassiedam.	84
FOTO 52:	Stroomaf beeld van kanaaloorloop waar min tot geen erosie plaasgevind het.	84

VIII

FOTO 53:	Onderste punt van oorloopkanaal waar erosie plaasgevind het by Kammanassiedam.	85
FOTO 54:	Katrivierdam.	88
FOTO 55:	Skort waarop water val by Katrivierdam.	88
FOTO 56:	Klipfonteindam.	89
FOTO 57:	Kanaaloorloop langs regterflank van Klipfonteindam.	89
FOTO 58:	Skuinslugfoto van Marico Bosvelddam.	91
FOTO 59:	Erosie strccmaf van boogseksie in oorloopkanaal van Marico Bosvelddam.	91
FOTO 60:	Diabaasgang on oorloopkanaai waar erosie plaasgevind het.	92
FOTO 61:	Oorloopkanaal van Mzikidam na vloed.	93
FOTO 62:	Erosie reggemaak in oorloopkanaal van Mzikidam.	94
FOTO 63:	Lugfoto van Prinsrivierdam voor verhoging van oorloop.	95
FOTO 64:	Ogee oorloop van Prinsrivierdam soos dit huidiglik is.	95
FOTO 65:	Erosieskade in oorloopkanaal van Prinsrivierdam.	97
FOTO 66:	Skuinslugfoto van Roodeplaatdam.	99
FOTO 67:	Harde rots in skort by Roodeplaatdam.	99
FOTO 68:	Tuiroetedam.	100
FOTO 69:	Stroomop aansig van ogee oorloop teen regterflank.	100
FOTO 70:	Erosie van oppervlak materiaal in Tuinroetedam oorloopkanaal.	101
FOTO 71:	Skuinslugfoto van Wagendriftdam.	103
FOTO 72:	Skort van Wagendriftdam wat bedek is met 'n betonblad om erosie te verhoed.	103

LYS VAN FIGURE

FIGUUR 1 :	Illustrasie van retrogressiewe erosie.
FIGUUR 2 :	Retrogressiewe erosie begin weer van voor af.
FIGUUR 3 :	Geventileerde vloei rig meer erosieskade aan.
FIGUUR 4 :	Resultate van die skuurtoets.
FIGUUR 5 :	Indekswaardes van verskillende materiaal sterktes.
FIGUUR 6A:	Klei persentasie teenoor kohesie vir bentoniet klei.
FIGUUR 6B:	Klei persentasie teenoor kohesie vir kaolien klei.
FIGUUR 7 :	Verband tussen hoogte bo stuwal en watersnelheid in die klein kanaal.
FIGUUR 8 :	Tempo van kumulatiewe erosie vir vyf monsters.
FIGUUR 9 :	Tempo van kumulatiewe erosie vir drie monsters.
FIGUUR 10:	Erosietempo by drumpelwaarde van vier monsters.
FIGUUR 11:	Algemene plan van Applethwaitedam.
FIGUUR 12:	Stereografiese projeksie van nate by Applethwaitedam.
FIGUUR 13:	Algemene plan en lengtesnit van Bellairdam.
FIGUUR 14:	Pluk van rots soos water oor die oppervlak vloei.
FIGUUR 15:	Algemene plan van Bridle Driftdam.
FIGUUR 16:	Snit deur oorloopgedeelte van Bridle Driftdam.
FIGUUR 17:	Lengtesnit deur oorloopkanaal van Bridle Driftdam.
FIGUUR 18:	Algemene plan van Craigie Burndam.
FIGUUR 19:	Snit deur oorloopgedeelte van Craigie Burndam.
FIGUUR 20:	Algemene plan en vooraansig van Floriskraaldam.
FIGUUR 21:	Snit deur ogee oorloop van Floriskraaldam.
FIGUUR 22:	Plukaksie soos water oor die rots by Floriskraaldam vloei.
FIGUUR 23:	Algemene plan van Gamkapoordam.
FIGUUR 24:	Snit A-A en B-B deur ogee oorloop van Gamkapoordam.
FIGUUR 25:	Algemene plan van Goedertrouwdam.
FIGUUR 26:	Snit van Goedertrouwdam oorloop met wipskoep.
FIGUUR 27 A:	1:500 Topografiese kaart van Goedertrouwdam.
FIGUUR 27 B:	1:500 Topografiese kaart van Goedertrouwdam.
FIGUUR 28:	Lengtesnit deur oorloopkanaal van Goedertrouwdam.

IX

- FIGUUR 29:** Stereografiese projeksie van primêre naatstelle by Goedertrouwdam.
- FIGUUR 30:** Algemene plan van Hans Strydomdam en oorloopkanaal.
- FIGUUR 31:** Snit deur oorloop betonstruktuur by Hans Strydomdam.
- FIGUUR 32 A:** Kontoerkaart van Hans Strydomdam oorloopkanaal.
- FIGUUR 32 B:** Geologiesekaart van Hans Strydomdam oorloopkanaal.
- FIGUUR 32 C:** Erosiekaart van Hans Strydomdam oorloopkanaal.
- FIGUUR 33:** Lengtesnit deur Hans Strydomdam oorloopkanaal.
- FIGUUR 34:** Algemene plan van Hartebeespoortdam en oorloopkanaal.
- FIGUUR 35:** Snit deur ogee oorloop by Hartebeespoortdam.
- FIGUUR 36:** Lengtesnit deur oorloopkanaal waar watervloei plaasvind.
- FIGUUR 37:** Algemene plan van Kammanassiedam en oorloopkanaal.
- FIGUUR 38:** Diepte van watervloei oor rots.
- FIGUUR 39:** Algemene plan van kanale waar watervloei plaasvind.
- FIGUUR 40:** Lengtesnit deur oorloopkanaal van Kammanassiedam.
- FIGUUR 41:** Algemene plan van Katrivierdam.
- FIGUUR 42:** Snit deur oorloopgedeelte by Katrivierdam.
- FIGUUR 43:** Algemene plan van Klipfonteindam en oorloopkanaal.
- FIGUUR 44:** Algemene plan van kanaal waarlangs water vloei in oorloop.
- FIGUUR 45:** Lengtesnit deur Klipfonteindam oorloopkanaal (Fig. A en B).
- FIGUUR 46:** Algemene plan van Marico Bosvelddam.
- FIGUUR 47:** Snit deur ou oorloopstruktuur van Marico Bosvelddam.
- FIGUUR 48:** Lengtesnit deur ou oorloopkanaal en erosiediepte.
- FIGUUR 49:** Lengtesnit deur nuwe oorloopkanaal.
- FIGUUR 50:** Algemene plan van nekoorloop voor verhoging Prinsrivierdam.
- FIGUUR 51 A:** Algemene plan van nekoorloop na verhoging.
- FIGUUR 51 B:** Snit deur Prinsrivierdam ogee oorloop.
- FIGUUR 52:** Illustrasie van antiklien en verskuiwingssone.
- FIGUUR 53:** Stereografiese projeksie van nate in die Prinsrivierdam kanaal.
- FIGUUR 54:** Algemene plan van Prinsrivierdam oorloopkanaal.
- FIGUUR 55:** Lengtesnit van oorloopkanaal by Prinsrivierdam.
- FIGUUR 56:** Algemene plan van Roodeplaatdam.
- FIGUUR 57:** Snit deur oorloopgedeelte by Roodeplaatdam.
- FIGUUR 58:** Algemene plan van Tuinroetedam en oorloopkanaal.
- FIGUUR 59:** Snit deur ogee oorloop struktuur by Tuinroetedam.
- FIGUUR 60:** Lengtesnit deur Tuinroetedam oorloopkanaal.
- FIGUUR 61:** Illustrasie van erosiemeganisme by Tuinroetedam.
- FIGUUR 62:** Algemene plan van Wagendriftdam.
- FIGUUR 63:** Snit deur oorloopgedeelte van Wagendriftdam.
- FIGUUR 64:** Algemene vloei diagram vir oop kanaal vloei.
- FIGUUR 65:** Skematiese voorstelling van oorfloei oor vryvaloorlope.
- FIGUUR 66:** Parameters vir waterdrywing (P_a) teenoor Kirsten waarde vir die grondoppervlak
- FIGUUR 67:** Eenheidsdrywing (S_{kanaal}) teenoor Kirsten waarde vir die grondoppervlak energiehellings (S_{kanaal}).

1. INLEIDING

'n Dam wat in 'n rivier gebou word moet voorsiening maak vir die uitlaat van vloedwaters. Gewoonlik word die vloedwater oor die damwal na 'n plonspoel of langs 'n gekonstrueerde of natuurlike kanaal, na die rivier stroomaf van die damwal gelei. Die belangrikheid van 'n veilige oorloop kan nie genoeg beklemtoon word nie. 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 erosie in en stroomaf van die oorloop te weerstaan.

Verskeie damme het al geswig as gevolg van verkeerd ontwerpte oorlope, oormatige erosie in onbelynde oorlope of deur oorlope van onvoldoende kapasiteit om water tydens 'nloed te beheer. 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 kan word nie.

Huidige metodes om die omvang van erosieskade in verskillende rotsformasies in onbeklede damoorlope en nie - oorloopgedeeltes van damme te bepaal, is onbevredigend en veroorsaak dat daar dikwels onnodige koste aangegaan word deur goeie rots te beklee, terwyl, in ander gevalle, ernstige skade deur erosie van onbeklede oorlope veroorsaak word. Groot kostes moet dan aangegaan word om hierdie skade te herstel. Navorsing oor die erosie van grond- of grasbedekte onbelynde damoorlope is al deur talle instansies onderneem. Daar is egter nog nie tot op hede 'n metode geformuleer om die moontlikheid en omvang van erosie in rotsmassas volgens vasgestelde parameters te klassifiseer en te evalueer nie. Hierdie navorsing het juis hierdie aspekte aangespreek.

1.1 DOEL VAN STUDIE

Navorsing oor die erosie van onbelynde damoorlope word gedoen ten einde die moontlikheid en omvang van erosie op verskillende rotsformasies vooraf te kan evalueer. Die volgende probleme kan ontstaan indien grootskaalse erosie plaasvind:

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

Die geologiese toestande van 'n plonspoel of oorloopkanaal beïnvloed die moontlikheid en omvang van erosie en is dus 'n belangrike parameter wat ondersoek moet word. Onder geologiese toestande word die eienskappe van die gesteentesoort sowel as die diskontinuiteite ingesluit. Belynde oorlope bied beskerming teen erosie, maar die koste implikasie by veral kleiner damme, veroorsaak dikwels dat die oorloop onbelynd bly. Die belangrikheid van hierdie navorsing word deur die aantal damme wat ernstige erosie in plonspoele en onbelynde kanale toon, geïllustreer. Die verskillende aspekte van die navorsingsprogram kan soos volg opgesom word:

- Literatuurstudie oor die hidrouliese erodeerbaarheid van geologiese materiale.
- Ondersoek en dokumentasie van rotsgedrag in onbelynde oorlope in Suid-Afrika.
- Studie van die uitwerking van hidrouliese kragte op rots.
- Herwinning van data oor vloede wat erosie veroorsaak het.
- Kompilasie van 'n databasis van erosieparameters in uitgesoekte oorlope.
- Navorsing oor die effek van naatvulmateriaal op die erodeerbaarheid van rotsformasies.
- Ontwikkeling van 'n metode om die erodeerbaarheid al dan nie van bepaalde rotsformasies onder verskillende vloeitoestande te voorspel.

Verskeie ondersoekes is aangepak sodat die doeiwitte van die navorsing bereik kan word.

1.2 STUDIEMETODES

Tydens die literatuurstudie is talle handboeke, tydskrif artikels en verslae wat handel oor erosie en uitskuring bestudeer. Artikels wat handel oor modeltoetse is ook nagevors. Daar is onder andere spesiale aandag geskenk aan rotsmassaklassifikasiesistelsels, veral Kirsten (1982) se stelsel vir uitgraafbaarheid.

'n Aantal damme in die R.S.A. is besoek ten einde die omvang van erosieskade vas te stel, inligting oor geologiese toestande in te win, rotsmassas te beskryf en om opmetings te doen sodat die profiel van die oorloop geteken kan word. Besonderhede oor die soort oorloop, gesteente in oorloop en ander belangrike inligting van 18 geselekteerde damme word in Tabel 1 opgesom. By meeste van hierdie oorlope, verskil die rotsmassatoestande en vloeitoestande van plek tot plek en altesaam 43 verskillende situasies kon bestudeer word.

TABEL 1 : Opsomming oor die damme wat gedurende die navorsingsprojek besoek is.

Nr	Damnaam (Alfabeties)	Provinsie Stad/Dorp	Tipe Oorloop	Rots in oorloop	Datum Voltooi	Voed rivier	Opmerkings
1	Applethwaitedam	Kaap Grabouw	Sykanaal	Sandsteen kwartsiet	1952	Palmiet	Nie baie erosie nie.
2	Bellairdam	Kaap Ladismith	Sykanaal	Moddersteen sliesteen	1920	Brak	Min water oorgevloei.
3	Bridle Driftdam	Oos Kaap Oos Londen	Ogee met kanaal	Doleriet	1969	Buffalo	Baie erosie.
4	*Craigie Burdam	Natal Greytown	Vryval	Doleriet	1963	Mnyamvubu	Reggemaak deur sementering.
5	Floriskraaldam	Kaap Laingsburg	Ogee met kanaal	Tilliet	1957	Buffels	Groot vloed oor dam.
6	*Gamkapoordam	Kaap Ladysmith	Ogee met wipkoop	Kwartsiet Sandsteen	1969	Gamka	Groot vloed.
7	*Goedertrouwdam	Natal Eshowe	Ogee, wip en kanaal	Tilliet	1982	Mhlatuze	Baie erosie.
8	*Hans Strydomdam	Transvaal Ellisras	Sykanaal	Kwartsiet Sandsteen	1980	Mogol	Baie erosie.
9	*Hartebeespoortdam	Transvaal Pretoria	Geut met kanaal	Kwartsiet Sandsteen	1923	Krokodil	Volledige data.
10	*Kammanassiedam	Kaap Outshoorn	Kanaal	Sandsteen modder- sliesteen	1923	Kammanassie	Erosie gelokaliseerd.
11	Katrivierdam	Kaap Seymour	Vryval	Doleriet	1969	Kat	Minder erosie.
12	Klipfonteindam	Natal Vryheid	Kanaal	Doleriet	1983	Wit - Mfolozi	Minder erosie.
13	*Marico Bosveldam	Transvaal Grt/Marico	Kanaal -45 saagtand	Kwartsiet	1933	Groot - Marico	Baie erosie. Min data.
14	Mzikidam	Natal Hluhluwe	Kanaal	Tuff	---	Privaat dam	Baie min data.
15	Prinsrivierdam	Kaap Swellendam	Ogee met kanaal	Moddersteen sliesteen	1917 1982	Pnns	Baie erosie. Goeie data.
16	Rodeeplaad dam	Transvaal Pretoria	Vryval	Felsiet	1959	Pienaars	Min erosie.
17	Tuinroetedam	Kaap George	Ogee met kanaal	Skis	1979	Swart	Onvolledige data.
18	*Wagendrifdam	Natal Estcourt	Vryval	Skalie modstn	1964	Boesmans	Skort belyn.

* Volledig beskryf in S. Pitsiou (1990) se M.Sc verhandeling.

Tydens die besoeke aan die damme is die geologie van die oorlope beskryf, naatopnames uitgevoer, indekstoetse op die rots gedoen, rots volgens Kirsten se rotsmassaklassifikasiesistelsel beskryf, naatvulmateriaal beskryf, opmetings met 'n vlaktafel gedoen en foto's geneem. Beskikbare inligting omtrent die damme soos topografiese en geologiese kaarte, ontwerp-inligting, hidrologiese inligting, ontwerpverslae en damveiligheidsverslae is ingewin. Modeltoetse is in 'n vloeikanaal uitgevoer. Hierdie toetse is gedoen om die meganisme van erosie en in besonder die effek van watervloei op naatvulmateriaal in rotsformasies te bestudeer.

2. LITERATUURSTUDIE

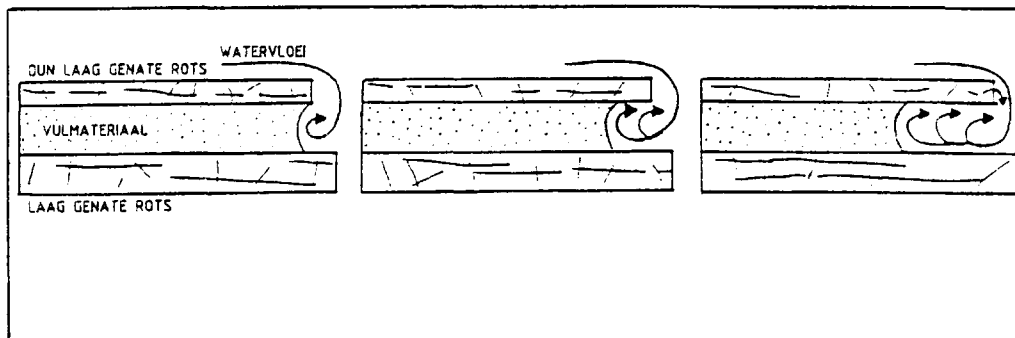
2.1 ALGEMEEN

Tydens die literatuurstudie is veral aan die volgende aspekte aandag geskenk:

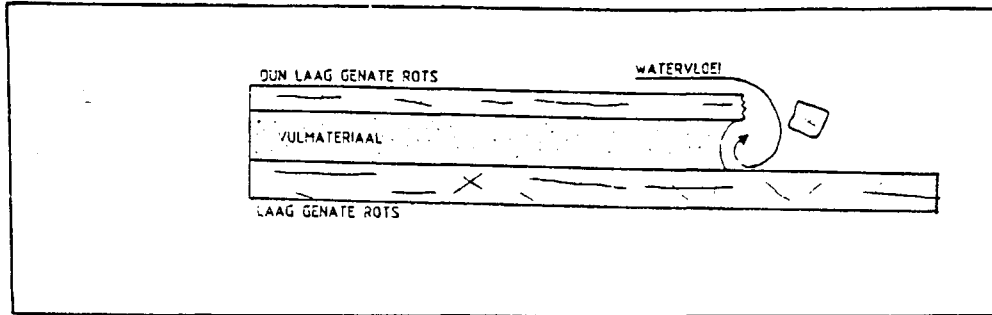
- Handboeke, tydskrif artikels en versale wat handel oor erosie en uitskuring.
- Indekstoetse en artikels oor modeltoetse op verskillende materiale.
- Rotsmassaklassifikasiesistelsels
 - Bieniawski (1973)
 - Barton *et al* (1974)
 - Weaver (1975)
 - Kirsten (1982)
- Metodes om erodeerbaarheid te bepaal by vryvaloorlope en uitloopkanale.
- Gedokumenteerde vloede by damoorlope
- Hidroulika formules en berekeninge
- Bepaling van geologiese en hidrouliese parameters vir erodeerbaarheid.

Daar is onder andere spesiale aandag geskenk aan rotsmassaklassifikasiesistelsels, veral Kirsten (1982) se stelsel vir uitgraafbaarheid. Volgens 'n loodsondersoekverslag (van Schalkwyk, 1989) moet daar onderskeid gemaak word tussen die meganismes van kolkvatvorming benede 'n vryvaloorloop en uitskuring in 'n uitloopkanaal. Vir die doel van hierdie navorsingsprojek is daar gekonsentreer op die meganisme van erosie in uitloopkanale asook die effek van naatvulmateriaal op die erodeerbaarheid van rotsmassas.

Veranderinge 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 (van Schalkwyk, 1989). 'n Knakpunt kan ook ontstaan waar erosie gekonsentreer word as gevolg van 'n verandering in gradiënt of 'n versperring soos 'n groot rots of boomstomp in die pad van die watervloei. Hierdie versperrings veroorsaak meer turbulensie en daar vind meer erosie plaas. Erosie begin dus by hierdie knakpunt en vreet terugwaarts (retrogressief) van hierdie punt af. Hierdie knakpunte lei tot versteuring van die vloeipatroon, uitskuring van die sagter lae en vinnige terugwaartse erosie (Mathewson, 1981). Retrogressiewe erosie, waar harder en sagter lae voorkom in die vloeikanaal, word in Figure 1 en 2 illustreer. Die sagter materiaal word uitgevreet en sodra genoeg materiaal erodeer het, breek die oorleënde laag en die proses begin weer van voor af.



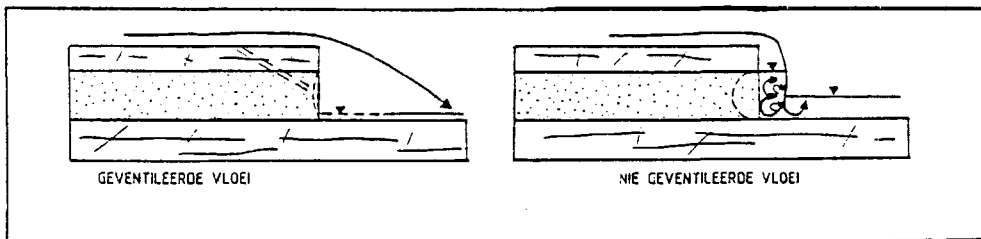
FIGUUR 1 : Retrogressiewe erosie



FIGUUR 2 : Die erosieproses begin weer van voor af.

Diskontinuiteite sluit in, verandering in litologie of gesteente, sowel as vlakke van swakheid soos verskuiwings, nate en gelaagdheid. Sones van swakker materiaal skuur vinniger uit, en dan word die vloei langs die dieper kanale konsentreer en versnel die erosieproses (van Schalkwyk, 1989).

In die geval van nooduitlope, het Cameron (1986) bevind dat die hidrouliese kragte tydens die groot vloede meesal op die grootskaalse diskontinuiteite gekonsentreer word en dat die effek van kleiner diskontinuiteite daardeur oorskadu word. Lae-vloei toestande rig dus meer erosieskade aan. 'n Nie geventileerde vloei (Figuur 3) rig ook meer skade aan as 'n geventileerde vloei (Palmerton *et al.*, 1991).



FIGUUR 3 : Geventileerde en nie geventileerde vloei

Volgens Cook en Harvey (1974) kan die doeltreffendheid van enige tegniek van uitgraving evalueer word in terme van die spesifieke energie van rotsbreek en die spesifieke drywing wat beskikbaar is. Dus die tempo van penetrasie word gegee deur die verhouding van spesifieke drywing tot spesifieke energie. Verskeie metodes van uitgraving waaronder, waterstraal erosie, is volgens bogenoemde parameters bestudeer.

Kamphuis (1990) het die erosie van gekonsolideerde kohesiewe sediment wat sommige rivierbeddens uitmaak, bestudeer. Die eienskappe van die sediment soos klei inhoud, klei mineralogie, 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 in die eroderende vloeistof bepaal. Daar is vasgestel dat die teenwoordigheid van klein hoeveelhede sand en of gruis die erosiepotensiaal deur abrasie drasties verhoog.

Van belang vir die navorsingsprojek was die modeltoetse en ook die tipe materiaal wat getoets is deur Kamphuis (1990). 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 gevorm en in 'n hoë spoed kanaal getoets. Die kanaal was in staat om snelhede (naby die bed) van tot 3,5 m/sek. te bereik wat ooreenstem met 'n skuifspanning van 26 Pa. Vanuit die 25 toetse gedoen, is daar gevind dat erosie inisiasie verband hou met die grond parameters, veral skuifsterkte, klei inhoud en digtheid. Die studie van erosie van kohesiewe materiaal is moeilik omdat dit komplekse parameters soos skuifspanning en skuifsterkte asook chemiese en fisiese binding van individuele partikels insluit (Kamphuis *et al.*, 1983). Die skuifspanning wat nodig is om 'n kohesiewe sediment te erodeer word

beïnvloed deur die hoeveelheid en tipe klei mineraal, mikroskopiese en makroskopiese klei eienskappe, waterinhoud, pH en temperatuur van die eroderende water, poriewater en die tiksotropie en konsolidasie van die klei en klei struktuur.

Die gekonsolideerde klei materiaal wat vir kanaaltoetse gebruik is, is van die bodem van 'n rivier op die terrein gekry. Ander sediment is ook vanaf 'n meer geleë terrein in dieselfde formasie as die oorspronklike klei materiaal gekry. Skuifspanning en kritieke snelhede om erosie te inisieer, is bepaal. X - straal diffraksie op die klei het die volgende gegee (Kamphuis *et al*, 1983):

Kwarts	50% - 60%
Chloriet	15% - 20%
Illiet	20% - 25%
Montmorilloniet	1% - 10%

Die monsters is in 'n pers gevorm en verdig. Onder andere is die volgende gevolgtrekkings in Kamphuis *et al* (1983) se artikel gemaak. 'n Konsekwente verband tussen skuifspanning en kritiese snelheid is verkry. Die variasie van kritiese skuifspanning met eenassige druksterkte en skuifsterkte is lineêr. Die vermoë van 'n kohesiewe materiaal om erosie te weerstaan, verhoog met klei inhoud en plastisiteitsindeks. Die grootte van die verwyderde partikels neig om groter vir 'n grond met 'n lae klei inhoud te wees. Die skuifspanning wat nodig is om erosie van 'n kohesiewe materiaal te inisieer, verhoog met konsolidasie druk. Vir die klei materiaal wat getoets is, toon die resultate dat as die konsolidasie druk groter as 200 kPa is, die grond veilig teen erosie onder normale vloei toestande sal wees. Nadat die kritiese skuifspanning bereik is, vind erosie onmiddelik plaas. Daar is min of geen afhanklikheid van vorige vloei geskiedenis nie. Wanneer die oorspronklike kleioppervlak gebreek is, vind erosie vinniger plaas as gevolg van die verhoging in hidrodinamiese ruheid van die oppervlak. Modeltoetse kan waardevolle inligting voorsien in hierdie verband.

'n Artikel wat van groot belang was vir die metode van monster making en erosie toetsing was dié van Shaikh *et al* (1988). In die artikel word die erosietempo van gekompakteerde montmorilloniet grond bestudeer. Monsters vir kanaaltoetsing is van kommersiële verkrygbare Na - montmorilloniet (Volclay bentoniet) gemaak. Die bentoniet is met grond gemeng om monsters van verskillende klei fraksies te kry. Mengsels van 100, 70, 40, en 10% klei by droë digtheid was gebruik. Kraanwater is as die eroderende vloeistof gebruik. Die temperatuur van die water is konstant by $18^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ gehou. Monsters is in 'n pers voorberei en in 'n kanaal vir erosie getoets. Die hoeveelheid erosie (massaverlies) is gedefinieer as die verskil tussen droë massa voor en na toetsing. Die erosie tempo is gedefinieer deur die helling van die lyn van massaverlies teenoor tyd.

Reinius (1986) beskou die erosie van rots deur water wat parallel met die rotsoppervlak vloei, soos byvoorbeeld stroomaf van oorloope. Daar word aangeneem dat die rots krake in verskeie rigtings het en dat water in die krake kan vloei wat veroorsaak dat druk in die krake opgebou word. As gevolg van hierdie drukke vind opligdruk plaas wat die rotsblok oplig sodat dit deur die water vervoer kan word. Sodra die eerste blok verwyder word, kan die waterkragte die daaropvolgende blok makliker aanval. Agt model studies is deur Reinius (1986) in 'n vloekanaal uitgevoer sodat die waterdrukke om 'n gesimuleerde rotsblok bestudeer kon word. Die nate en rotsblokke is met verskillende oriëntasies getoets. Die gesimuleerde rotsblokke bestaan uit identiese betonblokke wat 0.2 m wyd, 0.15 m lank en 0.3 m hoog is. Daar is vasgestel dat die waterdrukke, wat deur hoë vloeisnelhede veroorsaak is, op die rots uitgeoefen en na die nate oorgedra word. Die drukke word ook na ander aaneengeskakelde oop nate oorgedra. Die drukke om die rotsblok veroorsaak dat die blok uitgelig word mits die oriëntasie van die nate dit toelaat. Indien die druk oor 'n groot area plaasvind sal die hele area onderworpe wees aan opligting. Druk fluktuasies of turbulensie dra by tot opligkragte en vibrasie kan ook die stabiliteit affekteer.

Reinius (1986) gaan verder deur te sê dat erosie nie sal plaasvind in rots van goeie kwaliteit waar die rotsblokke tussen die nate en krake groot en ineengesluit (sleutelblokke) is nie. Stroomafhellende laagvlakke of nate is baie meer vatbaar vir die ontwikkeling van intense waterdrukke as stroomophellende vlakke en sal dus baie vinniger of makliker erodeer.

'n Goedkoper manier om die erosie te verhoed is om die nate te seël met beton en dreinerings gate wat die opligdruk verlig. Hierdie metode kan ook met rotsankers gekombineer word.

Guohan *et al* (1989) het gevind dat *in situ* kohesiewe materiaal van 'n terrein vir modeltoetse gebruik moet word. 'n Korrelasie tussen kritieke erosie snelheid en droë digtheid is met vloeitoetse gekry.

Burt (1990) dui aan dat dit nie moontlik is om die fisiese eienskappe van 'n fyn kohesiewe sediment af te skaal sodat dit in 'n fisiese model gebruik kan word nie. Kohesiewe sediment het 'n aantal eienskappe soos flokkulasie en konsolidasie wat dit onmoontlik maak om hierdie materiaal af te skaal. Terwyl baie vooruitgang met geskaalde nabootsing van die erosieprosesse gemaak is, is dit ook duidelik dat om al hierdie erosieprosesse in 'n enkele geskaalde model te simuleer, 'n materiaal van uitsonderlike eienskappe vereis word. Erosie vind plaas wanneer die vloeisnelheid, of meer spesifiek die skuifspanning, die drumpelwaarde oorskrei (Burt, 1990). Die drumpelwaarde is afhanklik van die digtheid van die materiaal. Die erosietempo is proporsioneel aan die oormaat skuifspanning. Die formule wat deur Burt (1990) gebruik is vir skuifspanning is:

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

waar: τ = Skuifspanning
 ρ = Digtheid van vloeistof
 u_* = Skuifnelheid

Die gevolgtrekking wat Burt (1990) in sy artikel maak, is dat skaal modellering van kohesiewe materiaal nie 'n realistiese en verteenwoordigende toets is nie.

Raudkivi & Tan (1984) het eksperimente op drie kleie gedoen om die erosie van kohesiewe materiaal te beskryf. Die oppervlak van die geerodeerde kleie is gepit, wat aandui dat die klei as klonte uitgelig word. Die fisika van die erosie van kohesiewe grond is 'n baie komplekse probleem. Die drie kleie wat gebruik is, is kaolien ("Koclay" en "Ball clay") en bentoniet ("Calben").

Rauws (1988) het laboratorium eksperimente uitgevoer om die variasie in vloei wrywing as gevolg van ruheid in dun watervloei op steil hellings te bestudeer. Die hidroulika van oorland vloei is baie kompleks. Vloei kan laminêr, oorgangsvloei of turbulent wees. Subkritiese en superkritiese vloei kan ook voorkom. Die weerstand van oorland vloei wat deur die oppervlak veroorsaak word, kan deur 'n hidrouliese ruheidskoëffisient uitgedruk word soos Manning se n waarde en die Darcy - Weisbach wrywingsfaktor λ :

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

en:

$$\lambda = 8gDS / \acute{u}^2$$

waar: D = diepte van vloei (m)
 S = energiehelling
 \acute{u} = maksimum vloei snelheid (m/s)
 g = gravitasie versnelling (m/s²)

Die vervoer van sediment deur oorland vloei op 'n onreëlmatige oppervlak is afhanklik van die korrel skuifspanning van die vloei (Govers & Rauws, 1986).

Stroomdrywing (P) is die tempo van werkverrigting as gevolg van die wedersydse skuifspanning tussen die grond oppervlak en die oorland vloei (Bagnold, 1966). *Eenheids (area) stroomdrywing (Pa) is die krag per eenheidsarea beskikbaar om werk te doen.* Indien die vloei uniform versprei word oor 'n gelykte met helling S , word eenheids (area) stroomdrywing gegee deur:

$$Pa = \rho g S q$$

waar: ρ = Digtheid van vloeistof.
 g = Gravitاسie versnelling.
 q = Watervloei per eenheids breedte.

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

Kohesiewe sterkte is 'n eienskap van die grond matriks as 'n geheel en nie as '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 vlakke kan die eenheids (area) stroomdrywing ook soos volg uitgedruk word:

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

waar: D = Vloediepte.
 v = Gemiddelde plaatvloei snelheid.

Indien die vloei van water in 'n stroom plaasvind, word 'n meer omvattende uitdrukking benodig om erosie te bepaal (Hairsine & Rose, 1992b). Reghoekige- en driehoekige kanaal vloei kan as spesiale gevalle van 'n trapesoïdale kanaal vloei beskou word. Eenheids (area) stroomdrywing kan in terme van Skuifspanning (τ) uitgedruk word:

$$P = \tau v$$

waar: τ = Gemiddelde skuifspanning per eenheidsarea van benatte oppervlak.
 v = Gemiddelde stroomvloei snelheid.

Skuifspanning kan uitgedruk word as:

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

waar: R = Hidrouliese radius.

Rooseboom & Mülke (1982) het 'n studie onderneem om kritieke toestande vir beide kohesielose en kohesiewe materiaal te analiseer 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 vervoerkapasiteit van die stroom gelyk is aan die kapasiteit wat benodig word om materiaal los te maak van die kanaalvloer. Indien bestaande verwantskappe vir kritieke toestande in aanmerking geneem word het Lane (1953) tot die gevolgtrekking gekom dat data van kritieke toestande vir kohesiewe materiaal 'n groot graad van verstrooiing toon.

Beskou 'n uniforme een-dimensionele stroom met vloediepte D en helling S . Die drywing wat toegepas word om vloeistof beweging te behou, 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 eenheids volume waar ρ = vloeistof digtheid, g = gravitasie versnelling, S = energie gradiënt en v = snelheid van vloeiende element is (Rooseboom & Mülke, 1982). $\rho g S v$ is dus ook die stroomdrywing per eenheids volume (P_v).

$$P_v = P_a / D$$

en: $P_v = \rho g S D v = \rho g S q$

Die maksimum eenheids (volume) drywing waarde vir ru turbulente vloei word as volg gedefinieer (drywing nodig om vloeistof in beweging te hou):

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

waar: S ≡ Energiehelling
 D ≡ Vloediepte
 k ≡ Absolute ruheidswaarde (grootte van onreëlmatighede op vloer)

In die geval van kohesiewe materiaal, is die k-waarde gewoonlik groter as die d_{90} partikel grootte.

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

Parchure en Mehta (1985) het 'n vergelyking ontwikkel om erosietempo van die boonste laag van 'n riviermond bedding te bepaal. Die laboratorium prosedure wat hulle gevolg het kan gebruik word om die nodige parameters vir enige terreinondersoek te bepaal. Die laboratorium prosedure 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 tussen skuursnelhede en kohesie, wat weerstand tot skuring voorstel, is gekry. Kohesie van grond word beskou as 'n indeks van grondsterkte en is ook 'n fisiese kenmerk van weerstand tot erosie.

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

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

waar: C ≡ Kohesie (10^4 Pa)
 H ≡ Diepte van lokale skuring veroorsaak deur waterstraal (m).
 u ≡ Snelheid van uitvloeit uit spuitstuk ($m \cdot s^{-1}$)
 d^* ≡ Diameter van spuitstuk gat (m).

Met hierdie verband kan 'n kwantitatiewe voorspelling van kohesie vanaf 'n eenvoudige eksperiment gemaak word. Die kohesie van versadigde grond en dus die stabiliteit van die grond onder erosie toestande kan bepaal word. Die invloed van oorspronklike vog toestande op die eksperimentele waardes word uitgeskakel deur die versadiging van die toets area met water. Die voordeel van hierdie toets is dat dit eenvoudig, vinnig en akkuraat is. Weerstand teen skuring en erosie word direk gemeet.

Rooseboom (1989) het 'n oorsig van vloei prosesse en sediment vervoer gepubliseer sodat 'n kommunikasie medium tussen hidroloë en spesialiste in ander velde opgestel kan word. Die formules wat nodig is om oop kanaal vloei te analiseer word in hierdie artikel weergegee.

2.2 ROTSMASSAKLASSIFIKASIESTELSELS

Die meeste rotsmassaklassifikasiesstelsels het ten doel om tonneltoestande, soos onbestutte staantyd, rotsklas, vereiste bestutting en tonnelboumetodes, te voorspel. Al die stelsels maak oorwegend van dieselfde insetparameters gebruik.

Die klassifikasiestelsels wat in Suid-Afrika die meeste aanklank gevind het, was dié deur Bieniawski (1973) en Barton, Lien & Lund (1974). In beide gevalle het Suid-Afrikaanse outeurs aanpassings aan hierdie stelsels gemaak ten einde dit as klassifikasiestelsels vir die uitgraafbaarheid van rots en grond vir Suid-Afrikaanse toestande te kan toepas.

Weaver (1975) het Bieniawski (1973) se stelsel as basis gebruik en aangepas deur die parameters rotskwaliteitswaarde (RKW), rotsmateriaalsterkte en grondwater uit te laat en nuwe parameters seismiese snelheid, hardheid en verweringsgraad by te voeg. Die waardes is ook verander. Weaver se uitgraafbaarheid toekenningskaart verskyn as Tabel 2.

TABEL 2: Uitgraafbaarheidstoekenningskaart volgens Weaver

Rots klas	I	II	III	IV	V
Beskrywing	Baie goeie rots	Goeie rots	Middelmatige rots	Swak rots	Baie swak rots
Seismiese snelheid (m/s)	> 2 150	2 150 - 1 850	1 850 - 1 500	1 500 - 1 200	1 200 - 450
Toekenning	26	24	20	12	5
Rots hardheid	Uiterse harde rots	Baie harde rots	Harde rots	Sagte rots	Baie sagte rots
Toekenning	10	5	2	1	0
Rots verwerking	Onverweer	Effens verweer	Verweer	Hoogs verweer	Heeltemal verweer
Toekenning	9	7	5	3	1
Naat spasiëring (mm)	> 3 000	3 000 - 1 000	1 000 - 300	300 - 50	< 50
Toekenning	30	25	20	10	5
Aaneenlopendheid	Nie aaneenlopend	Effens aaneenlopend	Aaneenlopend-geen vul	Aaneenlopend-bietjie vul	Aaneenlopend-met vul
Toekenning	5	5	3	0	0
Naatvulmat.	Geen skeiding	Effense skeiding	Skeiding < 1 mm	Vul-<5 mm	Vul->5 mm
Toekenning	5	5	4	3	1
*Strekking en hel oriëntasie	Baie ongunstig	Ongunstig	Effens ongunstig	Gunstig	Baie gunstig
Toekenning	15	13	10	5	3
Totale toekenning	100 - 90	90 - 70**	70 - 50	50 - 25	< 25
Uitgraafbaarheid	Skietwerk	Uiters harde uitgraaf en skietwerk	Baie harde uitgraaf	Harde uitgraaf	Maklik uitgraaf
Trekker keuse	-	DD9G/D9G	D9/D8	D8/D7	D7
Perdekrag	-	770/385	385/270	270/180	180
Kilowatt	-	575/290	290/200	200/135	135

* Oorspronklike strekking en helling oriëntasie nou hersien vir uitgraafbaarheid.

** Toekenning groter as 75 moet as onuitgraafbaar sonder skietwerk beskou 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 parameters is verander. Die uitgraafbaarheidsindeks (N) word soos volg gedefinieer:

$$N = Ms * RKW/Jn * Js * Jr/Ja$$

waar: Ms = Massasterkte
 RKW = Rotskwaliteitwaarde
 = 115 - 3.3 Jc
 Jc = Aantal nate per kubieke meter
 Jn = Aantal naatstelle
 Js = Struktuurnommer
 Jr = Naatruheidnommer
 Ja = Naatverweringsnommer - vulmateriaal

Kirsten se stelsel bevat meeste van die parameters wat moontlik by 'n erodeerbaarheidsklassifikasie ter sprake kan kom. In Hoofstuk 6 word Kirsten se stelsel volledig bespreek asook die tabelle vir die bepaling van die Kirsten waarde getoon.

2.3 SOORTE DAMOORLOPE

Daar is 'n groot verskeidenheid van oorloopstrukture in gebruik en slegs die belangrikste soorte word hier beskryf.

Vryvaloorlope

Hier val die water vryelik van die kruin soos in die geval van dunboog- of stutmuurdamme waar die stroomafkant 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 bedekking voorsien word nie, kan 'n kolkgat 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 Craigie Burndam (Foto 39).

Oorvloei (ogee) oorloop

Hierdie oorloop het 'n S-vorm wat so ontwerp word dat die waterplaat vas teen die kant van die struktuur vloei. Hierdie tipe oorloop word meesal by swaartekragdamme gebruik soos bv. Floriskraaldam (Foto 42). Energiedemping kan verkry word deur stroombrekers naby die kruin en 'n stilbak met of sonder stroombrekers by die toon van die oorloop.

Sykanaaloorloop

By hierdie soort oorloop word die beheerkruinmuur langs die kant en 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. Water kan slegs van een kant af in die trog vloei of van beide kante oor 'n U-vormige kruinmuur (badskottelontwerp). Hierdie soort oorloop word gebruik in nou valleie waar 'n groter oorfloeilengte benodig word of waar 'n oorloop teen 'n steil flank langs 'n vuldin ingepas moet word. 'n Voorbeeld van hierdie tipe oorloop is Hartebeespoortdam (Foto 50).

Geutoorloop

Hierdie benaming geld vir enige soort oorloop (sykanaal, hekbeheerde oorfloei, ens.) waarvan die afloopwater met behulp van 'n oopkanaal na die stroomaf riviervlak gevoer word. Die naam word egter meesal gebruik waar die beheerstruktuur naastenby loodreg op die rigting van die kanaal geplaas is. Hierdie oorloop word dikwels saam met vuidamme gebruik.

Saagtandoorloop

Die idee van hierdie tipe oorloop is om die kruinlengte waaroor die water vloei te vermeerder sodat minder vryboord nodig is om 'n gegewe vloed te beheer. 'n Voorbeeld van hierdie tipe oorloop is Marico Bosvelddam (Figuur 48).

Hierdie navorsingsprojek is veral toegespits op die studie van die erodeerbaarheid van rots in kanale wat met sykanaal- en geutoorlope geassosieer word.

2.4 VLOEDE EN HIDROGRAWE VAN DAMOORLOPE

Nege en twintig damme met erosieskade is by een of meer geleenthede besoek. Daar bestaan nie vloedata vir al die damme wat besoek is nie. Data van agtien damme waarvoor vloedata beskikbaar was word in Tabel 3 weergegee.

Waar moontlik is hidrograwe van die vloedata van die Afdeling Hidrologie, Departement Waterwese verkry. Die hidrograwe wat beskikbaar is word in Aanhangel A getoon. Vir ander damme is volledige dokumentasie in die Waterwese vloed dokumentasie boeke (TRH) gekry. Die vloedgrootte van Bridle Driftdam is vanaf damveiligheidsverslae en dokumentasie van vloede by die Munisipaliteit van Oos-Londen verkry. Geen vloedata bestaan van Mzikidam nie. Daar is wel 'n video opname gemaak van die vloed wat die erosie veroorsaak het. 'n Vloedgrootte is, so akkuraat as moontlik, van die beskikbare data bereken.

Ander damme waarvoor min vloedata bestaan is Applethwaitedam en Bellairdam. Vloedgroottes is ook vir hierdie twee damme bereken van die beskikbare data. Die piekvloei berekeninge van damme waarvoor onvoldoende data bestaan kan in Aanhangel A nagegaan word.

Die totale vloei word vanaf die vloed hidrograwe verkry. Die totale vloei vind nie noodwendig by 'n erosiepunt plaas nie soos byvoorbeeld by Floriskraaldam. Dit veroorsaak dat die vloei wat vir die erosie verantwoordelik is by 'n erosiepunt nie dieselfde is as die piekvloed nie. By Floriskraaldam het water ook oor die nie oorloop kruin (NOK) gevloei. Die totale vloei is by 'n punt, stroomaf van die wal, gemeet wat meebring dat die vloei by die erosiepunt verskil van die piekvloed. Hierdie berekeninge kan in Aanhangel A nagegaan word.

TABEL 3 - Opsomming van die vloedpieke

Nr	Damnaam	Tipe oorloop	Wydte en Valhoogte	Piekvloei (m ³ /sek)	Piekvloei Datum
1	Applethwaitedam	'Kanaal	36.3	889	Waarde bereken
2	Bellairdam	Kanaal	60	192	12/02/81
3	Bridle Driftdam	Ogee met kanaal	107.4	2200	02/11/85
4	Craigie Burndam	Vryval	122 35	367	29/09/87
5	Floriskraaldam	Ogee met kanaal	61	4620	25/01/81
6	Gamkapoortdam	Ogee met wipskoep	101	3111	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	1046 825	04/02/44 28/02/78
10	Kammanassiedam	Kanaal	199	2471 936	01/01/32 30/05/81
11	Katrivierdam	Vryval	120 38	115	06/12/85
12	Klipfontein dam	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	Waarde bereken
15	Prinsrivierdam	Ogee met kanaal	107	1030	25/01/81
16	Roodeplaatdam	Vryval	143 49	1151	28/01/78
17	Tuinroetedam	Ogee met kanaal	26	54	30/10/85
18	Wagendriftdam	Vryval	103 32	687	29/09/87

3. LABORATORIUM- EN INDEKSTOETSE OP NAATVULMATERIAAL

'n Waterkanaal is deur die WNNR se Aard en Marine Afdeling (EMATEK) aan die Universiteit van Pretoria geskenk. Die doel met waterkanaaltoetse was om die meganisme van erosie in 'n genate rotsformasie te bestudeer en om die effek van verskillende soorte naatvulmateriale op die erodeerbaarheid van 'n rotsformasie te bepaal.

Gedurende die eerste fase van die toetsprogram is verskillende materiale gekombineer en verdig ten einde natuurlike naatvulmateriaal te simuleer. Daarna is indekstoetse ontwikkel sodat 'n korrelasie tussen modelmateriale en in situ naatvulmateriale gemaak kan word. Laastens is die erodeerbaarheid van verskillende modelmateriale op hulle eie of in kombinasie met sterker materiale in 'n vloeikanaal getoets. Hierdie hoofstuk handel oor die voorbereiding van die sandmengsels en toetsmonsters vir die waterkanaaltoetse.

3.1 MATERIALE EN MENGSELS

Sement, bentoniet en kalk is met 'n standaard sand gemeng om mengsels met verskillende eienskappe te gee.

3.1.1 Jakobsdalsand

Die primêre bestanddeel van elke mengsel is Jakobsdalsand. Tabel 4 gee die eienskappe van hierdie sand aan. Die sand word as 'n sliik (ML) geklassifiseer (USCS, 1984)

TABEL 4 - Eienskappe van Jakobsdal sand

JAKOBSDAL SAND	
Vloeigrens (VG)	15,9
Plastisiteitsgrens (PG)	12,1
Plastisiteitsindeks (PI)	3,8
Lengteverkorting (LV)	0,7
Voggehalte (%)	10,0
Droë digtheid (kg/m ³)	1 942
Wrywingshoek (ϕ)	30,3
Kohesie (kPa)	15

3.1.2 Sement

PPC 15 sement is gebruik. Dit bestaan uit 85% GPS (Gewone Portland Sement) en 15% Yskor Slagment. Die sement is van Capital Cement Distributors (Edms) Bpk in Silverton gekry.

3.1.3 Bentoniet

Twee tipes bentoniet is gebruik, naamlik "Culseal" en "Culbond N". Tabel 5 gee die eienskappe van die twee bentoniet tipes aan. Beide bentoniet tipes het 'n hoë swel vermoë. Culbond N is fynkorrelrig terwyl Culseal meer grofkorrelrig is. Die bentoniet is van Cullinan Minerals Beperk in Olifantsfontein verkry.

3.1.4 Kalk

Kalk is van "Lime Distributors CC" in Johannesburg gekoop. Die kalk staan as "Powerlime" bekend en word vir grond stabilisasie gebruik. Tabel 6 gee die eienskappe van die kalk wat vir die mengsels gebruik is aan.

TABEL 5

CHEMIESE ANALISE VAN BENTONIET		
	Culseal (%)	Culbond "N" (%)
SiO ₂	66,80	65,90
Al ₂ O ₃	17,00	18,00
Fe ₂ O ₃	3,13	2,84
TiO ₂	0,24	0,32
CaO	0,47	0,33
MgO	3,40	4,00
K ₂ O	0,47	0,38
Na ₂ O	2,97	2,55

TABEL 6

CHEMIESE ANALISE VAN KALK *	
CaO	64,25%
Magnesium :	MgO 0,11%
	P ₂ O ₃ 3,21%
SiO ₂	4,68%
CO ₂	4,98%
H ₂ O+	19,87%
Droogmaak by 105°C :	2,90%
H ₂ O	

* Handelsnaam van kalk is " Powerlime"

TABEL 7

CHEMIESE ANALISE VAN KAOLINIET	
SiO ₂	46,0%
Al ₂ O ₃	38,0%
Fe ₂ O ₃	0,65%
TiO ₂	0,58%
CaO	0,10%
MgO	0,18%
K ₂ O	1,00%
Na ₂ O	0,20%

3.1.5 Kaolien

Kaolien is ook gebruik omdat dit 'n nie aktiewe klei is. Die oorsprong van die kaolien is van verweerde Kaapse graniet in die Vishoek area. Tabel 7 is 'n chemiese analise van die kaolien.

3.1.6 Mengsels

Die Jakobsdal sand kan nie alleen vir die modeltoetse gebruik word nie. Die sand is nie genoegsaam kohesief nie en die water in die kanaal sal die monster vinnig wegspoel. Daarom moet die sand met ander materiale gemeng word om 'n sterker binding te vorm. Sodoende kan naatvulmateriaal wat in 'n laboratorium gemaak is, voorgestel word. Agt mengsels is aanvanklik getoets:

- (1) Jakobsdal Sand + 1% Sement*
- (2) Jakobsdal Sand + 3% Sement*
- (3) Jakobsdal Sand + 5% Sement*

* Dit is as % van die droë digtheid van die hoeveelheid sand

- (4) Sand (77%) + Bentoniet: Culseal (23%)
- (5) Sand (77%) + Bentoniet: Culbond "N" (23%)
- (6) Sand (82%) + Kalk (17,5%) + Sement (0,5%)
- (7) Sand (85%) + Kalk (14%) + Sement (1%)
- (8) Jakobsdal Sand by optimum vog en droë digtheid.

Die ontwerp van die laaste vier mengsels is volgens Mason (1984).

3.2 INDEKSTOETSE

Die doel van hierdie indekstoetse was om te bepaal watter mengsels in die waterkanaaltoets gebruik kan word en sodat veldmonsters met hierdie laboratorium monsters gekorreleer kan word. Die erosiewaardes wat met die verskillende indekstoetse bepaal is, word in Tabel 18 opgesom. Hierdie waardes word gebruik sodat 'n grafiek (Figuur 5) opgestel kan word wat die monsters volgens erosiepotensiaal klassifiseer.

Indekstoetse moet maklik in die laboratorium asook in die veld uitgevoer kan word. Soos die naam aandui, is hierdie toetse slegs 'n indeks van sterkte, duursaamheid en erodeerbaarheid. Absolute waardes kan nie aan die erosiepotensiaal van die monsters gegee word nie.

Die monsters wat vir die vog-digtheidskrommes, soos in paragraaf 3.2.1 beskryf word, is vir hierdie indekstoetse gebruik. Twee monsters van elke mengsel, wat die naaste aan optimum voginhoud en maksimum droë digtheid is, is gebruik. Die mengsels is vir 3 - 14 dae in 'n vogkamer (23°C, humiditeit 95%) gelaat om te stabiliseer.

3.2.1 Proctoroets

Vyf 2,5 kg monsters is nodig vir die gewone Proctor (droë digtheid en optimum voginhoud) toets. Die maksimum droë digtheid (MDD) en die optimum voginhoud (OVI) waardes is vanaf vog - digtheidverhoudingskrommes gekry. Vanaf hierdie waardes is die MDD teenoor klei inhoud en voginhoud onderskeidelik gestip en twee grafieke is opgestel wat 'n opsomming van die waardes gee (Aanhangsel B). Hierdie grafieke is vir die MDD en voginhoud waarde bepaling vir die maak van monsters (Hoofstuk 3.4) gebruik. Die mengsels wat vir die punte op die kromme gebruik is (6 van elk) is gehou, sodat indikator toetse daarop uitgevoer kon word. Foto 1 dui die monsters wat vir die indekstoetse gebruik is aan. Hierdie monsters is gesaag sodat een monster vir meer as een toets gebruik kon word.

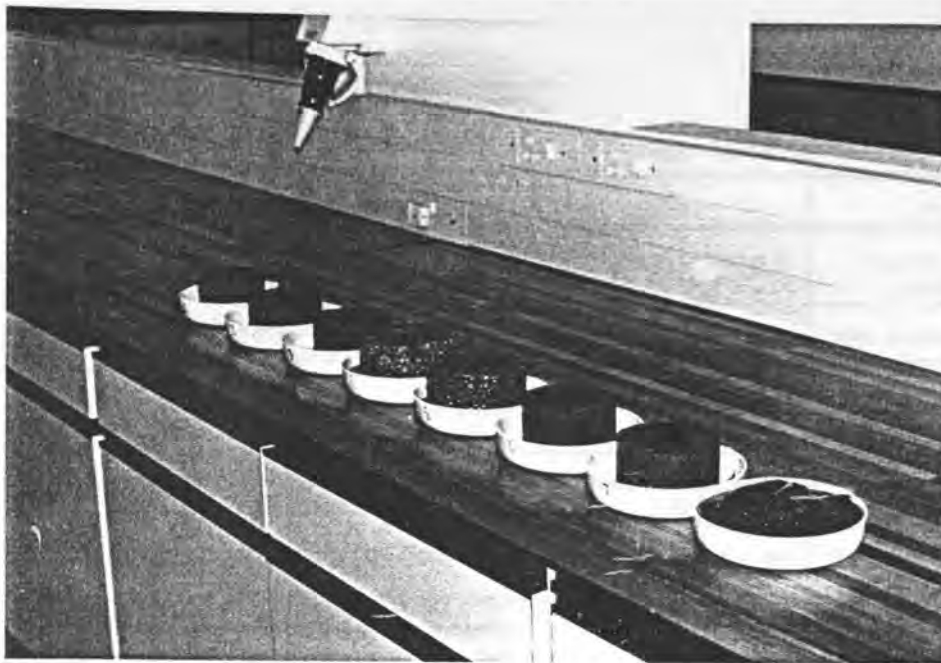


FOTO 1 : Monsters wat vir die indekstoetse gebruik is.

3.2.2 Watertoetse

Vir hierdie toets word die monster vir 24 uur lank in water geplaas. Tydens die toets word daar met 'n plat punt skroewedraaier op die monster gedruk en gekrap. Dit word op verskillende tydintervalle gedoen om waar te neem wanneer die monster begin verswak. Die intervale is 10 minute, 12 uur en 24 uur. Die aard en gedrag van die monsters word beskryf gedurende hierdie tydintervalle. Foto's word voor, tydens en na die toets geneem.

TABEL 8 - Watertoets : Beskrywing van monster na 10 minute

Monster Nr.	Waarneming	Druk	Krap
1	Kan sien dat monster afbreek. Nog redelik stabiel. Is alreeds materiaal in bakkie.	Middelmatig styf. Druk min los.	Redelik los. Krap geluid
2	Monster nog heel. Min materiaal breek af. Min materiaal in bakkie.	Styf/hard	Vas. Krap geluid
3	Monster nog heel. Baie min materiaal in bakkie. Geen reaksie.	Styf tot baie hard	Baie vas Geluid
4	Materiaal swel. Lyk sag. Kan materiaal in bakkie sien.	Middelmatig los. Druk in tot diepte	Baie los Diep sloot
5	Lyk sag. Meer stabiel as nr. 4. Materiaal teenwoordig in bakkie.	Middelmatig los. Druk \pm 1 cm in	Baie los. Kan sloot krap
6	Monster nog heel en lyk sterk. Min materiaal in bakkie.	Styf/baie hard	Baie hard. Krap geluid
7	Monster heel. Geen materiaal in bakkie.	Styf/baie hard	Baie hard. Krap geluid
8	Breek vinnig af. Water verkleur. Kan monster sien afbreek.	Los tot middelmatig los	Baie los. Breek maklik

TABEL 9 - Watertoets : Beskrywing van monster na 12 ure

Nr.	Waarneming	Druk	Krap
1	Redelik baie materiaal in bakkie. Monster breek maklik af. Kern nog heel.	Mes druk in. Nog styf	Krap geluid. Krap maklik los
2	Monster nog heel. Min materiaal in hakkie. Kante breek eerste af.	Mes druk amper niks in nie	Krap geluid. Nog sterk. Fyn merk
3	Monster nog heel. Min tot geen materiaal in bakkie.	Mes druk amper niks in nie	Krap geluid. Nog sterk. Baie fyn merk
4	Kern van monster nog heel. Kante breek af. Lyk sag. Swel. Baie materiaal in bakkie.	Mens punt druk maklik in	Geen krap geluid. Monster sny
5	Kern van monster nog heel. Kante breek eerste Sag, swel. Redelik baie materiaal in bakkie.	Punt druk maklik in tot ± 2 cm	Geen krap geluid. Geen weerstand
6	Monster nog heel. Baie min los materiaal in bakkie.	Punt druk nie in nie	Krap geluid. Nog sterk. Geen merke
7	Monster nog heel. Min tot geen los materiaal in bakkie.	Punt druk nie in nie	Krap geluid. Nog sterk. Geen merke
8	Monster totaal gebreek. Hoop los materiaal.	Los grond	Nie van toepassing nie

TABEL 10 - Watertoets : Beskrywing van monster na 24 uur

Nr.	Waarneming	Druk	Krap
1	Materiaal breek af op kante. Kern nog heel. Redelik baie materiaal in bakkie.	Druk $\pm 0,5$ cm in, dan is weer styf	Krap geluid. Krap wel los
2	Monster nog heel. Min materiaal in bakkie. Kante breek min af.	Druk moeilik in	Krap geluid. Krap bietjie los
3	Monster nog heel. Lyk nog sterk. Geen los materiaal in bakkie.	Druk amper niks in nie	Krap geluid. Krap bietjie los
4	Monster kern nog sigbaar maar lyk sag en swak. Swel. Baie materiaal in bakkie.	Mes punt druk maklik in. Vollengte	Sny monster. Kom maklik los
5	Monster kern nog sigbaar. Minder swelling as 4. Lyk sag. Baie materiaal in bakkie.	Druk maklik tot ± 3 cm in	Kom maklik los
6	Monster nog heel. Baie min materiaal in bakkie. Lyk sterk.	Druk niks in nie	Krap geluid. Krap amper niks los
7	Monster nog heel en lyk sterk. Geen los materiaal in bakkie.	Druk niks in nie	Krap amper niks los
8	Monster het totaal erodeer. Hoop sand.	Los sand	Los sand

Die monster is voor die toets en na die toets, nadat die monster toegelaat is om 48 uur uit te droog, geweeg sodat die materiaal wat deur oplossing en flokkulasie verlore gegaan het tydens die toetsprosedure bepaal kon word. 'n Indeks waarde word bepaal deur die materiaalverlies as 'n persentasie van die totale massa uit te druk. Tabel 11 is 'n opsomming van hierdie data.

TABEL 11 - Indeks waarde bepaling vir die watertoets

Nr.	Monster voor	Na 48 uur	Materiaal verlies	E.I. (%)
1	966,5	900,1	66,4	11,2
2	963,4	935,4	28,0	4,7
3	942,5	921,1	21,4	3,6
4	1277,3	1132,1	145,2	24,5
5	1180,8	1048,7	132,1	22,3
6	922,0	874,6	47,4	8,0
7	934,4	886,3	48,1	8,1
8	1003,1	899,1	104	17,6

E.I. = Erosieindeks

3.2.3 Boortoets

Daar word met 'n 8mm boorpunt (betonboor) in 'n meganiese handboor geboor. Die handboor werk onder sy eie gewig en moet dus slegs regop gehou word. Die slinger word 20 keer gedraai. Daarna word die diepte van die gat met 'n passer gemeet en die boorsel beskryf. Die proses word 4 keer vir elke monster herhaal en die gemiddelde van die waardes word dan gebruik.

TABEL 12 - Opsomming van boortoets

Nr	Toets 1	Toets 2	Toets 3	Toets 4	Gemiddeld mm	Beskrywing
1	9,75	8,0	10,5	11,0	9,8	Boorsel is korrelagtig
2	4,25	3,75	3,4	3,45	3,7	Boorsel is korrelagtig
3	1,6	1,2	1,0	1,35	1,3	Boorsel is korrels. Baie droog
4	12,5	13,7	14,75	13,5	13,6	Boorsel is lank. Boor sit vas
5	12,9	16,0	14,3	17,7	15,2	Boorsel is lank. Boor sit vas
6	0,7	1,35	1,55	1,1	1,2	Korrels droog. Slegs merk bly agter
7	2,5	1,2	1,8	1,4	1,7	Korrels droog. Slegs merk
8	15,6	17,0	17,2	19,1	17,2	Boorsel bly agter. Maak groewe, is lank en nat

3.2.4 Kraptoets

'n 5 mm Platpunt skroewedraaier word vir hierdie toets gebruik. Die skroewedraaier word 20 keer heen en weer oor die monster geskraap. Dit is belangrik om die skroewedraaier slegs liggies vas te hou sodat dit onder sy eie massa heen en weer skraap. Die groef wat dan ontstaan word beskryf en die diepte in mm gemeet.

TABEL 13 - Opsomming van krapptoets

Nr.	Beskrywing	Diepte (mm)
1	Middelmatige diepte groef	2,2
2	Groef vorm wel	1,3
3	Vlak groef	1,25
4	Diep groef - krap maklik	2,75
5	Diep groef - krap maklik	2,8
6	Vlak groef - krap moeilik	1,75
7	Vlak groef - krap moeilik	1,6
8	Diep groef - krap maklik	6,1

3.2.5 Ecomtoets

Foto 2 dui die apparaat wat vir hierdie toets gebruik is aan. Die ETCOM toetser (Erosion Tester Chamber of Mines) is aanvanklik gebruik om slikdamme vir erosiepotensiaal te toets (Dorren & Blight, 1986 en Blight, 1989). Vir die doel van hierdie projek is die toets aangepas sodat dit op die toets monsters toegepas kan word.

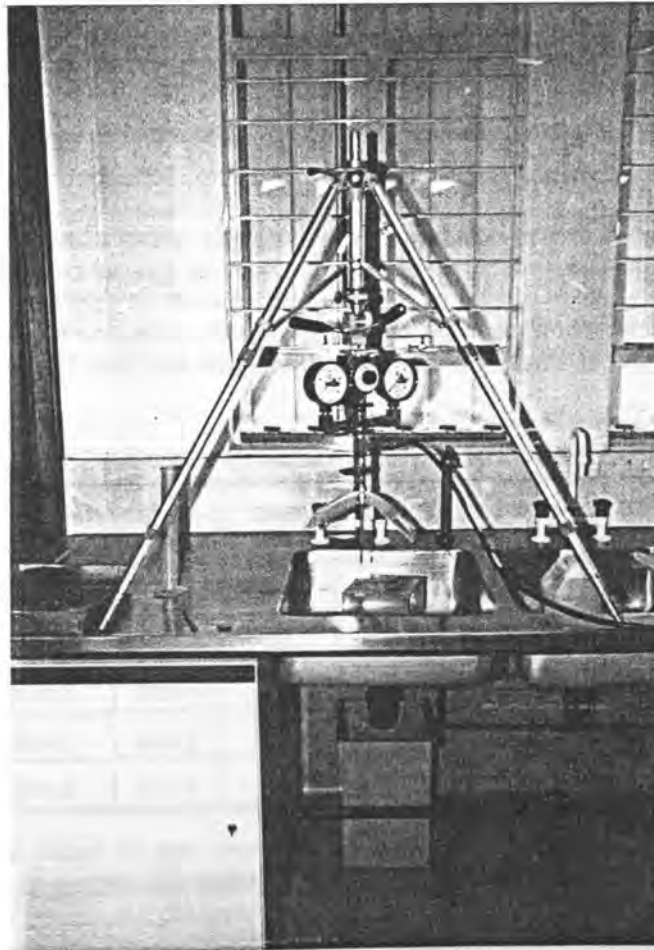


FOTO 2 : ETCOM (Erosion Tester Chamber of Mines) toets apparaat.

Die toets word gebruik om 'n 0,8mm waterstraal vertikaal afwaarts te spuit terwyl dit 25 mm weg van die monsteroppervlak gestel is. Die druk van die waterstraal neem toe met 'n konstante tempo totdat die materiaal begin erodeer. Die druk waarby die materiaal begin erodeer staan bekend as die Ecom erosie indeks vir die spesifieke materiaal. Die waarde word in kPa gegee. Die maksimum druk wat die straal kan uitoefen is omtrent 300 kPa. As die monster nog nie by hierdie druk begin erodeer het nie, is die materiaal te sterk om met die Ecom toets te word. Hierdie toets is drie keer vir elke mengsel tipe herhaal en die gemiddelde is bereken.

Die toets se waardes is baie wisselvallig en daarom is vier grense waarby erosie plaasvind gekies. Indekswaardes is aan hierdie grenswaardes toegeken. Hoe kleiner die grenswaarde hoe groter is die erosiepotensiaal van die materiaal en hoe groter is die indekswaarde dus: $< 50 \text{ kPa} = 10$, $\leq 100 \text{ kPa} = 7$, $\leq 300 \text{ kPa} = 3$, $> 300 \text{ kPa} = 0$.

TABEL 14 - Opsomming van die Ecom toets

Nr.	Ecom Erosie Indeks (kPa)	E.I.
1	100 - 22 kPa	3
2	> 300	0
3	> 300	0
4	55	7
5	50	7
6	> 300	0
7	> 300	0
8	48	10

3.2.6 Skuurtoets

Die monsters is in die drommetjies wat vir die Franklin en Chandra (1972) blus duursaamheidstoets gebruik word, geplaas en vir ongeveer 1 uur onder water geskuur. Die monster word voor die tyd (droog) en na 1 uur geweeg om materiaalverlies te kry. Die monsters word ook tydens die toets by 10 minute, 30 minute en 55 minute geweeg om die nat massas te kry wat ook materiaal verlies aandui. Slegs vyf van die agt mengsels is vir hierdie toets gebruik. Mengsel 4 en 5 is kleie en dus baie swak. Mengsel 8 is skoon sand en het geen weerstand teen 'n skuuraksie nie.

TABEL 15 - Opsomming van die skuurtoets

Nr.	Monster en Drom gram	10 min gram	Verlies gram	30 min gram	Verlies gram	55 min gram	Verlies gram
1	2760,6	2756,0	4,6	2336,6	424,0	1850,8	909,8
2	2760,6	2753,4	7,2	2745,1	15,5	2628,2	132,4
3	2789,6	2789,6	0	2781,2	8,4	2763,8	25,8
6	2694,2	2689,2	5	2684,0	10,2	2679,9	14,3
7	2763,6	2759,0	4,6	2747,5	16,1	2758,4	5,2

Vanaf die waardes in Tabel 15 kan daar grafieke (Figuur 4) opgestel word, wat die erosie in materiaalverlies per tyd aangee. Die helling van die regressielyne op Figuur 4 gee erosietempo in gram per minuut. Die helling van die lyne word gebruik om die indekswaarde te bepaal. Tabel 16 dui die grense aan waarvolgens die indekswaardes toegeken is. Die toegekende indekswaardes verskyn in Tabel 17.

TABEL 16 - Grenswaardes

Grenswaarde (Gradiënt van grafiek)	Indekswaarde
< 1°	0
Tussen 1° en 5°	3
Tussen 5° en 10°	4
Tussen 10° en 20°	8
> 20°	10

TABEL 17 - Indekswaardes

Nr	Y/X	Helling	Indeks
1	60/3	20	8
2	14/6	2,3	3
3	8,5/15,2	0,6	0
6	4,5/17	0,3	0
7	0,7/16,8	0,04	0

Mengsel 4 en 5 is kleie en sal 'n indeks van ongeveer 8 besit. Mengsel 8 se indeks sal 10 wees omdat 'n skoon sand baie vinnig sal erodeer.

3.2.7 Opsomming en gevolgtrekkings

- Hierdie hoofstuk handel oor die indekstoetse wat op materiaal mengsels uitgevoer is om te bepaal watter materiaal vir modeltoetse geskik is.
- Jakobsdalsand wat die primêre materiaal is word met sement, bentoniet (Culseal en Culbond "N") en kalk gemeng om die toetsmonsters te maak.
- Proctor waardes is vir agt verskillende mengsels gekry sodat die maksimum droë digtheid (MDD) en optimum voginhoud (OVI) bekend is.
- Verskillende mengsels word gebruik om verskillende sterktes te kry. Die bepaling van tipe mengsel, mengsel sterkte, maksimum droë digtheid en optimum voginhoud word vanaf Proctor kurwes bepaal.
- Proctor waardes is gebruik sodat daar 'n standaard is waarvolgens gewerk kan word en sodat die monsters telkens dieselfde gemaak kan word.
- In Aanhangsel B kan die vog-digtheidkrommes van sewe mengsels waargeneem word. Vanaf die krommes kan maksimum droë digtheid en optimum voginhoud bepaal word.
- Nadat die indekstoetse op die monsters uitgevoer is, is waargeneem dat sommige mengsels te sterk is en nie in die vloeikanaal sal erodeer nie.
- 'n Erosieindekswaarde wat die totaal van die verskillende indekstoetse se indekswaardes is, is bepaal (Tabel 18). Hierdie waarde is op 'n grafiek, Figuur 5, vir die verskillende monsters geplot sodat die sterktes van die mengsels grafies aangedui kan word.
- Daar is besluit om net van bentoniet (Culbond "N") en kaolien as bindmateriaal gebruik te maak. Verskillende persentasies is gebruik sodat verskillende sterktes gekry kan word.

TABEL 18 - Opsomming van die indekstoetse wat op die monsters uitgevoer is

Nr	Mengsel	Digt kg/m ³	Vog %	Indekstoetse					Totale Indeks waarde	Beskrywing
				Water Verlies (%)	Boor mm	Krap mm	Etcom El	Skuur (helling)		
1	1% Sement (PPC15)	1930	9,2	11,2	9,8	2,2	3	8	34,2	Middelmatig swak
2	3% Sement	1965	8	4,7	3,7	1,3	0	3	12,7	Middelmatig sterk
3	5% Sement	1930	9,5	3,6	1,3	1,25	0	0	6,15	Baie sterk
4	23% Bentoniet-culs.	1720	16,1	24,5	13,6	2,75	7	8	55,9	Swak. Meng nie so goed
5	3% Bentoniet-culb.	1720	15,4	22,3	15,2	2,8	7	8	55,3	Swak. Meng goed
6	17,5% Kalk + 70,5% Sement	1799	12	8	1,2	1,75	0	0	10,95	Baie sterk
7	14% Kalk + 1% Sement	1840	11,2	8,1	1,7	1,6	0	0	11,4	Baie sterk
8	Skoon sand	1942	10	17,6	17,2	6,1	10	10	60,9	Baie swak

3.3 ANDER TOETSE

Verskeie ander toetse is ook op die monsters uitgevoer wat nie verband hou met die indekstoetse nie maar wat belangrik is vir monstervoorbereiding en veldkorrelasie.

3.3.1 X - Straal Diffraksie toets

Dit is moeilik om die regte mengsel samestelling te kry om naatvulmateriaal na te boots. Dit is net so moeilik om genoegsame naatvulmateriaal uit die veld te kry om waterkanaaltoetse op uit te voer. Waar moontlik is XRD toetse op naatvulmateriaal uitgevoer om die samestelling te bepaal. Die volgende XRD analise is vir naatvulmateriaal in basalt gekry:

Mineraal samestelling: (Naatvulmateriaal in basalt)

Pirokseen 4%
 Plagioklaas 30%
 Kwarts 6%
 Smektiet 60%

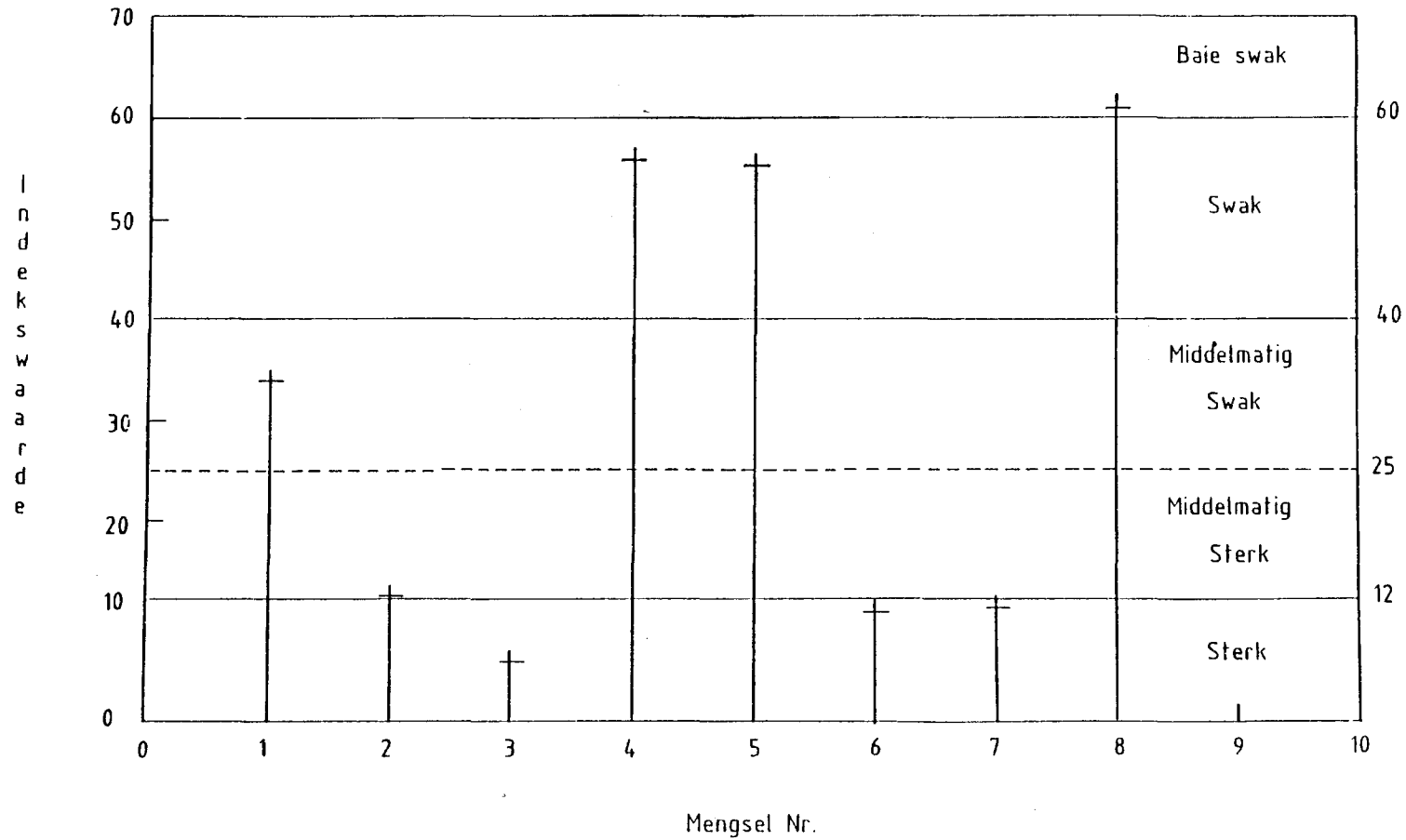
Uit die analise kan daar gesien word dat die naatvulmateriaal 'n hoë klei mineraal inhoud besit. Die hoogste klei inhoud van die laboratorium monsters is ook 60% wat goed korreleer met hierdie naatvulmateriaal wat getoets is.

3.3.2 Skuifsterkte toets

Gedreineerde direkte skuifsterkte toetse is gedoen om kohesie waardes vir die materiaal te kry. Op elke monster van 60 * 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 kohesie waardes by sekere monsters gekry. Dit is ook moeilik om die presiese swigpunt van die monster te bepaal omdat die bentoniet klei baie plasties is.

Elke monster is droog (optimum vog) en nat (1 uur versadig) getoets. Water is toegelaat om weg te dreineer deur poreuse plate bo en onder die monster te plaas. Die tempo van skuif is 1,2 mm/min. Die maksimum reikafstand van die apparaat is 25mm.

INDEKSWAARDES VAN VERSKILLENDE MATERIAALSTERKTES



FIGUUR 5.

Tabel 19 gee al die waardes wat vir die skuifskertoets verkry is aan. Hierdie waardes is egter nie heeltemal korrek nie omdat die reikafstand van die apparaat nie genoeg is nie en die punt van skeur nog nie in sommige monsters bereik is nie. Hierdie waardes gee dus net 'n aanduiding van kohesie. 'n Apparaat met 'n minimum reikafstand van 50 mm moet gebruik word vir hierdie toetse.

Grafieke van klei persentasie teenoor kohesie vir die verskillende kleie is opgestel sodat die data met mekaar gekorreleer kan word (Figuur 6 A en B).

TABEL 19 - Opsomming van skuifsterkte toets

Klei - Monster		Toets 1		Toets 2		Toets 3		C (gem) kPa
		C (kPa)	Phi (°)	C (kPa)	Phi (°)	C (kPa)	Phi (°)	
15% Culb.	1 Drg	70,53	28,5	150,8	21,22	126,9	24,4	116
	2 Nat	104,50	8,17	179,98	0,74	149,34	3,88	145
23% Culb.	3 Drg	77,07	31,83	57,1	34,6	48,4	45,5	61
	4 Nat	123,55	18,89	57,9	43,4	102,41	28,9	95
30% Culb.	5 Drg	82,62	29,95	77,3	38,9	89,2	40,12	83
	6 Nat	114,96	14,22	134,7	34,19	149,7	32,5	133
40% Culb.	7 Drg	113,21	30,93	93,7	43,25	157,46	40,29	122
	8 Nat	98,57	30,87	108,4	42,2	104,3	47,6	104
60% Culb.	9 Drg	125,81	13,5	171,4	4,76	106,6	46,5	135
	10 Nat	130,75	10,04	129,6	27,54	141,45	49,76	134
30% Kaol.	1 Drg	62,39	33,55	114,6	32,6	--	--	89
	2 Nat	16,99	28,18	57,6	31,4	--	--	37
40% Kaol.	3 Drg	104,0	42,21	120,4	30,57	--	--	112
	4 Nat	49,64	26,42	59,4	21,21	--	--	55
60% Kaol.	5 Drg	103,52	25,47	124,3	31,8	139,5	26,79	122
	6 Nat	3,96	28,18	50,19	26,8	64,23	20,9	57,21

3.3.3 Digtheidstoets

Die digtheidstoets is gedoen sodat die berekende digtheid en werklike digtheid van die monsters vergelyk kan word sodat daar 'n mate van beheer oor die vervaardiging van monsters is. Tabel 20 verskaf al die inligting wat nodig is om die digthede met mekaar te vergelyk.

Die digthede is met behulp van die waks metode bepaal. Soos uit die data gesien kan word, vergelyk die berekende digthede baie goed met die werklike digthede van die monsters.

TABEL 20 - Opsomming van digtheidstoetse

Monster	Berekende Digtheid	Werklike Droë Digtheid 1	Werklike Droë Digtheid 2
15% Culb.	1699,2	1696,9	
23% Culb.	1615,7	1645,6	1654,0
30% Culb.	1586,8	1586,8	1593,0
40% Culb.	1516,0	1510,8	
60% Culb.	1300,3	1325,9	1337,0
30% Kaolin	1759,2	1760,5	
60% Kaolin	1581,1	1558,0	

3.3.4 Waterspuittoets

Die doel met waterspuittoetse was om 'n volskaalse veld indekstoets vir die erodeerbaarheid van swak rots en naatvulmateriaal te ontwikkel. Daar moes ook vasgestel word of hierdie tipe toets enige meriete het om tempo en omvang te kan voorspel.

Sewe toetspunte in die Hans Strydomdam se oorloopkanaal is gekies. Die waterkrag was nie voldoende om groot rotsblokke te verwyder nie. Daarom is daar op die verskuiwingsone en naatvulmateriaal gekonsentreer. Die verskillende spuitkoppe wat van die Pretoria Brandweer geleen is, is vooraf in die laboratorium getoets vir effektiwiteit. Die waterspuit (8 mm en 12 mm) is vir 'n sekere tydsduur by elkeen van die toetspunte gespuit. Die spuit is heen en weer binne die grense van die templaar beweeg om die effek van water wat oor die gebied vloei, te simuleer.

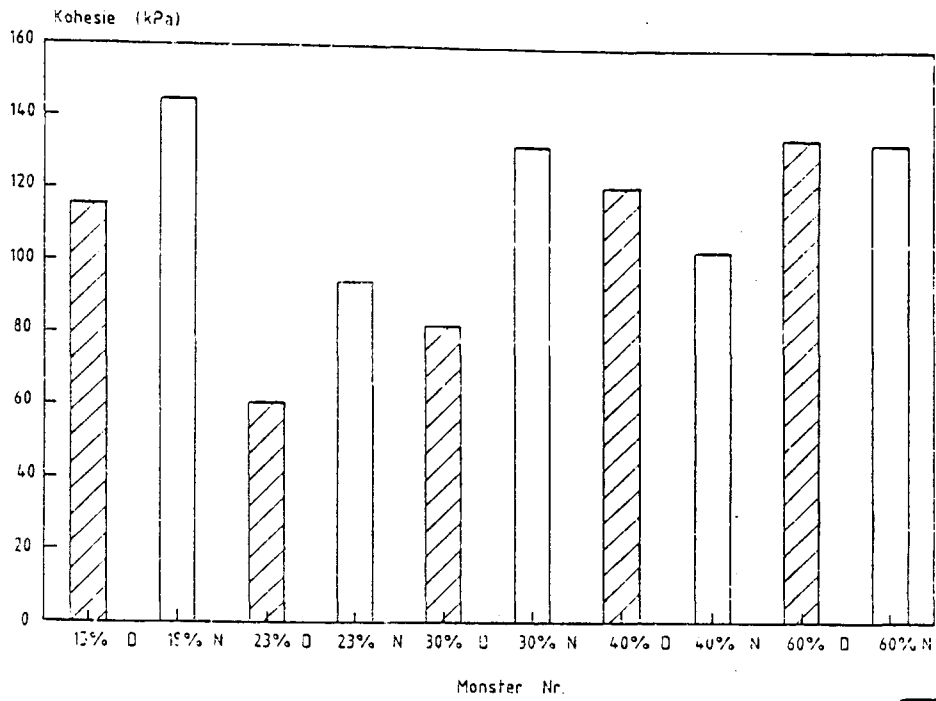
Die 1 000 l opgaartenk en 0,5 x 0,5 m templaar, wat vir die uitvoering van die toetse gebruik is, kan op Foto 3 gesien word. Die templaar en rooster is gebruik om 'n verwysingspunt daar te stel sodat die erosiediepte by vaste punte gemeet kan word. Die templaar is in die rots vasgekap om sy posisie konstant te hou. 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 spuitstuk.
- * 8 mm reguit spuitstuk.
- * 200 m - poly pyp. (Deursnee = 25 mm)
- * 100 m - poly pyp. (Deursnee = 32 mm)
- * Koppelstukke en klampe.
- * Templaar- 0,5 x 0,5 m.

Toetsprosedure

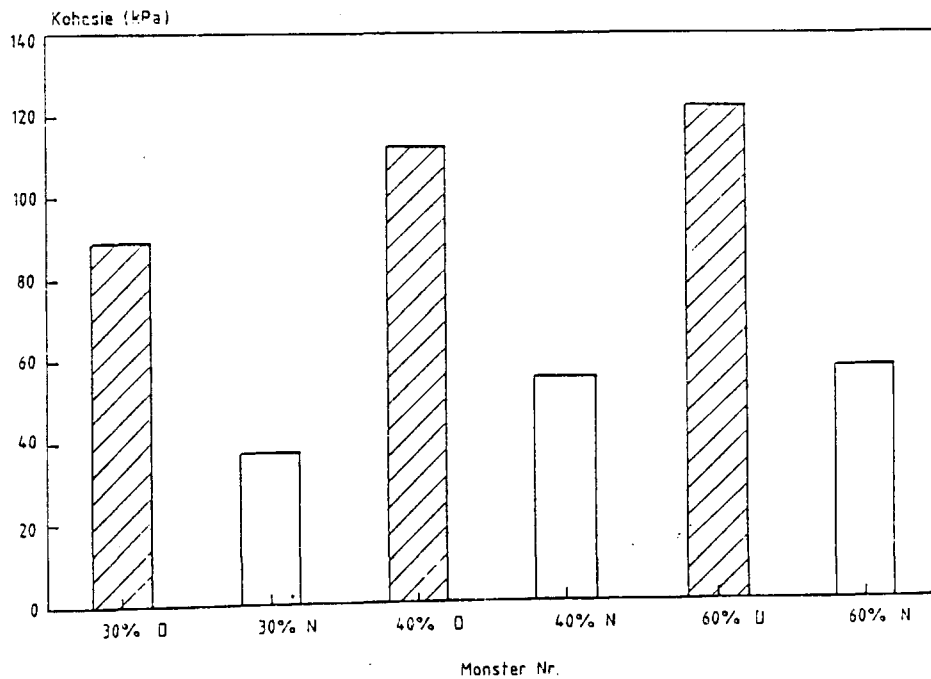
Die templaar (0,5 x 0,5 m) is met 150mm spykers oor die spesifieke area wat getoets word, vasgekap. Die templaar kan vertikaal of horisontaal geplaas word. Die rooster wat oor die templaar pas, is in 100 x 100 mm blokke opgedeel. Sodra die templaar vasgekap is, word die rooster opgesit en vasgemaak. Daar word dan met 'n maatband, op die verlangde rooster interval, die afstande tot by die rotsoppervlak gemeet. Die rooster word afgehaal en daar word met die waterspuit op die area gespuit. Die waterspuit word nie stilgehou nie, maar met 'n heen en weer beweging oor die area beweeg. Die afstand van die spuit na die toetsfront word ook konstant op 1,5 m gehou. Na tien minute word die rooster oor die templaar vasgemaak en die afstande word weer gemeet. Die volume materiaal verwyder kan dan bereken word.

KOHESIE VS KLEI (CULBOND) PERSENTASIE



FIGUUR 6A.

KOHESIE VS KLEI (KAOLIEN) PERSENTASIE



FIGUUR 6B.



FOTO 3 : Opgaartenk en templaat wat vir die waterspuittoetse gebruik is.

Resultate

Die gemete data van elke toets word in Aanhangsel C weergegee. Vanaf die data is oppervlak kontoere geteken om die hoeveelheid erosie wat plaasgevind het grafies aan te toon. Foto's is ook van elke toetspunt geneem.

Toetspunt 1

By toetspunt 1 is twee toetse van 5 minute elk uitgevoer. Eers is daar met 'n 8 mm spuitstuk gespuit en daarna met 'n 12 mm spuitstuk. Erosie vind wel plaas (Aanhangsel C). Beide die toetse is met roostergrootte van 50 mm gedoen.

Toetspunt 2

By die vorige toets is die rooster vertikaal teen die wand van die erosie sloot ingekap. Met hierdie toets is die rooster horisontaal neergelê. Die nadeel van so 'n horisontale toets is dat die water opdam en die waterspuitkrag aansienlik verminder. Daar het wel erosie van grond en klein rotsblokke plaasgevind.

Toetspunt 3

Toets 3 is hoog op in die verskuiwingsarea uitgevoer. Dit was weer 'n vertikale toets. Die sterkte van die naatvulmateriaal is getoets. Die data toon aan dat erosie van die naatvulmateriaal wel plaasvind. Die toets se roosterpatroon is aangepas om die naat te akkommodeer. Die rekenaarvoorstelling (Aanhangsel C) bevestig die feit dat die naatvulmateriaal erodeer. Die naat se posisie is by die (0; 2,5) rooster interval.

Toetspunt 4

Met toets 4 is die materiaal tussen die gelaagdheid getoets. Die rooster kan nie hier gebruik word nie. Om verwysingspunte te kry is die vaste rots elke 100 mm gemerk en die lesings is by hierdie punte geneem. Daarna is daar net met die 8 mm spuitstuk gespuit. Erosie vind wel plaas.

Toetspunt 5

Toetspunt 5 is op die punt van die verskuiwingsone geleë. Die rotsblokke is baie verbrokkel en word deur vulmateriaal in posisie gehou. Foto 4 en 5 dui die toetsarea voor en na die toets onderskeidelik uitgevoer is aan. Baie materiaal is verwyder met hierdie by hierdie toetspunt. Daar kan dus voorspel word dat die sone met die volgende vloed intensief sal erodeer.

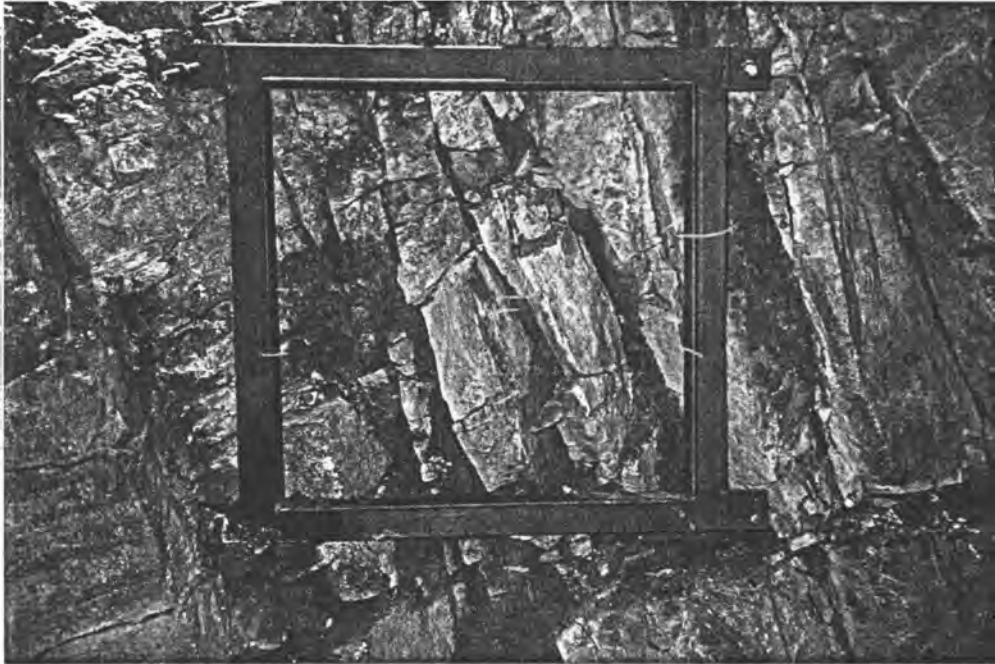


FOTO 4 : Toetspunt 5 voor toets.

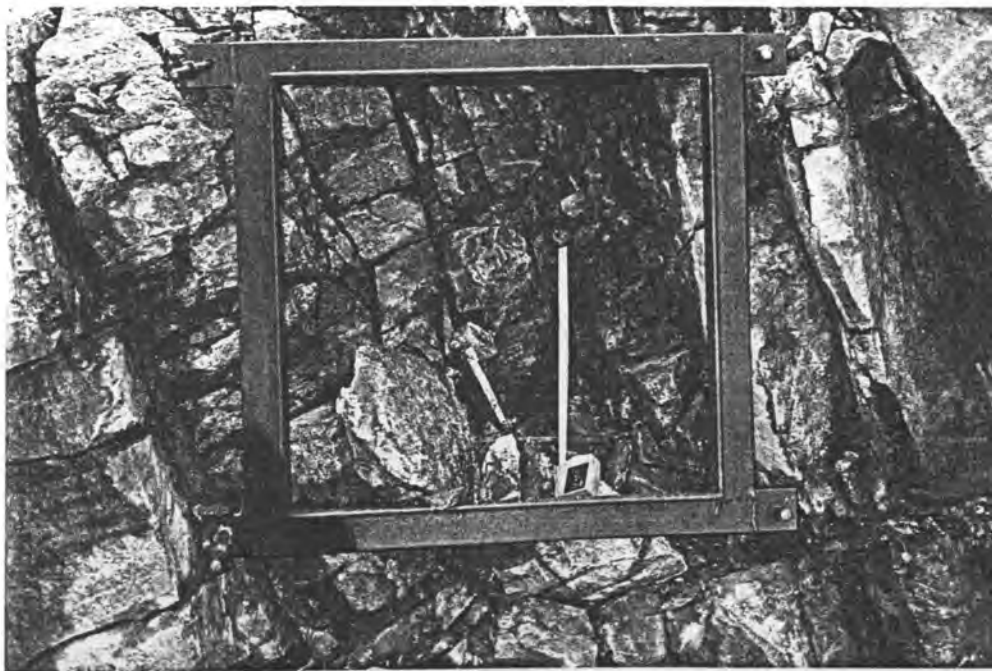


FOTO 5 : Toetspunt 5 na toets.

Toetspunt 6

Foto's is van die toetsarea voor die tyd, en na die tyd geneem en met mekaar vergelyk. Dit was moeilik om vaste punte toe te ken en die rooster vir die toets te gebruik. Die rooster kan ook nie in die soliede rots ingekap word nie. By toetspunt 6 is die sterkte van die rotsblokke getoets. Water is op 'n moontlike erodeerbare sone gespuit. Die water is in dieselfde rigting as die natuurlike vloedwater gespuit. Die 12 mm spuitstuk is gebruik om groter erosie te veroorsaak. Foto's 6 en 7 is onderskeidelik voor en na die toets geneem.



FOTO 6 : Toetspunt 6 voor toets.



FOTO 7 : Toetspunt 6 na toets.

Toetspunt 7

Toets 7 is weereens op die laagvlak materiaal uitgevoer. Foto's 8 en 9 is onderskeidelik voor en na die toets geneem. Die 8 mm spuitstuk is hier gebruik. Erosie kan weer waargeneem word.



FOTO 8 : Toetspunt 7 voor toets.



FOTO 9 : Toetspunt 7 na toets.

3.3.5 Gevolgtrekkings oor die waterspuittoets.

1. Die 12 mm spuitstuk veroorsaak relatief meer erosie en werk in die geheel beter as die 8 mm spuitstuk. Die 12 mm kan op rotsblokke of sterker materiaal gebruik word terwyl die 8 mm op naatvul en swakker rotswand materiaal gebruik kan word.
2. Die toetsarea moet so gekies word waar die meeste erosie sal plaasvind. Daar moet dus op die swakker areas getoets word.
3. Dit is moeilik om die hoeveelheid materiaal wat verwyder word akkuraat te bepaal.
4. By 'n vertikale toets (templaat vertikaal ingekap) vloei die water maklik weg. Die probleem met 'n vertikale templaar is dat wanneer los rotsblokke uitval, dit deur die templaar verhinder word om vry weg te val. Indien die rotsblokke groot genoeg is kan dit die templaar skuif. Dit is noodsaaklik dat die templaar se posisie dieselfde bly tydens die toets.
5. By horisontale toetse vloei die water nie weg nie en die opdamming verminder die waterkrag. Los materiaal spoel ook nie weg nie.
6. Die spuitstuk kon nie loodreg op 'n horisontale toetsarea gehou word nie omdat die uitlaatpyp knak en die waterkrag dan afneem. Daar sal 'n buigstuk gebruik moet word om te verhoed dat die pyp knak.
7. Die afstand van die punt van die spuitstuk na die toetsarea moet konstant gehou word sodat die waterkrag vir elke toets dieselfde is.
8. Dit is moeilik om die waterkrag of druk konstant te hou as gevolg van die wisselvalligheid van die terrein hoogte en dus die drukhoogte. Die druk wat die water uitoefen moet by elke toetspunt bepaal kan word.
9. Met verdere toetse sal die erosie na elke minuut bepaal moet word sodat 'n grafiek opgestel kan word om sodoende 'n voorspelling van erosietempo te kan maak.
10. Nog waterspuitoetse sal uitgevoer moet word voordat noemenswaardige gevolgtrekkings gemaak kan word. Dit lyk egter of die tipe toetse baie nuttig kan wees om die hoeveelheid erosie tydens 'n bepaalde vloed wat vir 'n sekere tydsduur aanhou, te kan bepaal.
11. Die waterspuittoets is 'n goeie indeks van die tipe erosie wat sal plaasvind. Hierdie toets is egter baie gelokaliseerd en moet nog verder ontwikkel word om 'n kwantitatiewe bepaling te kan doen.

3.4 MAAK VAN MONSTERS VIR MODELTOETSE

Die mengsels wat deur die indekstoetse as geskik bewys is, is gebruik. Die mengsels is na 'n spesifieke digtheid en voginhoud verdig soos vanaf die Proctor kurwes en grafieke (Aanhangsel B) verkry. Die sement en kalk mengsels is te sterk vir erosietoetse. Daar is slegs van Bentoniet en Kaolien as bindmateriaal gebruik gemaak vir toetsing in die waterkanaal. Die volgende bindmiddels is saam met Jakobsdalsand gebruik:

- A) 15% Culbond "N"
- B) 23% Culbond "N"
- C) 30% Culbond, Culseal en Kaolien
- D) 40% Culbond en Kaolien
- E) 60% Culbond en Kaolien

Monsters van elke mengseltipe is by optimum voggehalte en maksimum droë digtheid verdig in 'n vierkantige vorm met die volgende afmetings : 150 * 150 * 50 mm.

Mengsels met kalk en sement is ook in die waterkanaal getoets maar hierdie mengsels, soos die indekstoetse ook bewys het, is te sterk vir vloeikanaal toetse. Daarna is slegs die klei monsters soos hierbo genoem, gebruik.

3.4.1 Voorbereiding

Twee monsters van elke mengsel tipe is gemaak. Daar is ongeveer 6 kg van elke mengsel aangemaak en tot optimum voggehalte benat. Nadat die mengsel goed gemeng is, is die werklike voggehalte bepaal. Die hoeveelheid materiaal wat nodig is om die monster tot maksimum droë digtheid te verdig, is bereken. Die regte hoeveelheid materiaal is in 'n vierkantige vorm (binnemaat van 150*150 mm) geplaas en gekompakteer (Foto 10). Die metode van verdigting word in paragraaf 3.4.3 bespreek.

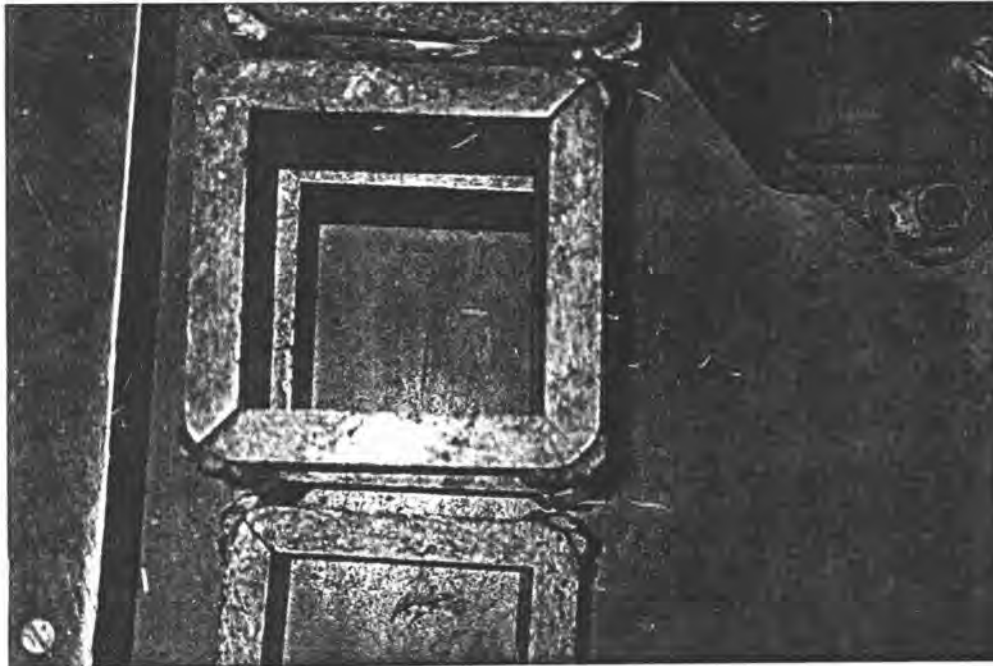


FOTO 10 : Vierkantige vorm waarin die monsters gemaak is.

3.4.2 Bewerkings en aannames

'n Houtblok wat presies in die vierkantige vorm vir kompaksie pas is so dik gemaak dat wanneer die boonste oppervlak van die houtblok presies gelyk is met die bokant van die vorm, daar 'n spasie van 51,1 mm in die vorm is.

$$\begin{aligned}
 \text{Dus die volume van die monster is } & 5,11 * 15 * 15 \text{ cm} \\
 = & 1150 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

Formule vir bepaling van massa grond om gegewe volume toetsmonster te maak:

$$Massa (gram) = \frac{DD * \frac{100 + Vog}{100}}{1000} * 1150$$

DD = Droë digtheid (kg/m³)

Vog = Voggehalte van nuwe mengsel bepaal na vermenging.

Die droë digtheid (DD) en veginhoud (VI) is vanaf grafieke (Aanhangsel B) gekry wat opgestel is vanaf die Proctorwaardes vir die verskillende mengsels. Die maksimum droë digtheid en optimum veginhoud waarde is telkens geneem.

Voorbeelde van bewerkings (Aanhangsel D bevat die ander bewerkings)

Die totale massa sand en klei mengsel moet ongeveer 6 000 g wees. Die veginhoud van die sand is 0,01%. Dus dit is weglaatbaar klein.

15% - klei monster

$$6\ 000 * 85\% \text{ Sand} \\ = 5\ 100 \text{ g sand}$$

$$6\ 000 * 15\% \text{ Klei} \\ = 900 \text{ g klei}$$

Die optimum voggehalte (OVI) = 10,8%

$$\text{Dus: } 10,8\% * 6\ 000\text{g} \\ = 648 \text{ ml water}$$

Die mengsel is goed met die water gemeng.

Maksimum droë digtheid (MDD) = 1970 kg/m³

Dus is die massa grondmengsel nodig vir een monster:

$$\frac{1970 * \frac{100 + 10,8}{100}}{1000} * 1150 \\ = 2510 \text{ g}$$

3.4.3 Verdigting

Twee monsters van elke mengsel is op 'n keer gemaak. Die regte hoeveelheid materiaal is bereken, afgeweg en gemeng met die regte hoeveelheid water. Die mengsel is in die vierkantige vorm geplaas en met die houtblok in posisie onder 'n pers (Foto 11) geplaas. Die houtblok is gedruk todat dit gelyk is met die bokant van die vorm. Die monster word versigtig uitgedruk en in 'n plastiek sak in die vogkamer vir 'n paar dae gelaat om te stabiliseer. Hierna is die monsters in die waterkanaal geplaas en getoets.



FOTO 11 : Pers wat gebruik is vir verdigting van materiaal.

4. MODELSTUDIES

4.1 INLEIDING

Eenvoudige modeltoetse is in 'n kanaal opstelling gedoen. Vir die doel van die projek is 'n vloeikanaal deur Ematek (WNNR) in Stellenbosch aan die Universiteit van Pretoria geskenk. Baie van die glaspanele het gebreek met die vervoer van die kanaal van Stellenbosch na Pretoria. Dit is alles met tien millimeter glas vervang. Ook moes die inlaat- en uitlaatgedeeltes van die kanaal herbou word om by die nuwe opstelling aan te pas. Die eerste toetse is in Junie 1991 uitgevoer. Die kanaal, soos by die Universiteit van Pretoria opgerig, word op Foto 12 getoon. Figuur 66 beskrywe die toetsopstelling breedvoerig.

Die doel met die modelstudie was om die erodeerbaarheid van naatvulmateriaal in 'n rotsmassa op 'n skaal van 1:1 te ondersoek. Ten einde naatvulmateriale te simuleer, is verskillende mengsels van sand, bentoniet, kaolien, sement en kalk by optimum voggehalte tot 'n standaard digtheid in blokke van 150 x 150 x 50 mm gekompakteer. Hierdie monsters is vooraf aan 'n verskeidenheid indekstoetse (Hfst. 3) onderwerp om hulle eienskappe met natuurlike materiale in die veld te kan vergelyk.

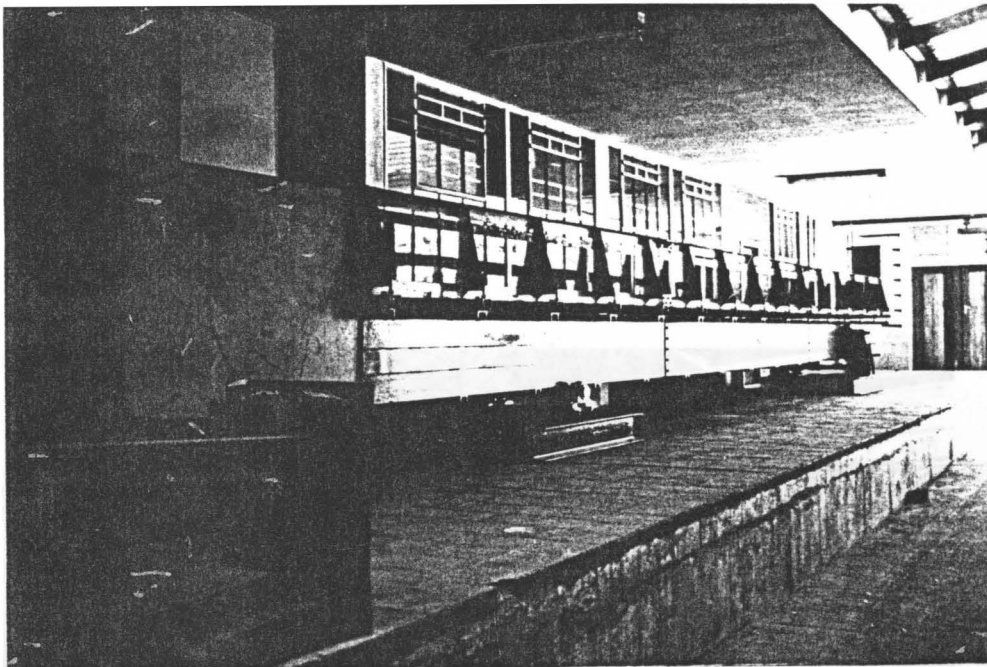


FOTO 12 : Vloeikanaal soos opgerig by die Universiteit van Pretoria.

Aanvanklike pogings om vloeisnelhede met behulp van kwik manometers 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 rotasie tipe 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 wat hanteer kan word, te erodeer. Selfs 'n tweede pomp kon nie naastenby sulke snelhede in die groot kanaal lewer nie en daar is besluit om 'n kleiner kanaal binne in die groot kanaal te monteer (Foto 13). Die kleiner kanaal wat beskikbaar was (Figuur 66), kon aangepas word om die 150mm blokke te akkommodeer, en alhoewel heelwat toetse daarin gedoen kon word, was snelhede steeds beperk tot ongeveer 4 m/sek. Groter snelhede kon slegs verkry word wanneer die toetsgedeelte (deurvloeiarea) vernou word en dan het die kanaal telkens gebreek.

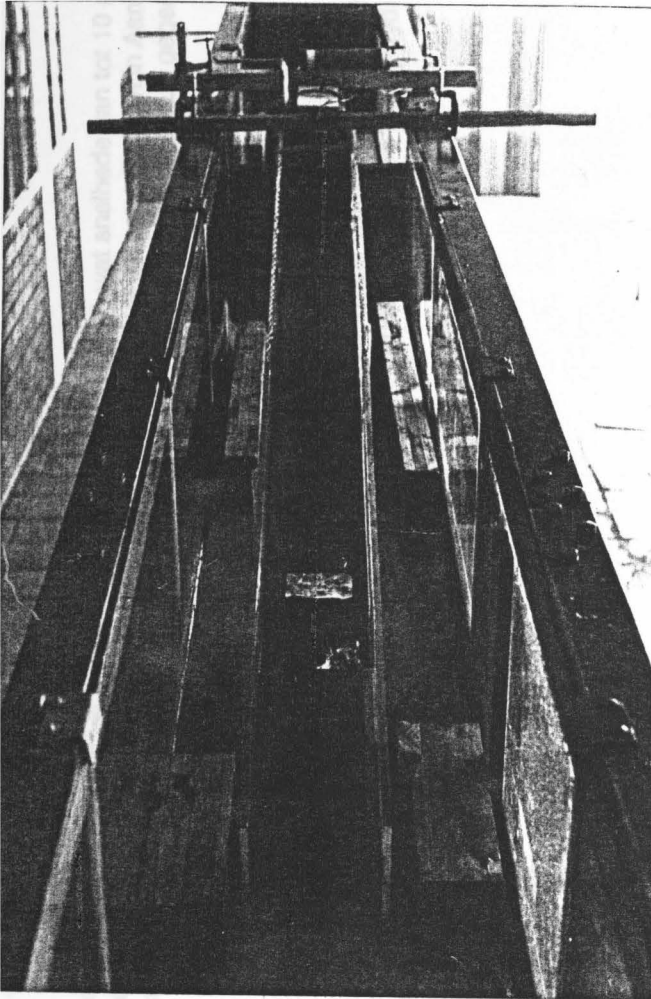


FOTO 13 : Klein kanaal wat binne groot kanaal monteer is.

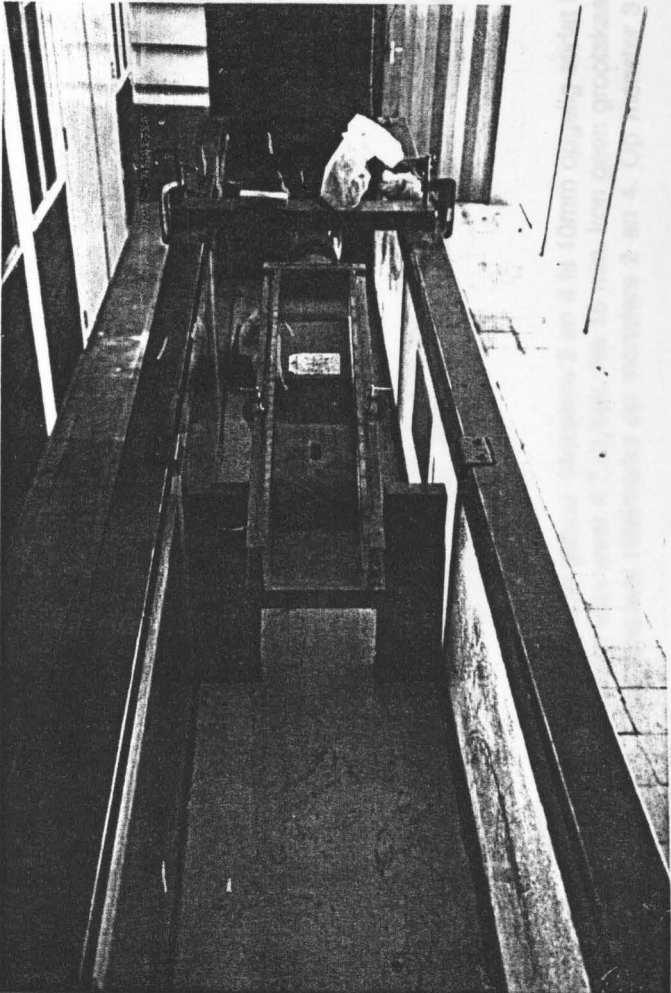


FOTO 14 : Klein kanaal wat groter snelhede kan hanteer.

Teen die einde van 1991 is 'n nuwe kanaal gebou (Figuur 66) wat snelhede van tot 10 m/sek. en gepaardgaande drukke kon hanteer (Foto 14). Die rou data of gemete data kan in Aanhangsel E nagegaan word. Stegs die resultate en gevolgtrekkings word in hierdie hoofstuk gegee.

4.2 WATERKANAALTOETSE

4.2.1 TOETS 1

Hierdie toets is op 29 Junie 1991 uitgevoer. Die erosiepotensiaal van vyf monsters is bepaal en terselfdertyd is die pomp en kanaal ook getoets. Die volgende vyf monsters is gelyktydig (in serie gepak) getoets:

1. Sand + 14% kalk + 1% sement
2. Sand + 3% sement
3. Sand + 23% Culbond- "N"
4. Sand + 2% sement
5. Sand + 1% sement

Die doel was om te bepaal of die monsters weerstand bied teen erosie en of die monsters heeltemal wegspoel. 'n Gevoel van vloeisnelhede en water erosie is ook tydens hierdie toets gekry.

Opstelling

Vyf monsters is in die klein kanaal, 160mm breed en 200mm diep, in serie geplaas en in posisie vasgedruk. Foto's is van die opstelling geneem. Deur die kleiner kanaal te gebruik is vloeisnelhede van 4 tot 5 m/sek gekry. Die helling van die klein kanaal is 1:7. Vier tipe toetse is gedoen:

- A. Reguit toets
- B. Trap toets
- C. Watersnelheid vergroot
- D. Droog - nat toets

A. Reguit toets

Die vyf monsters is plat en agter mekaar in die kanaal vasgedruk. Die water vloei oor die oppervlak van die monsters. Die monsters is in die volgorde sterk na swak van bo na onder geplaas:

1. 14% Kalk + 1% Sement
2. 3% Sement
3. 23% Culbond - "N"
4. 2% Sement
5. 1% Sement

Foto 15 toon die opstelling aan. Die watersnelheid wat oor die monsters vloei is op 4,7 m/sek uitgewerk. Die monsters is vir 15 minute aan hierdie watersnelheid blootgestel. Geen noemenswaardige erosie is waargeneem nie.

B. Trap toets

Die monsters is in dieselfde volgorde gehou. Monsters 2 en 4 is 10mm opgelig sodat hulle hoër staan as die ander. Die snelheid was weer 4,7 m/sek. Na 15 min. kon geen grootskaalse erosie waargeneem word nie. Daar was wel riffelmerke op monsters 2 en 4. Op monster 3 (klei) het erosie begin plaasvind.

C. Watersnelheid vergroot

Die helling van die groot kanaal is tot 1:35 vergroot. Die water, met 'n snelheid van 5 m/sek, is vir 30 min oor die monsters laat vloei. Die monsters was nog steeds stabiel en min tot geen erosie het plaasgevind nie.

D. Droog - nat toets

Die monsters is toegelaat om droog te word waarna hulle weer blootgestel is aan watervloei. Die monsters is weer op 1 Julie 1991 blootgestel aan watervloei. Kleinskaalse erosie het wel plaasgevind, maar daar is gevind dat die monsters bestand is teen kortstondige watervloei. Tydsduur van watervloei oor 'n monster is 'n belangrike faktor omdat hoe langer die vloei plaasvind hoe meer erosie plaas vind.

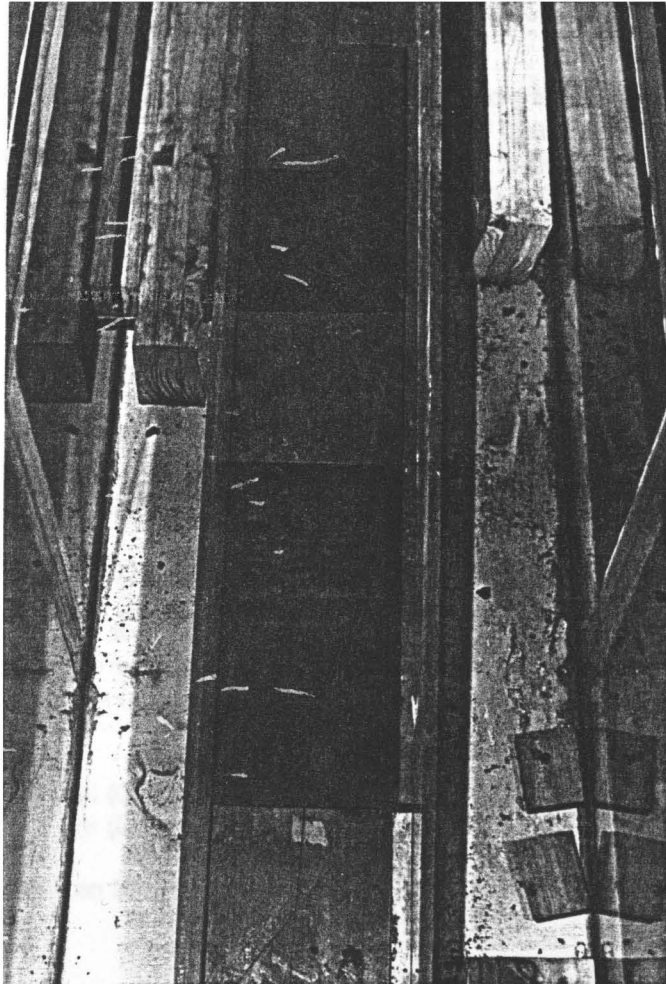


FOTO 15 : Opstelling van toets 1 - Reguit toets.

Gevolgtrekkings

1. Vyf monsters, een van elke mengsel tipe is in die waterkanaal getoets. Al vyf monsters het weerstand gebied teen watererosie.
2. 'n Watersnelheid van 4 tot 5 m/sek is met hierdie toets verkry.
3. Dit is moeilik om naatvulmateriaal in die laboratorium met materiale na te boots. Naatvulmateriaal soos wat dit in die natuur voorkom is ook nie geredelik beskikbaar sodat in - situ materiaal in die vloekanaal getoets kan word nie.

4. Uit die waarnemings van die toets kan gesê word dat swigting van die blokke hoofsaaklik plaasgevind het as gevolg van opliedruk.
5. Die monsters wat hoër staan erodeer vinniger as die res.
6. Sodra die monsters begin erodeer word die erosie proses versnel. Swigting vind vinnig en met geweld plaas. Dit is duidelik dat wanneer erosie van rots onder water plaasvind dit ook 'n geweldige proses is, al is daar lang periodes waarby min verandering plaasvind.

4.2.2 TOETS 2

Die watersnelheid is verhoog na ongeveer 8,5 m/sek vir hierdie toets. Die erosie wat plaasvind, is na elke uur gemeet en foto's is voor die tyd en na elke uur geneem. Die swakker mengsels is apart getoets omdat hulle baie vinnig erodeer en sodra daar 'n gaping in die toetslyn ontstaan, spoel die water alles weg. Hierdie toets het twee dae geduur. Op dag 1 is die vyf sterk mengsels getoets en op dag 2 is die swak mengsels getoets. Indekstoetse in die vorm van boor, skraap en penetrasie is voor die toets op die monsters uitgevoer.

Opstelling

Die vyf sterk mengsels is eerste getoets:

- 1) 3% Sement (sterk)
- 2) 23% Bentoniet-Klei
- 3) 14% Kalk + 1% Sement
- 4) 10% Kalk
- 5) 1% Sement (swak)

Die monsters is van sterk na swak en van bo na onder in die waterkanaal geplaas. Die mengsels is styf vas gedruk sodat die water dit nie kon wegspoel nie. Indekstoetse is op die mengsels uitgevoer. Water is vir ± 3 ure oor die monsters laat vloei. Die twee swak mengsels is op dag twee getoets:

- 6) 5% Bentoniet klei (Culbond "N")
- 7) 2% Bentoniet klei (Culbond "N")

Hierdie toetse het slegs 7 en 2 minute onderskeidelik geduur omdat die monsters baie swak is.

Indekstoetse

Drie tipes indekstoetse is op die mengsels uitgevoer nl. boortoets, kraptoets en 'n penetrasietoets. Hierdie indekstoetse word gedoen sodat die sterkte van die materiaal waarmee daar gewerk word bekend is en om sodoende hulle te kan korreleer met mengsels wat in die laboratorium getoets is en ook met naatvulmateriaal soos dit in die natuur voorkom.

A. Boortoets

'n Handboor is gebruik en daar is met 'n 8 mm boorpunt geboor. Na 20 omwentelinge van die slinger is die diepte van die gat gemeet. Geen druk word op die boor uitgeoefen nie.

B. Kraptoets

'n Platpunt skroewedraaier met 'n 5mm breë punt word vir hierdie toets gebruik. Die skroewedraaier is 20 keer heen en weer oor die monster getrek. Die skroewedraaier word net getrek en geen krag moet uitgeoefen word nie. Die diepte van die groef word op die diepste plek gemeet. Die aard van die groef word ook beskryf.

C. Penetrasietoets

'n Handpenetrometer word vir hierdie toets gebruik. Die meter word tot by die voorgeskrewe lyn in die monster ingedruk en 'n lesing geneem. Waar die punt nie die monster kan penetreer nie, word die merk wat dit maak net beskryf.

Gevolgtrekkings

Van die eerste vyf mengsels wat getoets is, het net die mengsel wat die 23% klei bevat erodeer. Die ander mengsels was te sterk. Die laaste twee mengsels erodeer te vinnig. Hulle is weer te swak.

4.2.3 TOETS 3

Verdere waterkanaaltoets is op die grond-klei mengsels uitgevoer. Waterkanaaltoets 3 is op 23% klei monsters uitgevoer. Die invloed van onreëlmatighede op erosie is met hierdie toets vasgestel. Die klei-monsters is trapsgewys in die kanaal geplaas sodat monsters 2 en 4 sowat 5 mm bokant die ander uitgestaan het (Foto 16). Water is vir 'n tydspan van een uur oor die monsters laat vloei. Met die eerste toetsloop het 'n monster uitgelig en die watervloei blokkeer. Gevolglik het die waterkanaal gekraak. Na reparasies het die tweede toetsloop sonder enige voorvalle verloop. Hierdie toets is op 19 September 1991 uitgevoer.

Opstelling

Vyf monsters van 23% klei-inhoud is trapsgewys in die kanaal geplaas. 'n Volledige foto reeks is van die toets geneem.

Indekstoets soos die penetrasie-, krap-, en boortoets is op die monsters uitgevoer om die relatiewe sterkte van die mengsels ten opsigte van ander mengsels te bepaal.

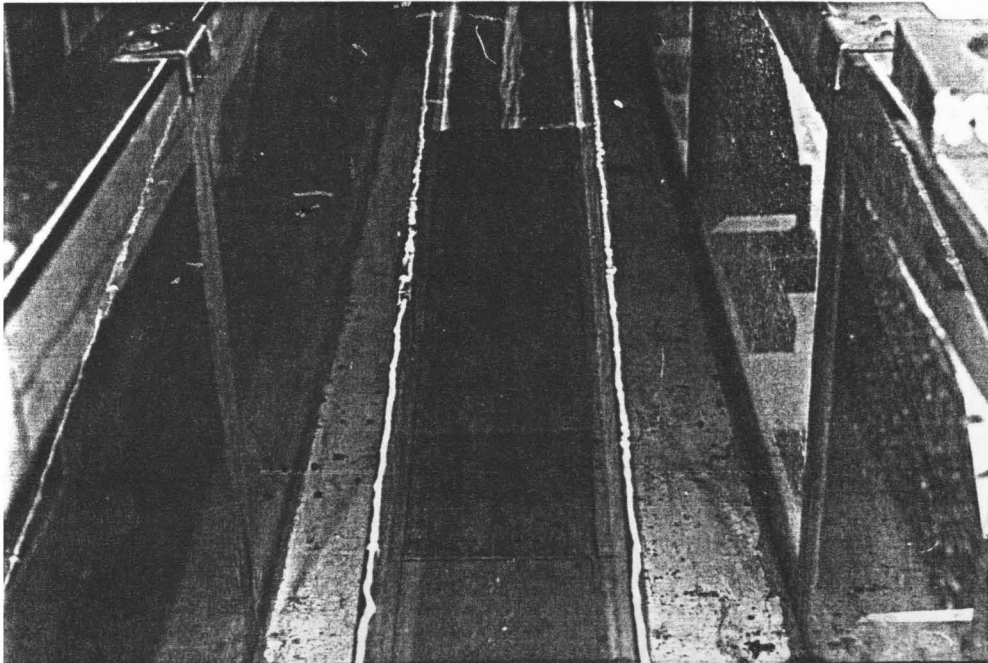


FOTO 16 : Opstelling van toets 3 - Monsters trapsgewys in kanaal geplaas.

Resultate

- Monster 1** Toon die meeste erosie. Dit kan toegeskryf word aan die feit dat hierdie monster aan die hoogste druk blootgestel is.
- Monster 2** Grootskaalse erosie.
- Monster 3** Relatief min erosie.
- Monster 4** Toon net erosie by die stroomop kant.
- Monster 5** Relatief min erodeer.

Gevolgtrekkings

Die water vloei eers net oor die monsters. Erosiekonsentrasiepunte vorm waar die trappe voorkom. Na mate erosie plaasvind, en die monsters dieper erodeer, ontstaan maalkolke (eddies). Sodra hierdie maalbewegings begin, vind grootskaalse erosie plaas.

4.2.4 TOETS 4

Vir hierdie toets is gebakte kleiteëls gebruik. Die teëls stel rotsblokke voor, terwyl die openinge tussen die opeenvolgende teëls nate wat met sand of sand-klei mengsels gevul is, voorstel. Die nate is 10mm wyd en het 'n reëlmatige spasiëring. Foto 17 dui hierdie opstelling aan.

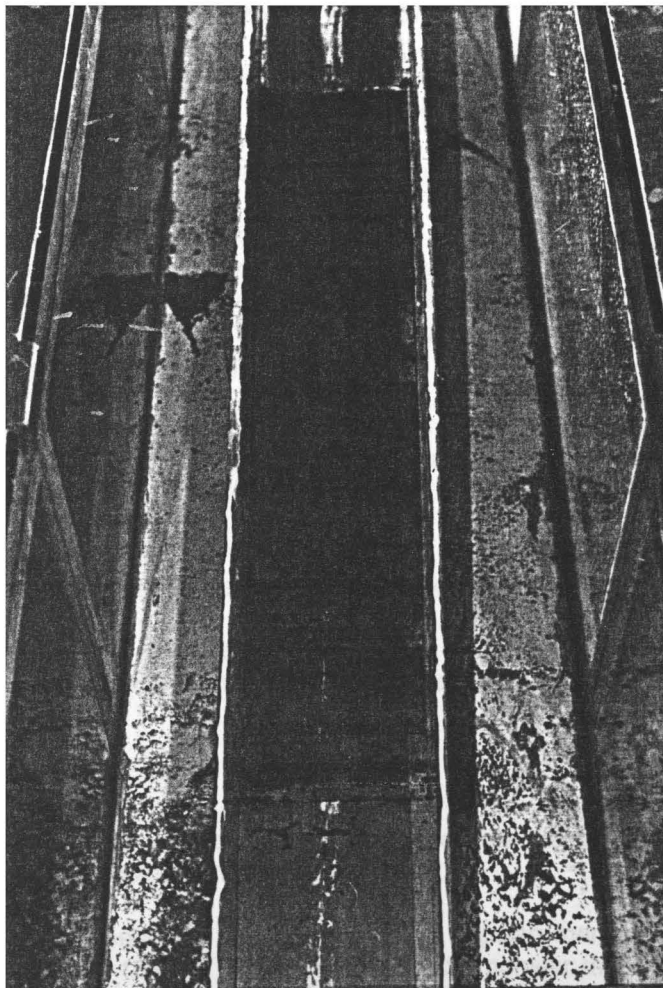


FOTO 17 : Opstelling van toets 4 - Kleiteëls

Al die toetse is gedoen met bestutting aan die stroomaf kant. Die nate is vertikaal. Die oriëntasie van die nate is sodanig dat een helfte loodreg en die ander parallel met die vloerigting is.

Die toetse kan in drie tipes opgedeel word nl:

- a) Vertikale nate (loodreg (\perp) en parallel (\parallel) met vloerigting) met geen vulmateriaal.
- b) Vertikale nate (\perp en \parallel) met skoon sand as vulmateriaal.
- c) Vertikale nate (\perp en \parallel) met 'n 15% klei-sand mengsel as vulmateriaal.

Opstelling

'n Kwik manometer is gebruik om die watersnelheid te bepaal. Twee kleppe beheer die vloei van die water nl. 'n serie-klep en 'n omleidingsklep. Die omleidingsklep lei van die water weer na die opgaartenk terug. Drie snelhede word gebruik nl:

- | | |
|----------|---|
| Vloei a) | Omleidingsklep oop - Serieklep bietjie oop.
Stadige vloei = $\pm 1,5$ m/sek. |
| Vloei b) | Omleidingsklep oop - Serieklep oop.
Middelmatige vloei = $\pm 2,5$ m/sek. |
| Vloei c) | Omleidingsklep toe - Serieklep oop.
Vinnige vloei = $\pm 3,5$ m/sek. |

Meganisme van erosie: (Vertikale nate met klei as vulmateriaal)

Die parallelle nate erodeer vinniger in die begin as die loodregte nate. Sodra maalkolke vorm, vind erosie van die loodregte nate baie vinniger plaas. Water het die nate binnegedring en opligdruk van onder veroorsaak. Daar is ook 'n suigkrag van bo. Die hele stelsel buig na bo en sak dan weer. Wanneer die stelsel afsak glip een blok uit. Wanneer dit gebeur vind erosie van die hele stelsel plaas. Die blokke stroomop spoel eerste weg.

Uit die waarnemings kan gesien word dat die water die nate makliker binnedring as die vloei stadig is, maar die waterkragte en waterdruk is baie groter as die vloei vinnig is.

Gevogtrekking

1. Blokke met geen vulmateriaal erodeer moeiliker as blokke wat sand as vulmateriaal het.
2. Die nate met klei as vulmateriaal erodeer wel. Sodra een blok uitglip vind vinnige erosie plaas. Die sleutelblokteorie speel 'n rol met hierdie tipe erosie.

4.2.5 TOETS 5

Die doel van hierdie toets was om die meganisme van die skuuraksie en die effek van onreëlmatighede op die erosiepotensiaal te ondersoek.

Monsters vir waterkanaaltoets 5 is van 'n sand - klei - klipslag mengsel gemaak. Net twee klei hoeveelhede is gebruik nl. 15% en 23%. Vyf verskillende monster met verskillende klip groottes en hoeveelhede is gemaak. Hierdie monsters is een vir een in die kanaal getoets. Die klipslag veroorsaak onreëlmatighede wat tot maalkolke en dus 'n groter erosiepotensiaal lei.

Die samestelling en verhouding van klipslag en materiaal vir die vyf monsters is as volg:

1. Klipslag $\phi = 4,75$ mm
50% klip + 50% van die 15% kleimengsel
2. Klipslag $\phi = 4,75$ mm
25% klip + 75% van die 15% kleimengsel
3. Klipslag $\phi = 9,2$ mm
25% klip + 75% van die 15% kleimengsel
4. Klipslag $\phi = 12,5$ mm
25% klip + 75% van die 15% kleimengsel
5. Klipslag $\phi = 19$ mm
25% klip + 75% van die 23% kleimengsel

Die 15% klei mengsels is gebruik omdat dit die mengsel is wat die swakste is maar nog steeds heel bly wanneer die monster hanteer word. Dit is dus die swakste materiaal wat gebruik kan word. Die 23% klei mengsel word vir die 19 mm klip gebruik omdat die 15% klei mengsel te swak is om die groot klip vas te hou.

Daar kan nie te veel klip gebruik word nie want dan sal die partikels op mekaar druk as die monsters verdig word en die regte digthede sal nie verkry word nie. Die hoeveelheid klip is as 'n persentasie van die massa wat nodig is vir die maak van die monster uitgewerk.

Drie vloeisnelhede is weer vir hierdie toets gebruik nl. vloei A (1,5 - 2,7 m/sek.), vloei B (2,5 - 3,5 m/sek.) en vloei C (3,3 - 4,4 m/sek.). Die vloeisnelhede is m.b.v. die stuwal- en roterende vloeimeter (Foto 18 en 19) metodes bereken. 'n Grafiek (Figuur 7) is opgestel wat hoogte bo stuwal en relatiewe watersnelheid aandui. Dit is gedoen om die snelheidbepaling te vergemaklik.

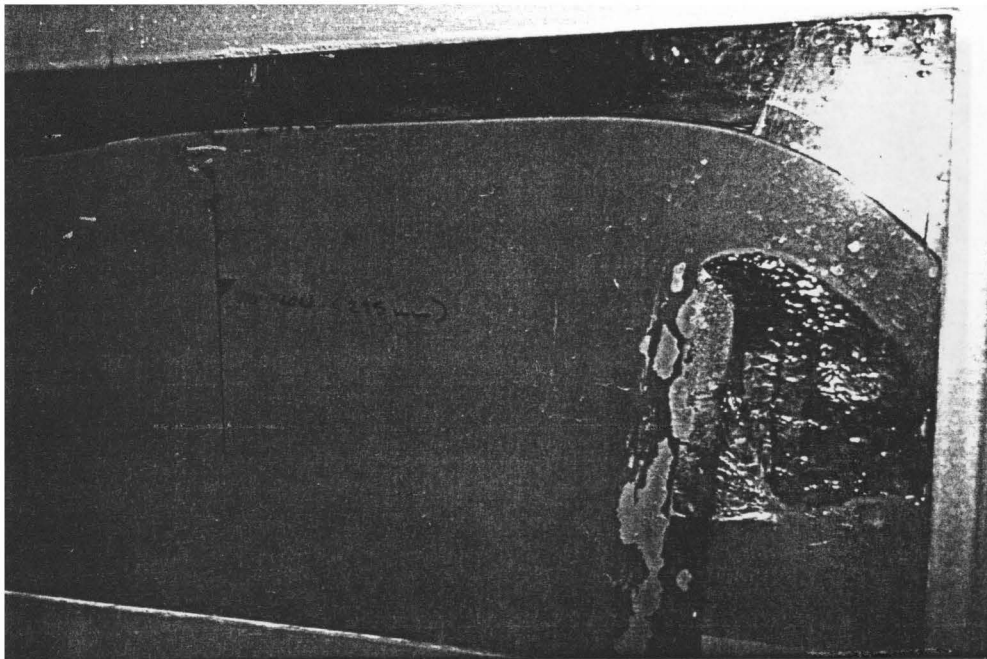


FOTO 18 : Vloeiberekening met behulp van die stuwal metode.

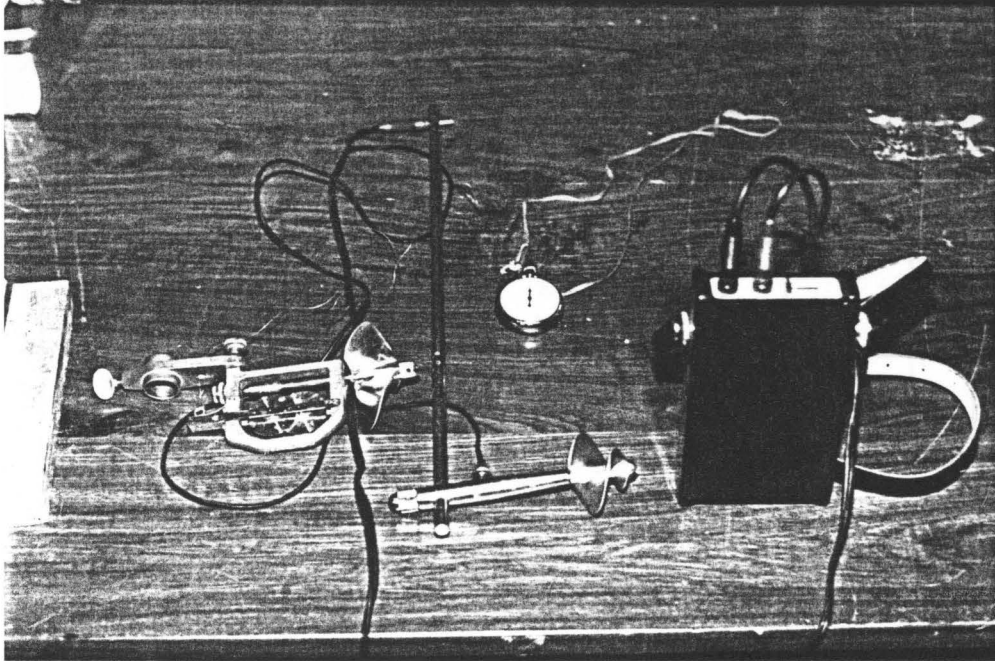


FOTO 19 : Roterende vloeimeters wat vir die berekening van vloeisnelheid gebruik is.

Gevolgtrekking

1. Met hierdie toets is waargeneem wat die effek van skuring om rotsblokke is.
2. Die erosie konsentrasie om die klipslag versnel die erosieproses.
3. Twee metodes van snelheidbepaling is gebruik nl:
 - * Stuwal metode (Foto 18)
 - * Roterende vloeimeter metode (Foto 19)Die stuwal metode is meer effektief.
4. 'n Verplasingmeter (Foto 20) is gemaak sodat die erosie makliker gemeet kan word.

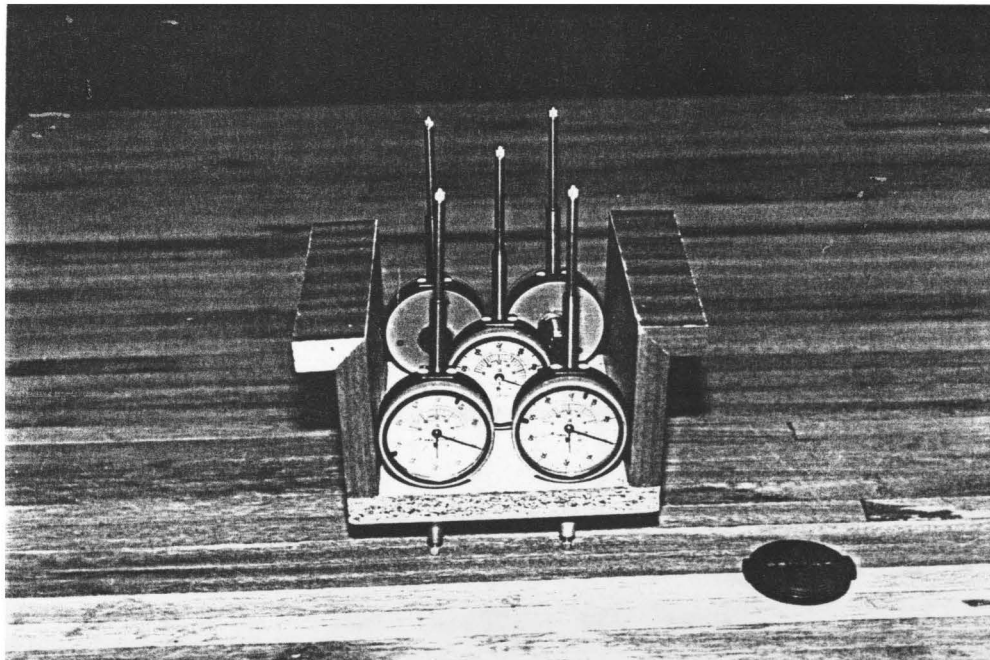
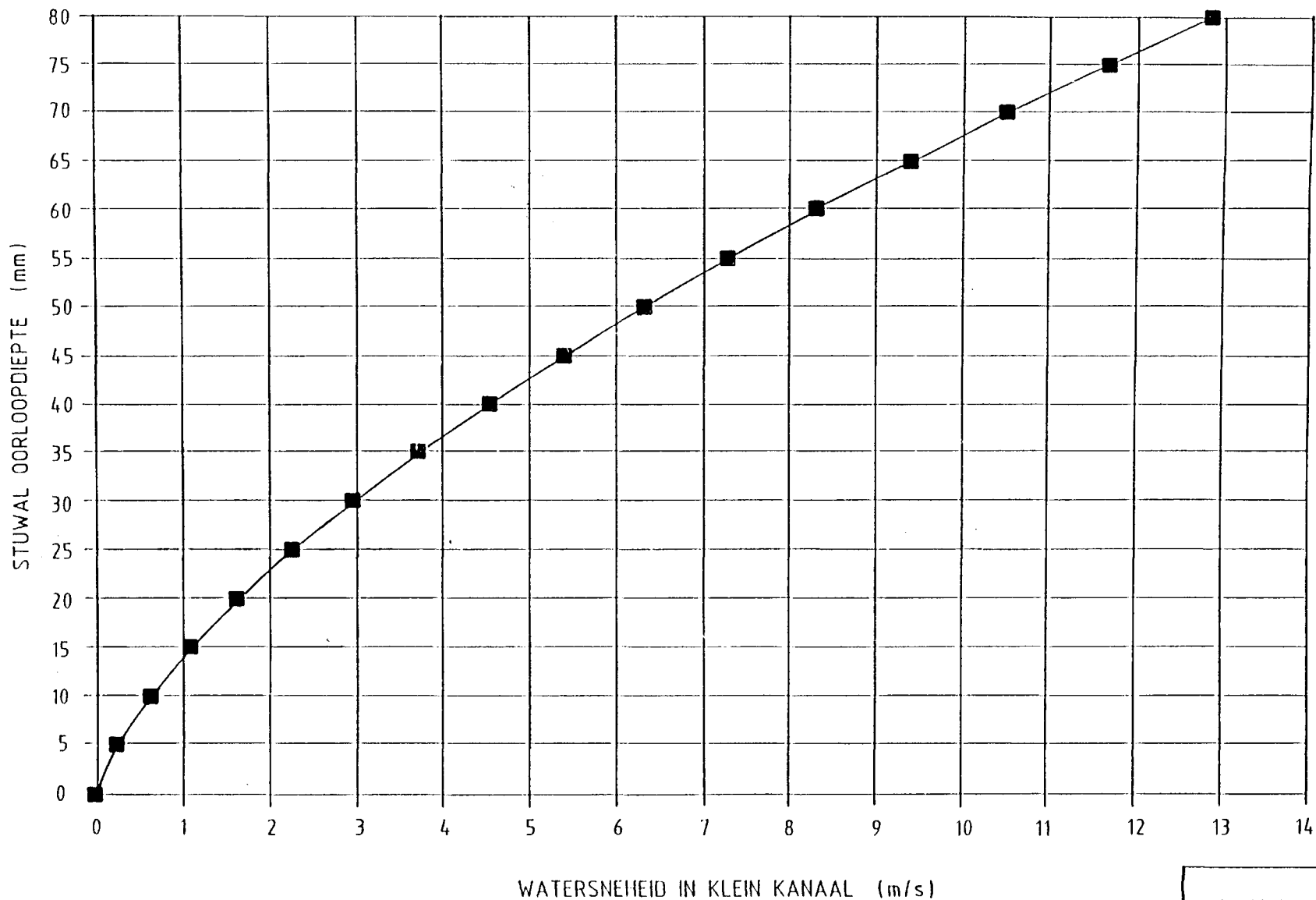


FOTO 20 : Verplasingmeters wat die erosie van die monsters op 5 punte meet.

HOOGTE OOR STUWAL VS SNEIHEID IN KLEIN KANAAL



FIGUUR 7.

4.2.6 TOETS 6

Die klein perspex kanaal is aangepas sodat watersnelhede van tot 8 m/sek verkry kan word. Om 'n vergelyking te kan tref tussen die verskil in erosie van laer en hoër snelhede is die gewone klei-grond mengsels weer getoets. Drie mengsels is gebruik nl. 15% klei, 30% klei en 40% klei. Baie probleme is ondervind met die verhoogde snelhede. Die drukking van die water is te groot vir die perspex kanaal. 'n Sterker kanaal is vervaardig.

4.2.7 TOETS 7

Vloeisnelhede van minstens 4 - 10 m/sek is nodig om noemenswaardige erosie op die monsters te laat plaasvind. Die swakste monster wat in waterkanaaltoets 7 en 8 gebruik is, is 'n mengsel van 15% klei (Culbond "N") en 85% Jakobsdalsand. Die 15% kaolien monster vir waterkanaaltoets 9 is egter nog swakker as die 15% culbond monster. 'n Maksimum snelheid van 4,5 m/sek is met die vorige kanaal gekry. Met die nuwe kanaal (Foto 14) is 'n maksimum snelheid van 10 m/sek verkry.

Die groter drukke, wat gepaard gaan met die hoër snelhede, word deur die nuwe kanaal goed hanteer. 'n Stewige koppeling tussen die uitlaatpyp en die kanaal was nodig sodat die uitlaatpyp nie kan terugskop nie. Die groter snelhede is verkry deur die deurvloeiarea te verklein. Die opening is ± 10 mm groot. Die kanaal is ook nouer as die vorige kanaal sodat die monsters, wat 150mm breed is, presies in die kanaal kan pas. Hierdie kanaal is 'n groot verbetering op die vorige kanaal. Verplasingmeters is in 'n vorm geplaas wat presies oor die kanaal pas sodat erosiemetings makliker en vinniger geneem kan word (Foto 20).

Waterkanaaltoets 7, 8, 9 en 10 is in hierdie nuwe kanaal uitgevoer. Met waterkanaaltoets 7 is die monsters by optimum voggehalte en maksimum droë digtheid getoets. Daar word na hierdie toets as die droë toets verwys. Met waterkanaaltoets 8 is die monsters vir 1 - uur versadig en daarna getoets. Dit is gedoen om te sien of hierdie water versadiging 'n verskil in erosietempo gee. Daar word na hierdie toets as die nat toets verwys. Die toetse van waterkanaaltoets 9 (kaolien monsters) is op dieselfde manier as waterkanaaltoetse 7 en 8 gedoen.

Opstelling

Die nuwe kanaal kan net een monster op 'n slag toets. Die kanaal is getoets en die erosietempo van groter watersnelhede is waargeneem. Ses verskillende monsters is getoets nl:

1. 15% klei inhoud (Culbond)
2. 23% klei inhoud (Culbond)
3. 30% klei inhoud (Culbond)
4. 30% klei inhoud (Culseal)
5. 40% klei inhoud (Culbond)
6. 60% klei inhoud (Culbond)

Jakobsdalsand is weereens as primêre materiaal gebruik. In al die toetse is daar van drie snelhede gebruik gemaak. Hierdie snelhede is vir 20 min elk geloop. Elke toets duur dus een uur. Vloei A = 4 m/sek., vloei B = 6 m/sek. en vloei C = 10 m/sek.

Verwerking van data

Die verwerking van die data vir toets 7 is soos volg gedoen. Vyf lesings per monster, is voor die toets met die verplasingmeters geneem (Lesing voor). Na elke vloei (vloei A, B en C) is erosielesings geneem. Die gemiddelde, wat op drie verskillende maniere (Tabel 21) uitgewerk is, van hierdie vyf waardes dui die kumulatiewe erosie na elke vloei aan. Een van die drie gemiddelde erosie waardes is gekies wat die erosie die betroubaarste verteenwoordig. Grafieke (Figuur 8 en 9) is van die data opgestel sodat die erosie maklik vergelyk kan word met mekaar. Tabel 21 gee die data wat vir die opstel van die grafieke gebruik is aan.

'n Gemiddelde uitskieterwaarde (Gem. Uitskiet.), gemiddelde mediaan waarde (Gem. Mediaan) en rekenkundige gemiddelde (Gem. Rek.) is bereken (Tabel 21 en 22). Die drie waardes is met mekaar vergelyk en een metode is gekies om 'n enkele gemiddelde waarde te kry (X-AS Med.). Hierdie enkele waarde is vir die opstel van die grafieke gebruik. Ekstrapolasie is gebruik waar die hele monster weg erodeer het voordat die 1 uur verby was.

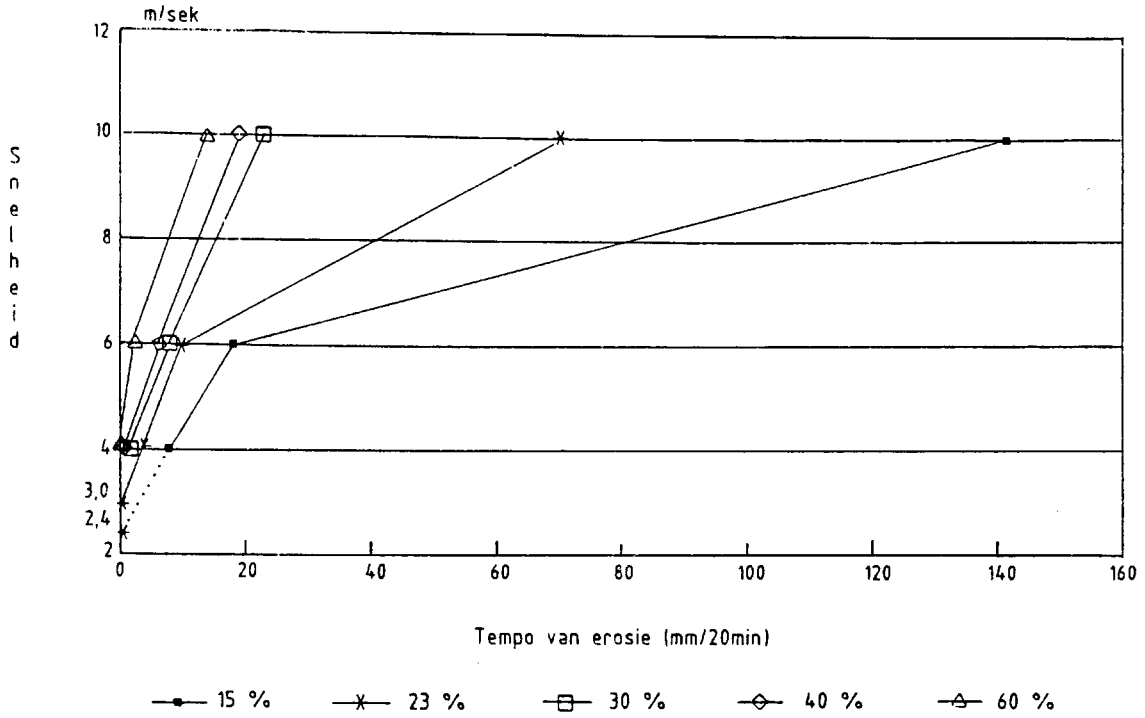
Figuur 8 vergelyk die kumulatiewe erosie van die vyf monsters met mekaar. Die laaste drie monsters is baie naby mekaar op Figuur 8. Figuur 9, met die laaste drie monsters geplot, is opgestel sodat die drumpelwaarde meer akkuraat bepaal kan word.

TABEL 21 - Data vir Figuur 8 en 9

WATERKANAALTOETS 7 - IN-SITU "DROOG" TOETS				
Y - AS SNELHEID	GEM. UITSKIET.	GEM. MEDIAAN	GEM. REK.	X - AS MED.
TOETS 7.1 - 15% MONSTER - KUMULATIEWE EROSIE				
4	8,07	8,49	8,39	8,49
6	15,99	18,18	20,36	18,18
10 (6min)	50,0	50,0	50,0	141,67*
TOETS 7.2 - 23% MONSTER - KUMULATIEWE EROSIE				
4	3,24	3,54	3,48	3,54
6	8,95	10,03	10,75	10,03
10(13min)	50,0	50,0	50,0	70,55*
TOETS 7.3 - 30% MONSTER - KUMULATIEWE EROSIE				
4	1,53	1,36	1,49	1,36
6	7,33	8,14	7,66	8,14
10	19,34	23,98	25,49	23,98
TOETS 7.4 - 30% MONSTER - KUM. EROSIE (CULSEAL)				
4	13,54	12,47	13,4	12,47
6	16,97	30,18	21,7	30,18
10 (8 min)	50,0	50,0	50,0	90,0*
TOETS 7.5 - 40% MONSTER - KUMULATIEWE EROSIE				
4	0,44	0,66	0,66	0,66
6	6,59	5,68	6,18	5,68
10	15,61	20,68	21,2	20,68
TOETS 7.6 - 60% MONSTER - KUMULATIEWE EROSIE				
4	0,01	0,05	0	0,05
6	1,65	1,95	2,71	1,95
10	14,36	12,88	14,5	12,88

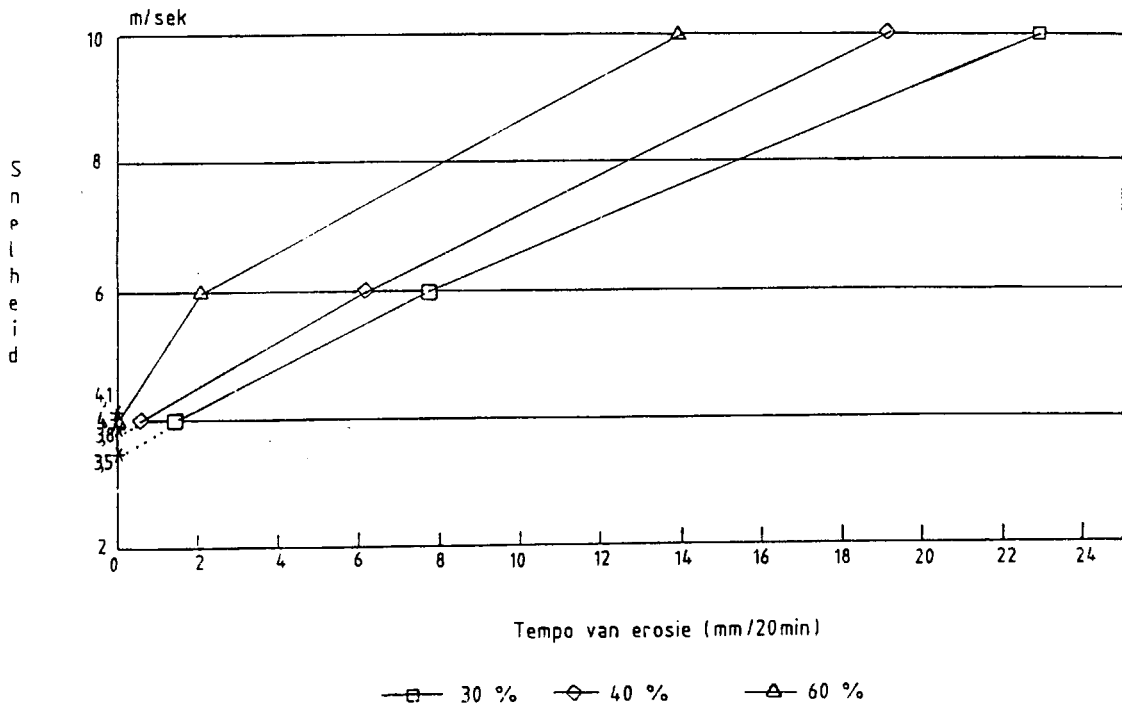
* - Ekstrapolasiewaarde

TEMPO VAN KUMULATIEWE EROSIE (mm / 20 min)



FIGUUR 8.

TEMPO VAN KUMULATIEWE EROSIE (VERGROTE X-AS SKAAL) (mm / min)



FIGUUR 9.

Opsomming

1. Waterkanaaltoets 7 behels die toets van ses monsters met verskillende klei persentasies nl:

1. 15% Culbond
2. 23% Culbond
3. 30% Culbond
4. 30% Culseal
5. 40% Culbond
6. 60% Culbond

Die primêre bestanddeel is Jakobsdalsand.

2. Die monsters is almal by optimum voggehalte of in - situ getoets. Hierdie toets word as "droog" geklassifiseer.
3. Grafieke is opgestel om die toetse met mekaar te kan vergelyk.
4. Drie vloeisnelhede is gebruik nl. vloei A - 4m/sek., vloei B - 6m/sek. en vloei C - 10m/sek.
5. Die drumpelwaarde (snelheid waar erosie begin) vir elk van die monsters is as volg:

1. 15% - Culb. - 2,4m/sek. (Figuur 8)
2. 23% - " - 3,0m/sek. (Figuur 8)
3. 30% - " - 3,5m/sek. (Figuur 9)
4. 40% - " - 3,8m/sek. (Figuur 9)
5. 60% - " - 4,1m/sek. (Figuur 9)

6. Figuur 8 toon die erosietempo van die 30% klei monster aan. Die erosietempo van die culbond droog en culbond nat is baie na aan mekaar. Die erosietempo van die culseal is egter baie vinniger as die culbond.

4.2.8 TOETS 8

Hierdie toets is 'n vervolg van waterkanaaltoets 7. Al die monsters is weer getoets behalwe die Culseal monster. Voordat die monsters vir erosietempo getoets is, is die monsters vir 1 uur onder water versadig. Die monsters is in die kanaal, soos opgestel vir toetsing, met water versadig. Hierdie toets staan bekend as die "nat" toets. Die volgende monsters is getoets:

1. 15% klei (Culbond)
2. 23% klei (Culbond)
3. 30% klei (Culbond)
4. 40% klei (Culbond)
5. 60% klei (Culbond)

Die monsters is presies dieselfde as die vorige monsters gemaak. Dieselfde metode van toetsing is ook gebruik. Die berekening is dieselfde as by waterkanaaltoets 7. Die rou data kan in Aanhangsel E nagegaan word. Slegs die 15% monster toon 'n noemenswaardige verskil in erosietempo by optimum en versadiging. Tabel 22 toon die waardes vir die nat toets aan.

Die water dring nie die monster na 1 uur binne om die monster versadig met water te maak nie. 'n Langer versadigings tydperk is nodig of versadiging onder druk moet toegepas word.

TABEL 22

WATERKANAALTOETS 8 - 1 UUR VERSADIG "NAT" TOETS				
Y - AS SNELHEID	GEM. UITSKIET.	GEM. MEDIAAN	GEM. REK.	X - AS MED.
TOETS 8.1 - 15% MONSTER - KUMULATIEWE EROSIE				
4	7,99	7,20	7,38	7,20
6	23,35	28,68	22,57	28,68
10 (2min)	50	50	50	205,0*
TOETS 8.2 - 23% MONSTER - KUMULATIEWE EROSIE				
4	2,19	2,11	2,44	2,11
6	7,39	5,78	6,75	5,78
10	23,78	24,08	20,42	24,08
TOETS 8.3 - 30% MONSTER - KUMULATIEWE EROSIE				
4	1,02	1,36	1,26	1,36
6	5,82	6,55	5,84	6,55
10	19,29	17,75	21,64	17,75
TOETS 8.4 - 40% MONSTER - KUMULATIEWE EROSIE				
4	5,10	4,32	4,58	4,32
6	16,73	15,02	15,04	15,02
10	26,15	27,64	30,92	27,64
TOETS 8.5 - 60% MONSTER - KUMULATIEWE EROSIE				
4	7,46	7,12	8,13	7,12
6	12,76	14,97	13,88	14,97
10	24,36	31,51	28,26	31,51

* - Ekstrapolasiewaarde

Opsomming

- Waterkanaaltoets 8 behels die toets van vyf monsters wat versadig is met water:
 - 15% Culbond
 - 23% Culbond
 - 30% Culbond
 - 40% Culbondi (2x)
 - 60% Culbond
- Die monsters is almal eers vir 1 uur onder water laat lê en daarna getoets. Hierdie toets word as die "nat" toets geklassifiseer.
- Slegs die 15% monster toon 'n noemenswaardige verskil in erosietempo tussen optimum en versadigde toestande.
- Die monsters moet langer versadig word of versadiging moet onder druk plaasvind sodat die water die monster kan binnedring.

4.2.9. TOETS 9

Nadat die Bentoniet-Culbond "N" monsters in WKT 7 en 8 getoets is, is kaolien monsters ook op dieselfde manier getoets. Die kaolien monsters is baie swakker as die bentoniet monsters met dieselfde klei inhoud en die 15% kaolien monster het verbrokkel met hantering sodat die nat toets nie eens uitgevoer is nie.

Die Proctor waardes van drie van hierdie monsters is bepaal. Elke monster se maksimum droë digtheid en optimum voginhoud is bepaal.

Opsomming

1. WKT 9 behels die "droog" toets van vyf kaolien monsters nl:
 1. 15% - Kaolien
 2. 23% - Kaolien
 3. 30% - Kaolien
 4. 40% - Kaolien
 5. 60% - Kaolien
2. Die monsters is baie swak en totale erosie van al die monsters vind plaas. Die 60% kaolien monster is swakker as die 15% bentoniet monster.
3. Die kaolien mengsels kan gebruik word wanneer baie lae vloeisnelhede gebruik word (< 4m/sek.).

4.2.10 TOETS 10

Nadat WKT 7 en 8 voltooi was, het dit nodig geblyk om toetse wat oor 'n lang tydspanne strek, aan te pak. Die drumpelwaardes (snelheid waar erosie begin) van elke monster is met Waterkanaaltoets 7 bereken. In WKT 10 is die monsters by hul drumpelwaarde vir 8 ure lank getoets. Lesings is ook geneem sodat 'n grafiek van erosie teen tyd opgestel kon word. Slegs vier monsters is getoets omdat die 30 en 40% monsters se drumpelwaarde naby aan mekaar is.

Opstelling

WKT 10 behels die toets van vier Culbond "N" monsters by hul drumpelwaarde vir 8 ure lank. Die snelheid is eers met behulp van 'n meetplaat wat in die kanaal geplaas is verkry. Daarna is die monster in die kanaal geplaas en vir 8 ure lank getoets. Die rou data van die toetse word in Aanhangsel E weergegee.

Verwerking van data

Die data is op dieselfde wyse as in die vorige waterkanaaltoetse verwerk. Tabel 23 gee die data wat vir die opstel van Figuur 10 gebruik is aan. Daar is weer drie waardes gekry nl. 'n gemiddelde uitskietewaarde, rekenkundige gemiddelde en 'n mediaan waarde. Hierdie drie waardes is met mekaar vergelyk en die akkuraadste metode is gebruik sodat 'n enkele verteenwoordigende erosie waarde gekry kon word wat op die Y-as van Figuur 10 gestip is. Die gemiddelde mediaan waarde is gebruik. Die X-as op Figuur 10 is die tyd in ure gemeet.

TABEL 23 - Data vir Figuur 10

X-AS TYD(ure)	GEM. UITSKIET	GEM. REK.	GEM. MEDIAAN	Y-AS MED (mm)
TOETS 10.1 - 15% (2,4 m/sek.)				
1	4,73	3,96	4,35	4,35
2	8,09	6,95	8,14	8,14
4	11,43	13,28	11,52	11,52
6	16,84	19,18	16,25	16,25
8	26,88	24,36	24,02	24,02
TOETS 10.2 - 23% (3,0 m/sek.)				
2	3,41	4,09	3,49	3,49
4	6,51	5,87	5,58	5,58
6	7,75	6,93	7,06	7,06
8	9,17	8,29	8,59	8,59
TOETS 10.3 - 40% (3,8 m/sek.)				
1	1,42	1,53	1,50	1,50
2	2,61	2,41	2,45	2,45
4	3,52	3,34	3,39	3,39
6	4,61	4,38	4,51	4,51
8	5,08	5,31	5,44	5,44
TOETS 10.4 - 60% (4,1 m/sek.)				
2	2,75	2,95	2,89	2,89
8	13,03	10,92	11,30	11,30

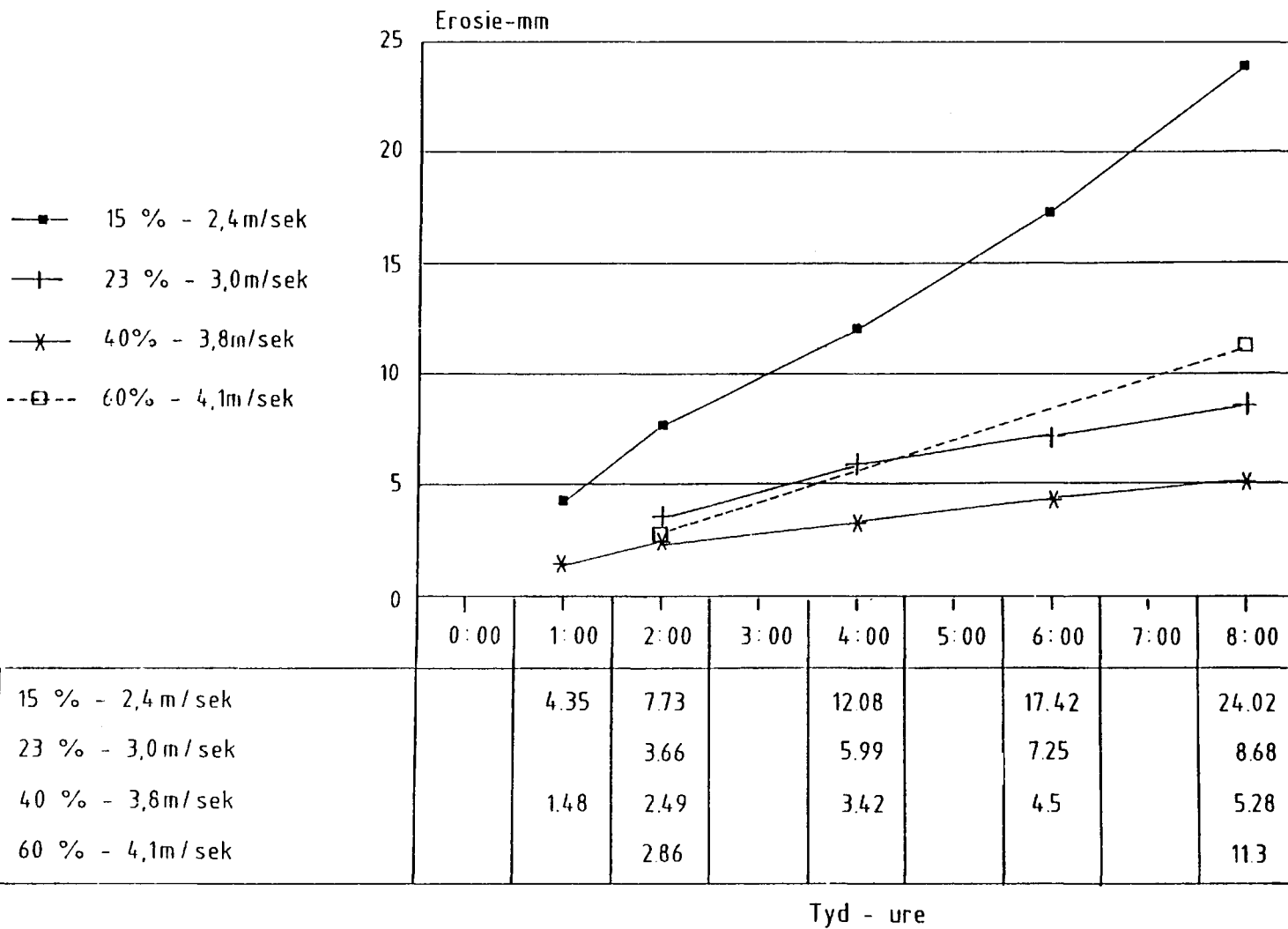
Opsomming

1. Vier monsters is vir 8 ure lank by hul drumpelwaarde getoets:
 1. 15% - 2,4 m/sek
 2. 23% - 3,0 m/sek
 3. 40% - 3,8 m/sek
 4. 60% - 4,1 m/sek

2. Figuur 10 is die resultaat van hierdie toets.

4. Die 15, 23 en 40% monsters se erosietempo is soos dit verwag is. Die 60% monster se erosietempo is meer as die 40% monster. Die 60% erosietempo is amper dieselfde as die 23% erosietempo.

EROSIETEMPO BY DRUMPELWAARDE



FIGUUR 10.

4.3 OPSOMMING EN GEVOLGTREKKINGS

Met die modeltoetse is daar gepoog om so na as moontlik die materiaal wat in die natuur voorkom te simuleer en in 'n waterkanaal vir erosiepotensiaal te toets. Verskillende mengsels wat van verskillende materiale gemaak is, is gebruik om hierdie monsters vir kanaal toetse te maak. Die primêre bestanddeel is windvervoerde fynkorrelrige sand van die Jakobsdal omgewing met die volgende eienskappe:

Voggehalte:	10%
Droë digtheid:	1 942 kg/m ³
Wrywingshoek:	30,3°
Kohesie:	15 kPa

Bindmateriale soos kalk, sement, bentoniet en kaolien is gebruik. Vierkantige monsters is gemaak (150 * 150 * 50 mm) vir die modeltoetse. Digthede en voginhoud is van Proctor toetse gekry. Van hierdie materiale is eers aan sekere indekstoetse blootgestel. Dit is gedoen sodat laboratorium materiaal met naatvulmateriaal in die natuur vergelyk kan word en ook sodat die modelmateriale in terme van sterkte geklassifiseer kan word.

Byvoeging van kalk en sement veroorsaak dat die modelmateriaal te sterk is om teen snelhede van minder as 4 m/sek. in die kanaal te erodeer. Byvoeging van minder as 10% bentoniet veroorsaak dat die monsters te swak is om te hanteer. Derhalwe is alle toepaslike toetse op monsters met 15 - 60 % bentoniet as bindmiddel uitgevoer.

'n Uitgebreide toetsprogram met verskeie kanaaltoetse is uitgevoer. Waterkanaaltoets 1 en 2 was toegespits op die toetsing van die waterpomp, vloeikanaal asook die opstelling met die monsters in die kanaal.

Met waterkanaaltoets 3 is vyf 23 % bentoniet monsters getoets. Die effek van onreëlmatighede is met hierdie opstelling getoets. Die monsters is trapsgewys in die kanaal geplaas. Maalkolke het ontstaan waar die onreëlmatighede voorkom en het intensiewe erosie veroorsaak.

Naatstelle in rots met klei as vulmateriaal is nageboots in waterkanaaltoets 4. Kleiteëls, wat rots voorstel, is gesny en in die kanaal geplaas met verskillende oriëntasies. Drie toetse is uitgevoer nl.

- * Nate met geen vulmateriaal
- * Nate met sand as vulmateriaal
- * Nate met klei as vulmateriaal

Kohesiewe materiaal bind die nate as 'n eenheid vas en min erosie vind plaas. Indien geen vulmateriaal aanwesig is nie, speel die styfheid van die nate in die rotsmassa 'n rol. Erosie vind moeiliker plaas as die nate baie styf is. Sand as vulmateriaal het geen bindsterkte nie en vinnige erosie vind plaas. Sand as vulmateriaal het geen bindsterkte nie en vinnige erosie vind plaas.

Die bentoniet is ook met aggremaat gemeng en in die kanaal getoets vir waterkanaaltoets 5. Die meganisme van erosie was hier van belang. Skuring vind om die ontblote aggremaat plaas wat tot groter erosie lei.

Vir waterkanaaltoetse 7, 8, 9 en 10 is 'n sterker vloeikanaal gebou wat snelhede tot 10 m/sek. kon hanteer. Die bentoniet monsters (15, 23, 30, 40 en 60 %) is vir toetse 7 en 8 gebruik. Na elke 20 min. is die erosiediepte gemeet en die snelheid verander. Die drie vloeisnelhede wat gebruik is, is 4, 6 en 10 m/sek. Elke snelheid is vir 20 min. volgehou en die erosie is gemeet. Met toets 8 is die monsters vir 1 uur met water versadig voordat die toets uitgevoer is. Hierdie versadiging het geen effek op die erosie gehad nie omdat die water nie die monster binne 1 uur kan binnedring nie.

Afleidings

Die eerste beginsel wat vasgestel is, is die begrip van weerstandsgrens vir verskillende sterktes materiaal. Erosie begin waar die vloeisnelheid groot genoeg is om in terme van skuifspanning en turbulente drukfluktuasies hierdie weerstandsgrens te oorskry. Vir elke materiaalsterkte is daar dus 'n kritiese vloeisnelheid waarbeneede geen erosie plaasvind nie. Hierdie weerstandsgrens word ook die drumpelwaarde genoem. Die drumpelwaarde van die vyf monsters word op Figure 8 en 9 getoon. Tabel 21 en 22 is die data waarvan hierdie figure opgestel is.

Sodra hierdie drumpelwaarde oorskry word, neem die erosietempo ongeveer eweredig met vloeisnelheid toe. Hierdie drumpelwaarde is slegs afhanklik van materiaalsterkte (ongeveer omgekeerd eweredig). Die erosie is ook nie uniform oor die oppervlak van die monster nie, maar word gekenmerk deur slootjies en gaatjies wat gevorm word. Die oppervlak word al hoe meer onegalig as gevolg van turbulente werwels en selfs die maalaksie van die losgemaakte materiaal op die oorblywende vaste matriks. Hoewel eweredig met tyd oor 'n lang tydperk, vind die erosie in skielike en spasmodiese stappe plaas.

Vier bentoniet (Culbond N) klei monsters is vir 8 ure lank by hul drumpelwaarde (snelheid) getoets (Waterkanaaltoets 10).

1. 15% klei - 2,4 m/s
2. 23% klei - 3,0 m/s
3. 40% klei - 3,8 m/s
4. 60% klei - 4,1 m/s

Die erosiediepte (mm) is gemeet (Tabel 23) en op 'n grafiek (Figuur 10) gestip. Die 15, 23 en 40% monster se erosietempo is goed korreleerbaar met sterkte. Die 60% monster se erosietempo is dieselfde as die 23% monster uit grafiek 10. Dus die 60% monster is swakker as die 40% monster wat op sy beurt die sterkste is.

Kaolien, wat 'n nie aktiewe klei is, is ook beproef. Hierdie monsters was egter te swak om gebruik te word.

4. MODELSTUDIES

4.1 INLEIDING

Eenvoudige modeltoetse is in 'n kanaal opstelling gedoen. Vir die doel van die projek is 'n vloeikanaal deur Ematek (WNNR) in Stellenbosch aan die Universiteit van Pretoria geskenk. Baie van die glaspanele het gebreek met die vervoer van die kanaal van Stellenbosch na Pretoria. Dit is alles met tien millimeter glas vervang. Ook moes die inlaat- en uitlaatgedeeltes van die kanaal herbou word om by die nuwe opstelling aan te pas. Die eerste toetse is in Junie 1991 uitgevoer. Die kanaal, soos by die Universiteit van Pretoria opgerig, word op Foto 12 getoon. Figuur 66 beskrywe die toetsopstelling breedvoerig.

Die doel met die modelstudie was om die erodeerbaarheid van naatvulmateriaal in 'n rotsmassa op 'n skaal van 1:1 te ondersoek. Ten einde naatvulmateriale te simuleer, is verskillende mengsels van sand, bentoniet, kaolien, sement en kalk by optimum voggehalte tot 'n standaard digtheid in blokke van 150 x 150 x 50 mm gekompakteer. Hierdie monsters is vooraf aan 'n verskeidenheid indekstoetse (Hfst. 3) onderwerp om hulle eienskappe met natuurlike materiale in die veld te kan vergelyk.

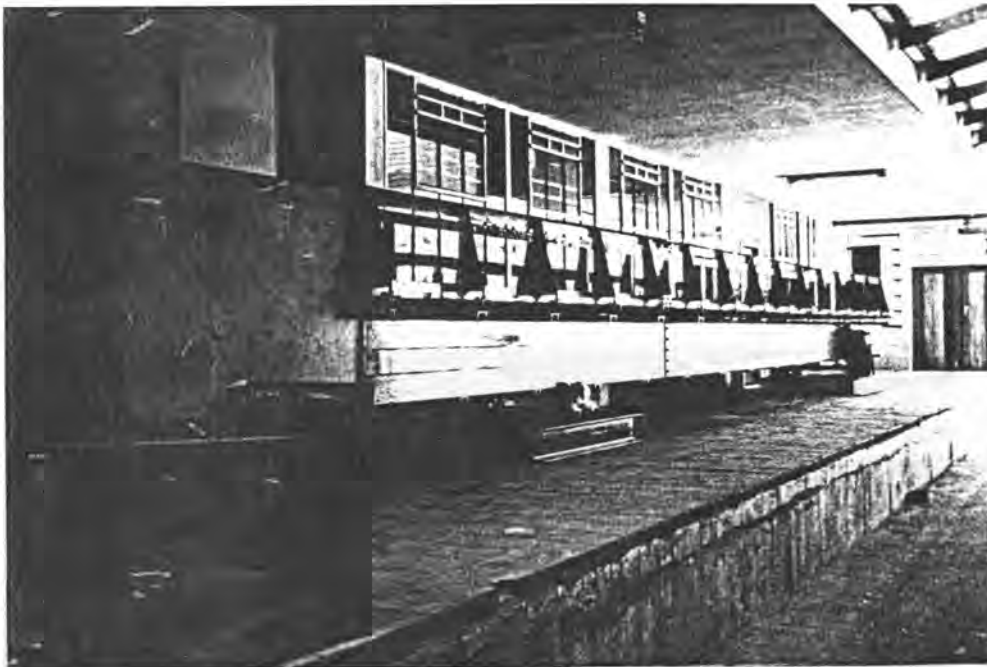


FOTO 12 : Vloeikanaal soos opgerig by die Universiteit van Pretoria.

Aanvanklike pogings om vloeisnelhede met behulp van kwik manometers 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 rotasie tipe 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 wat hanteer kan word, te erodeer. Selfs 'n tweede pomp kon nie naastenby sulke snelhede in die groot kanaal lewer nie en daar is besluit om 'n kleiner kanaal binne in die groot kanaal te monteer (Foto 13). Die kleiner kanaal wat beskikbaar was (Figuur 66), kon aangepas word om die 150mm blokke te akkommodeer, en alhoewel heelwat toetse daarin gedoen kon word, was snelhede steeds beperk tot ongeveer 4 m/sek. Groter snelhede kon slegs verkry word wanneer die toetsgedeelte (deurvloeiarea) vernou word en dan het die kanaal telkens gebreek.

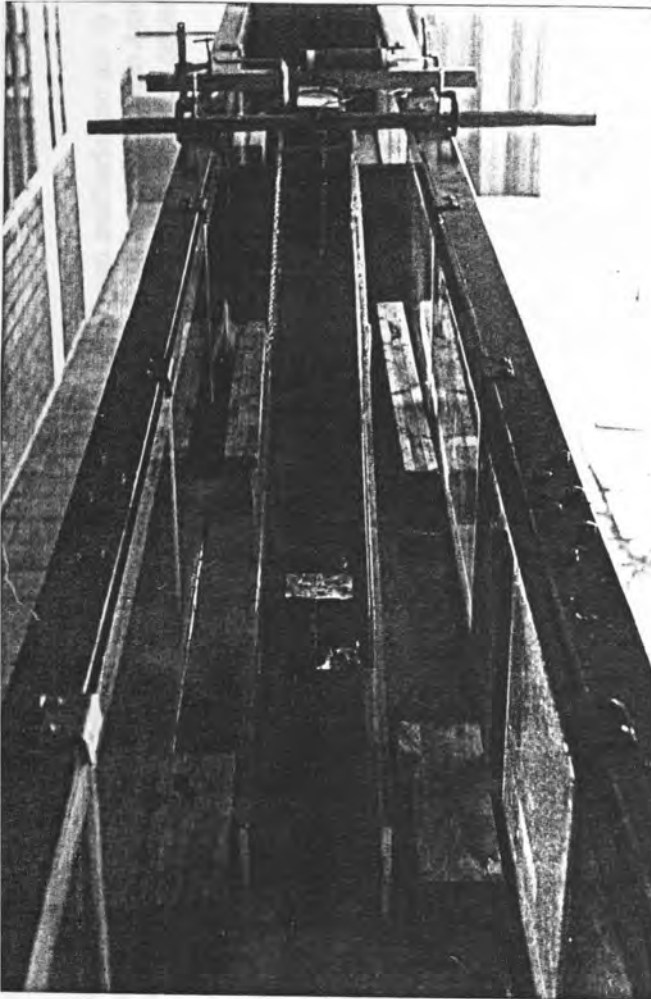


FOTO 13 : Klein kanaal wat binne groot kanaal monteer is.

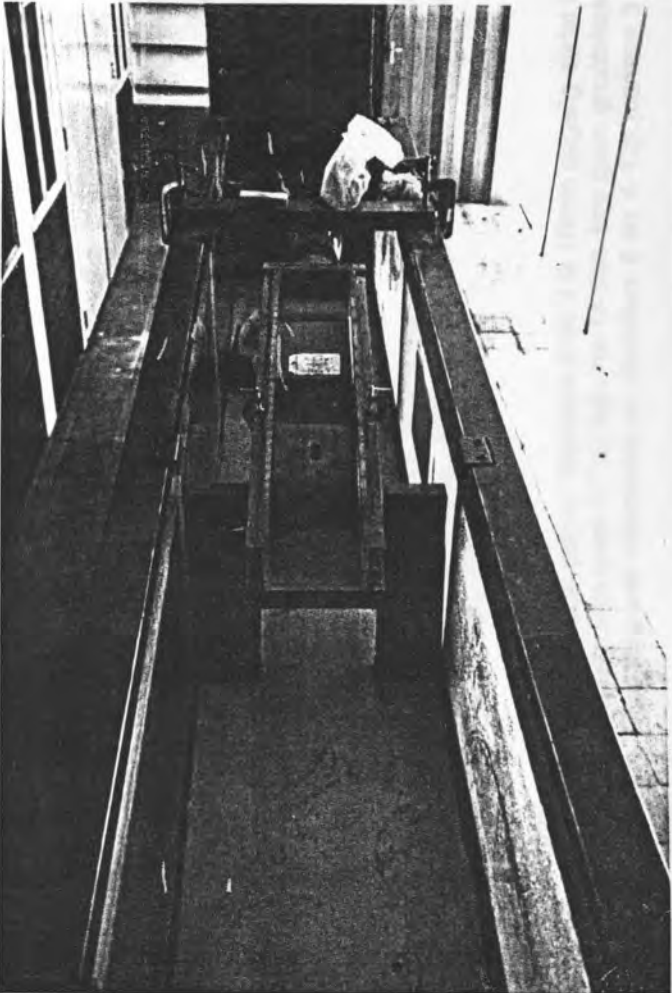


FOTO 14 : Klein kanaal wat groter snelhede kan hanteer.

Teen die einde van 1991 is 'n nuwe kanaal gebou (Figuur 66) wat snelhede van tot 10 m/sek. en gepaardgaande drukke kon hanteer (Foto 14). Die rou data of gemete data kan in Aanhangsel E nagegaan word. Stegs die resultate en gevolgtrekkings word in hierdie hoofstuk gegee.

4.2 WATERKANAALTOETSE

4.2.1 TOETS 1

Hierdie toets is op 29 Junie 1991 uitgevoer. Die erosiepotensiaal van vyf monsters is bepaal en terselfdertyd is die pomp en kanaal ook getoets. Die volgende vyf monsters is gelyktydig (in serie gepak) getoets:

1. Sand + 14% kalk + 1% sement
2. Sand + 3% sement
3. Sand + 23% Culbond- "N"
4. Sand + 2% sement
5. Sand + 1% sement

Die doel was om te bepaal of die monsters weerstand bied teen erosie en of die monsters heeltmaal wegspoel. 'n Gevoel van vloeisnelhede en water erosie is ook tydens hierdie toets gekry.

Opstelling

Vyf monsters is in die klein kanaal, 160mm breed en 200mm diep, in serie geplaas en in posisie vasgedruk. Foto's is van die opstelling geneem. Deur die kleiner kanaal te gebruik is vloeisnelhede van 4 tot 5 m/sek gekry. Die helling van die klein kanaal is 1:7. Vier tipe toetse is gedoen:

- A. Reguit toets
- B. Trap toets
- C. Watersnelheid vergroot
- D. Droog - nat toets

A. Reguit toets

Die vyf monsters is plat en agter mekaar in die kanaal vasgedruk. Die water vloei oor die oppervlak van die monsters. Die monsters is in die volgorde sterk na swak van bo na onder geplaas:

1. 14% Kalk + 1% Sement
2. 3% Sement
3. 23% Culbond - "N"
4. 2% Sement
5. 1% Sement

Foto 15 toon die opstelling aan. Die watersnelheid wat oor die monsters vloei is op 4,7 m/sek uitgewerk. Die monsters is vir 15 minute aan hierdie watersnelheid blootgestel. Geen noemenswaardige erosie is waargeneem nie.

B. Trap toets

Die monsters is in dieselfde volgorde gehou. Monsters 2 en 4 is 10mm opgelig sodat hulle hoër staan as die ander. Die snelheid was weer 4,7 m/sek. Na 15 min. kon geen grootskaalse erosie waargeneem word nie. Daar was wel riffelmerke op monsters 2 en 4. Op monster 3 (klei) het erosie begin plaasvind.

C. Watersnelheid vergroot

Die helling van die groot kanaal is tot 1:35 vergroot. Die water, met 'n snelheid van 5 m/sek, is vir 30 min oor die monsters laat vloei. Die monsters was nog steeds stabiel en min tot geen erosie het plaasgevind nie.

D. Droog - nat toets

Die monsters is toegelaat om droog te word waarna hulle weer blootgestel is aan watervloei. Die monsters is weer op 1 Julie 1991 blootgestel aan watervloei. Kleinskaalse erosie het wel plaasgevind, maar daar is gevind dat die monsters bestand is teen kortstondige watervloei. Tydsduur van watervloei oor 'n monster is 'n belangrike faktor omdat hoe langer die vloei plaasvind hoe meer erosie plaas vind.

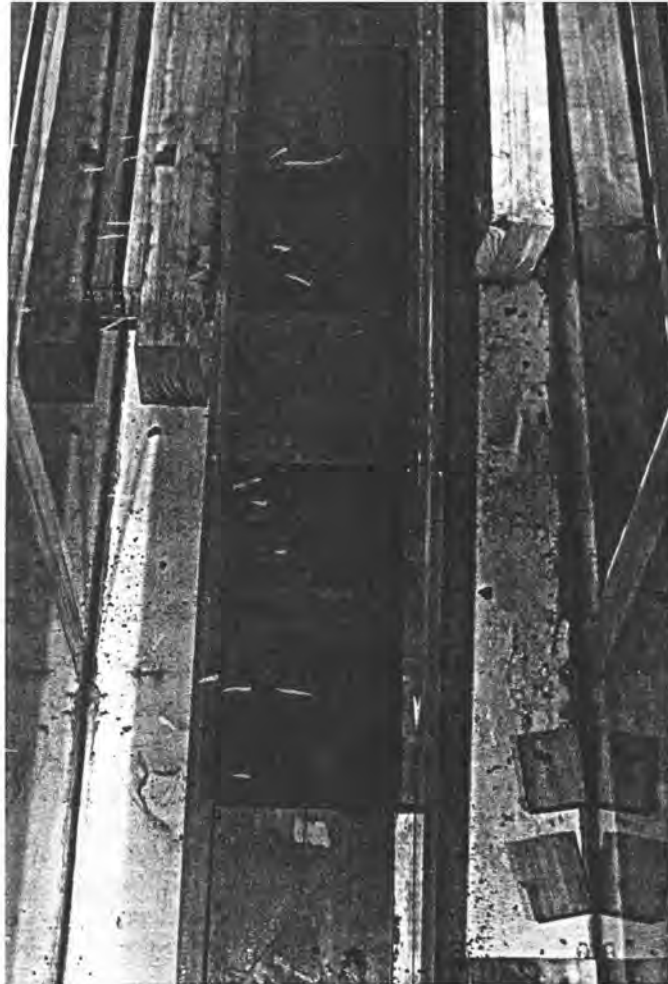


FOTO 15 : Opstelling van toets 1 - Reguit toets.

Gevolgtrekkings

1. Vyf monsters, een van elke mengsel tipe is in die waterkanaal getoets. Al vyf monsters het weerstand gebied teen watererosie.
2. 'n Watersnelheid van 4 tot 5 m/sek is met hierdie toets verkry.
3. Dit is moeilik om naatvulmateriaal in die laboratorium met materiale na te boots. Naatvulmateriaal soos wat dit in die natuur voorkom is ook nie geredelik beskikbaar sodat in - situ materiaal in die vloekanaal getoets kan word nie.

4. Uit die waarnemings van die toets kan gesê word dat swigting van die blokke hoofsaaklik plaasgevind het as gevolg van opliedruk.
5. Die monsters wat hoër staan erodeer vinniger as die res.
6. Sodra die monsters begin erodeer word die erosie proses versnel. Swigting vind vinnig en met geweld plaas. Dit is duidelik dat wanneer erosie van rots onder water plaasvind dit ook 'n geweldige proses is, al is daar lang periodes waarby min verandering plaasvind.

4.2.2 TOETS 2

Die watersnelheid is verhoog na ongeveer 8,5 m/sek vir hierdie toets. Die erosie wat plaasvind, is na elke uur gemeet en foto's is voor die tyd en na elke uur geneem. Die swakker mengsels is apart getoets omdat hulle baie vinnig erodeer en sodra daar 'n gaping in die toetslyn ontstaan, spoel die water alles weg. Hierdie toets het twee dae geduur. Op dag 1 is die vyf sterk mengsels getoets en op dag 2 is die swak mengsels getoets. Indekstoetse in die vorm van boor, skraap en penetrasie is voor die toets op die monsters uitgevoer.

Opstelling

Die vyf sterk mengsels is eerste getoets:

- 1) 3% Sement (sterk)
- 2) 23% Bentoniet-Klei
- 3) 14% Kalk + 1% Sement
- 4) 10% Kalk
- 5) 1% Sement (swak)

Die monsters is van sterk na swak en van bo na onder in die waterkanaal geplaas. Die mengsels is styf vas gedruk sodat die water dit nie kon wegspoel nie. Indekstoetse is op die mengsels uitgevoer. Water is vir ± 3 ure oor die monsters laat vloei. Die twee swak mengsels is op dag twee getoets:

- 6) 5% Bentoniet klei (Culbond "N")
- 7) 2% Bentoniet klei (Culbond "N")

Hierdie toetse het slegs 7 en 2 minute onderskeidelik geduur omdat die monsters baie swak is.

Indekstoetse

Drie tipes indekstoetse is op die mengsels uitgevoer nl. boortoets, kraptoets en 'n penetrasietoets. Hierdie indekstoetse word gedoen sodat die sterkte van die materiaal waarmee daar gewerk word bekend is en om sodoende hulle te kan korreleer met mengsels wat in die laboratorium getoets is en ook met naatvulmateriaal soos dit in die natuur voorkom.

A. Boortoets

'n Handboor is gebruik en daar is met 'n 8 mm boorpunt geboor. Na 20 omwentelinge van die slinger is die diepte van die gat gemeet. Geen druk word op die boor uitgeoefen nie.

B. Kraptoets

'n Platpunt skroewedraaier met 'n 5mm breë punt word vir hierdie toets gebruik. Die skroewedraaier is 20 keer heen en weer oor die monster getrek. Die skroewedraaier word net getrek en geen krag moet uitgeoefen word nie. Die diepte van die groef word op die diepste plek gemeet. Die aard van die groef word ook beskryf.

C. Penetrasietoets

'n Handpenetrometer word vir hierdie toets gebruik. Die meter word tot by die voorgeskrewe lyn in die monster ingedruk en 'n lesing geneem. Waar die punt nie die monster kan penetreer nie, word die merk wat dit maak net beskryf.

Gevolgtrekkings

Van die eerste vyf mengsels wat getoets is, het net die mengsel wat die 23% klei bevat erodeer. Die ander mengsels was te sterk. Die laaste twee mengsels erodeer te vinnig. Hulle is weer te swak.

4.2.3 TOETS 3

Verdere waterkanaaltoetse is op die grond-klei mengsels uitgevoer. Waterkanaaltoets 3 is op 23% klei monsters uitgevoer. Die invloed van onreëlmatighede op erosie is met hierdie toets vasgestel. Die klei-monsters is trapsgewys in die kanaal geplaas sodat monsters 2 en 4 sowat 5 mm bokant die ander uitgestaan het (Foto 16). Water is vir 'n tydspan van een uur oor die monsters laat vloei. Met die eerste toetsloop het 'n monster uitgelig en die watervloei blokkeer. Gevolglik het die waterkanaal gekraak. Na reparasies het die tweede toetsloop sonder enige voorvalle verloop. Hierdie toets is op 19 September 1991 uitgevoer.

Opstelling

Vyf monsters van 23% klei-inhoud is trapsgewys in die kanaal geplaas. 'n Volledige foto reeks is van die toets geneem.

Indekstoetse soos die penetrasie-, krap-, en boortoets is op die monsters uitgevoer om die relatiewe sterkte van die mengsels ten opsigte van ander mengsels te bepaal.

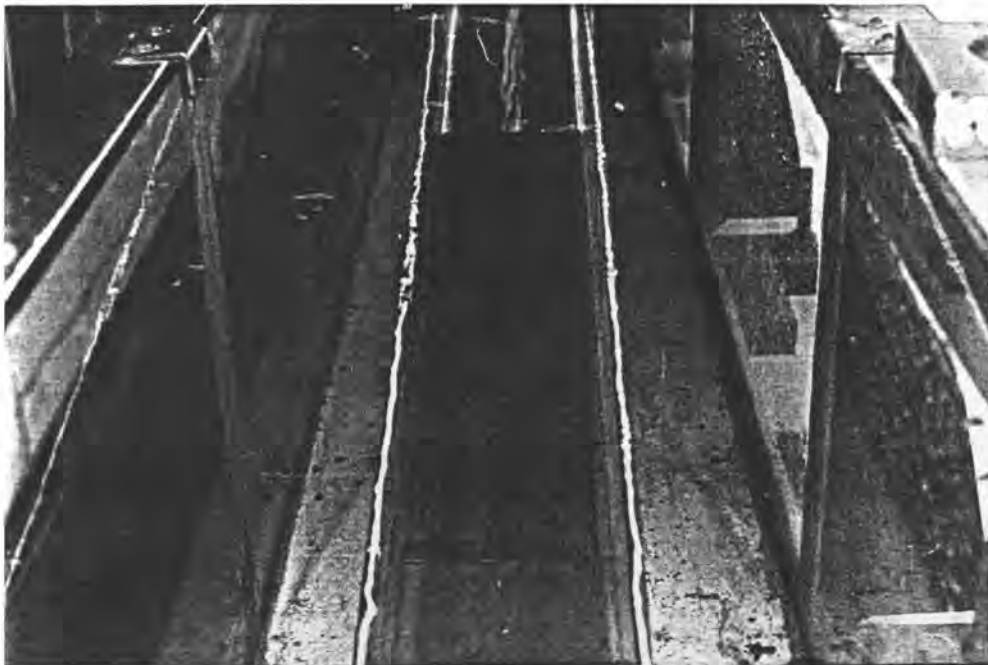


FOTO 16 : Opstelling van toets 3 - Monsters trapsgewys in kanaal geplaas.

Resultate

- Monster 1** Toon die meeste erosie. Dit kan toegeskryf word aan die feit dat hierdie monster aan die hoogste druk blootgestel is.
- Monster 2** Groot skaalse erosie.
- Monster 3** Relatief min erosie.
- Monster 4** Toon net erosie by die stroomop kant.
- Monster 5** Relatief min erodeer.

Gevolgtrekkings

Die water vloei eers net oor die monsters. Erosiekonsentrasiepunte vorm waar die trappe voorkom. Na mate erosie plaasvind, en die monsters dieper erodeer, ontstaan maalkolke (eddies). Sodra hierdie maalbewegings begin, vind groot skaalse erosie plaas.

4.2.4 TOETS 4

Vir hierdie toets is gebakte kleiteëls gebruik. Die teëls stel rotsblokke voor, terwyl die openinge tussen die opeenvolgende teëls nate wat met sand of sand-klei mengsels gevul is, voorstel. Die nate is 10mm wyd en het 'n reëlmatige spasiëring. Foto 17 dui hierdie opstelling aan.

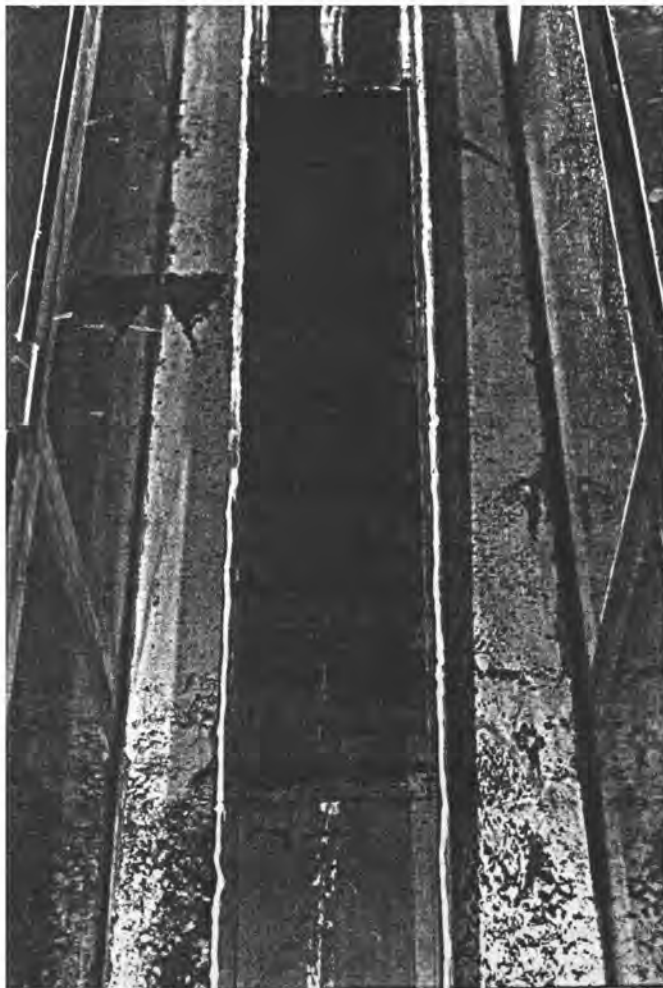


FOTO 17 : Opstelling van toets 4 - Kleiteëls

Al die toetse is gedoen met bestutting aan die stroomaf kant. Die nate is vertikaal. Die oriëntasie van die nate is sodanig dat een helfte loodreg en die ander parallel met die vloerigting is.

Die toetse kan in drie tipes opgedeel word nl:

- a) Vertikale nate (loodreg (\perp) en parallel (\parallel) met vloerigting) met geen vulmateriaal.
- b) Vertikale nate (\perp en \parallel) met skoon sand as vulmateriaal.
- c) Vertikale nate (\perp en \parallel) met 'n 15% klei-sand mengsel as vulmateriaal.

Opstelling

'n Kwik manometer is gebruik om die watersnelheid te bepaal. Twee kleppe beheer die vloei van die water nl. 'n serie-klep en 'n omleidingsklep. Die omleidingsklep lei van die water weer na die opgaartenk terug. Drie snelhede word gebruik nl:

- | | |
|----------|---|
| Vloei a) | Omleidingsklep oop - Serieklep bietjie oop.
Stadige vloei = $\pm 1,5$ m/sek. |
| Vloei b) | Omleidingsklep oop - Serieklep oop.
Middelmatige vloei = $\pm 2,5$ m/sek. |
| Vloei c) | Omleidingsklep toe - Serieklep oop.
Vinnige vloei = $\pm 3,5$ m/sek. |

Meganisme van erosie: (Vertikale nate met klei as vulmateriaal)

Die parallelle nate erodeer vinniger in die begin as die loodregte nate. Sodra maalkolke vorm, vind erosie van die loodregte nate baie vinniger plaas. Water het die nate binnegedring en opligdruk van onder veroorsaak. Daar is ook 'n suigkrag van bo. Die hele stelsel buig na bo en sak dan weer. Wanneer die stelsel afsak glip een blok uit. Wanneer dit gebeur vind erosie van die hele stelsel plaas. Die blokke stroomop spoel eerste weg.

Uit die waarnemings kan gesien word dat die water die nate makliker binnedring as die vloei stadig is, maar die waterkragte en waterdruk is baie groter as die vloei vinnig is.

Gevogtrekking

1. Blokke met geen vulmateriaal erodeer moeiliker as blokke wat sand as vulmateriaal het.
2. Die nate met klei as vulmateriaal erodeer wel. Sodra een blok uitglip vind vinnige erosie plaas. Die sleutelblokteorie speel 'n rol met hierdie tipe erosie.

4.2.5 TOETS 5

Die doel van hierdie toets was om die meganisme van die skuuraksie en die effek van onreëlmatighede op die erosiepotensiaal te ondersoek.

Monsters vir waterkanaaltoets 5 is van 'n sand - klei - klipslag mengsel gemaak. Net twee klei hoeveelhede is gebruik nl. 15% en 23%. Vyf verskillende monster met verskillende klip groottes en hoeveelhede is gemaak. Hierdie monsters is een vir een in die kanaal getoets. Die klipslag veroorsaak onreëlmatighede wat tot maalkolke en dus 'n groter erosiepotensiaal lei.

Die samestelling en verhouding van klipslag en materiaal vir die vyf monsters is as volg:

1. Klipslag $\phi = 4,75$ mm
50% klip + 50% van die 15% kleimengsel
2. Klipslag $\phi = 4,75$ mm
25% klip + 75% van die 15% kleimengsel
3. Klipslag $\phi = 9,2$ mm
25% klip + 75% van die 15% kleimengsel
4. Klipslag $\phi = 12,5$ mm
25% klip + 75% van die 15% kleimengsel
5. Klipslag $\phi = 19$ mm
25% klip + 75% van die 23% kleimengsel

Die 15% klei mengsels is gebruik omdat dit die mengsel is wat die swakste is maar nog steeds heel bly wanneer die monster hanteer word. Dit is dus die swakste materiaal wat gebruik kan word. Die 23% klei mengsel word vir die 19 mm klip gebruik omdat die 15% klei mengsel te swak is om die groot klip vas te hou.

Daar kan nie te veel klip gebruik word nie want dan sal die partikels op mekaar druk as die monsters verdig word en die regte digtheid sal nie verkry word nie. Die hoeveelheid klip is as 'n persentasie van die massa wat nodig is vir die maak van die monster uitgewerk.

Drie vloeisnelhede is weer vir hierdie toets gebruik nl. vloei A (1,5 - 2,7 m/sek.), vloei B (2,5 - 3,5 m/sek.) en vloei C (3,3 - 4,4 m/sek.). Die vloeisnelhede is m.b.v. die stuwal- en roterende vloeimeter (Foto 18 en 19) metodes bereken. 'n Grafiek (Figuur 7) is opgestel wat hoogte bo stuwal en relatiewe watersnelheid aandui. Dit is gedoen om die snelheidbepaling te vergemaklik.



FOTO 18 : Vloeiberekening met behulp van die stuwal metode.

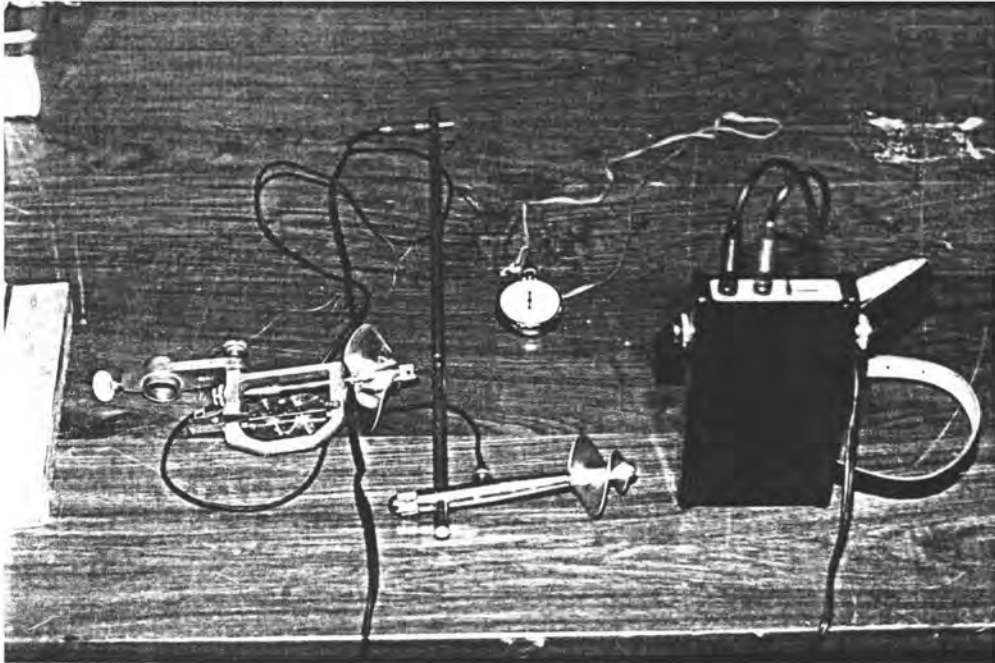


FOTO 19 : Roterende vloeimeters wat vir die berekening van vloeisnelheid gebruik is.

Gevolgtrekking

1. Met hierdie toets is waargeneem wat die effek van skuring om rotsblokke is.
2. Die erosie konsentrasie om die klipslag versnel die erosieproses.
3. Twee metodes van snelheidbepaling is gebruik nl:
 - * Stuwal metode (Foto 18)
 - * Roterende vloeimeter metode (Foto 19)Die stuwal metode is meer effektief.
4. 'n Verplasingmeter (Foto 20) is gemaak sodat die erosie makliker gemeet kan word.

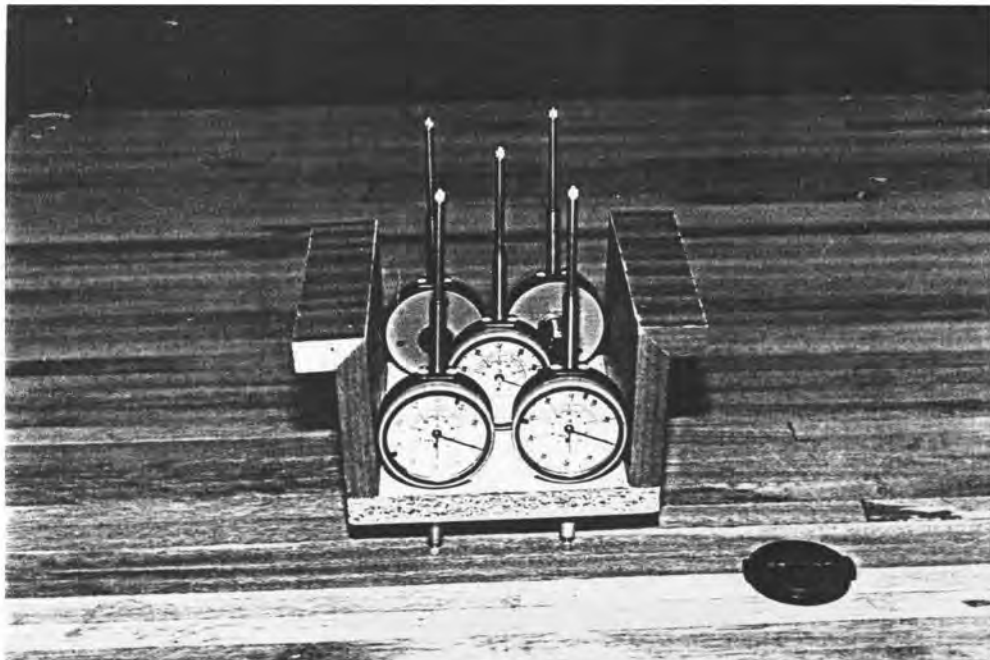
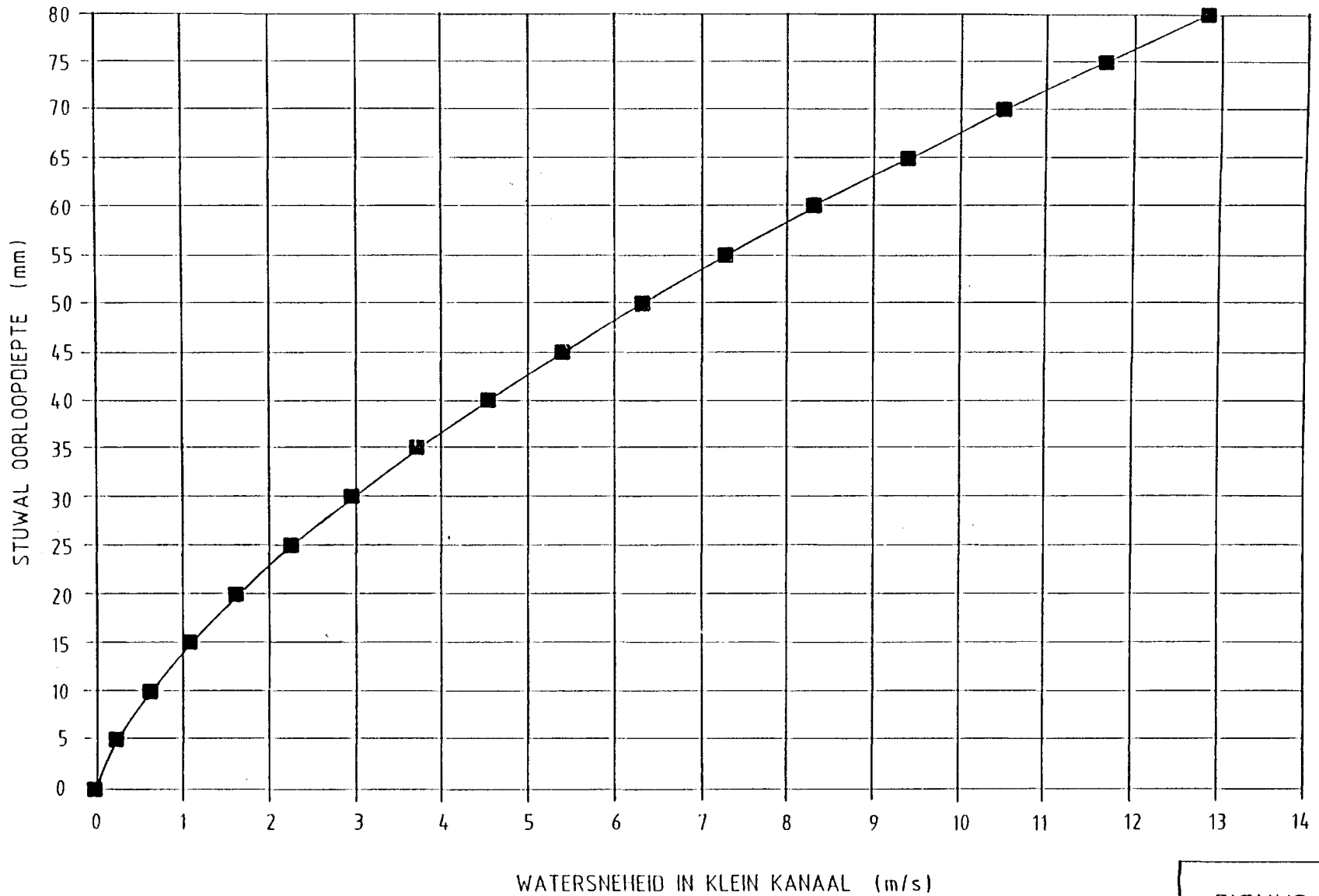


FOTO 20 : Verplasingmeters wat die erosie van die monsters op 5 punte meet.

HOOGTE OOR STUWAL VS SNEIHEID IN KLEIN KANAAL



FIGUUR 7.

4.2.6 TOETS 6

Die klein perspex kanaal is aangepas sodat watersnelhede van tot 8 m/sek verkry kan word. Om 'n vergelyking te kan tref tussen die verskil in erosie van laer en hoër snelhede is die gewone klei-grond mengsels weer getoets. Drie mengsels is gebruik nl. 15% klei, 30% klei en 40% klei. Baie probleme is ondervind met die verhoogde snelhede. Die drukking van die water is te groot vir die perspex kanaal. 'n Sterker kanaal is vervaardig.

4.2.7 TOETS 7

Vloeisnelhede van minstens 4 - 10 m/sek is nodig om noemenswaardige erosie op die monsters te laat plaasvind. Die swakste monster wat in waterkanaaltoets 7 en 8 gebruik is, is 'n mengsel van 15% klei (Culbond "N") en 85% Jakobsdalsand. Die 15% kaolien monster vir waterkanaaltoets 9 is egter nog swakker as die 15% culbond monster. 'n Maksimum snelheid van 4,5 m/sek is met die vorige kanaal gekry. Met die nuwe kanaal (Foto 14) is 'n maksimum snelheid van 10 m/sek verkry.

Die groter drukke, wat gepaard gaan met die hoër snelhede, word deur die nuwe kanaal goed hanteer. 'n Stewige koppeling tussen die uitlaatpyp en die kanaal was nodig sodat die uitlaatpyp nie kan terugskop nie. Die groter snelhede is verkry deur die deurvloeiarea te verklein. Die opening is ± 10 mm groot. Die kanaal is ook nouer as die vorige kanaal sodat die monsters, wat 150mm breed is, presies in die kanaal kan pas. Hierdie kanaal is 'n groot verbetering op die vorige kanaal. Verplasingmeters is in 'n vorm geplaas wat presies oor die kanaal pas sodat erosiemetings makliker en vinniger geneem kan word (Foto 20).

Waterkanaaltoets 7, 8, 9 en 10 is in hierdie nuwe kanaal uitgevoer. Met waterkanaaltoets 7 is die monsters by optimum voggehalte en maksimum droë digtheid getoets. Daar word na hierdie toets as die droë toets verwys. Met waterkanaaltoets 8 is die monsters vir 1 - uur versadig en daarna getoets. Dit is gedoen om te sien of hierdie water versadiging 'n verskil in erosietempo gee. Daar word na hierdie toets as die nat toets verwys. Die toetse van waterkanaaltoets 9 (kaolien monsters) is op dieselfde manier as waterkanaaltoetse 7 en 8 gedoen.

Opstelling

Die nuwe kanaal kan net een monster op 'n slag toets. Die kanaal is getoets en die erosietempo van groter watersnelhede is waargeneem. Ses verskillende monsters is getoets nl:

1. 15% klei inhoud (Culbond)
2. 23% klei inhoud (Culbond)
3. 30% klei inhoud (Culbond)
4. 30% klei inhoud (Culseal)
5. 40% klei inhoud (Culbond)
6. 60% klei inhoud (Culbond)

Jakobsdalsand is weereens as primêre materiaal gebruik. In al die toetse is daar van drie snelhede gebruik gemaak. Hierdie snelhede is vir 20 min elk geloop. Elke toets duur dus een uur. Vloei A = 4 m/sek., vloei B = 6 m/sek. en vloei C = 10 m/sek.

Verwerking van data

Die verwerking van die data vir toets 7 is soos volg gedoen. Vyf lesings per monster, is voor die toets met die verplasingmeters geneem (Lesing voor). Na elke vloei (vloei A, B en C) is erosielesings geneem. Die gemiddelde, wat op drie verskillende maniere (Tabel 21) uitgewerk is, van hierdie vyf waardes dui die kumulatiewe erosie na elke vloei aan. Een van die drie gemiddelde erosie waardes is gekies wat die erosie die betroubaarste verteenwoordig. Grafieke (Figuur 8 en 9) is van die data opgestel sodat die erosie maklik vergelyk kan word met mekaar. Tabel 21 gee die data wat vir die opstel van die grafieke gebruik is aan.

'n Gemiddelde uitskieterwaarde (Gem. Uitskiet.), gemiddelde mediaan waarde (Gem. Mediaan) en rekenkundige gemiddelde (Gem. Rek.) is bereken (Tabel 21 en 22). Die drie waardes is met mekaar vergelyk en een metode is gekies om 'n enkele gemiddelde waarde te kry (X-AS Med.). Hierdie enkele waarde is vir die opstel van die grafieke gebruik. Ekstrapolasie is gebruik waar die hele monster weg erodeer het voordat die 1 uur verby was.

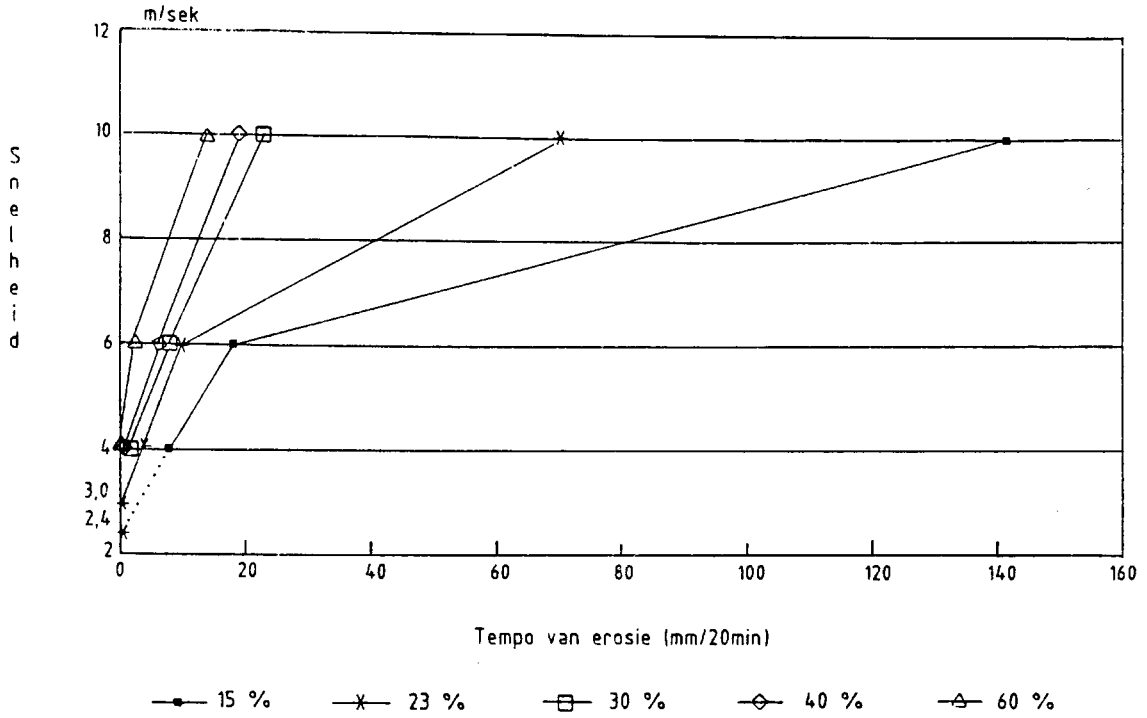
Figuur 8 vergelyk die kumulatiewe erosie van die vyf monsters met mekaar. Die laaste drie monsters is baie naby mekaar op Figuur 8. Figuur 9, met die laaste drie monsters geplot, is opgestel sodat die drumpelwaarde meer akkuraat bepaal kan word.

TABEL 21 - Data vir Figuur 8 en 9

WATERKANAALTOETS 7 - IN-SITU "DROOG" TOETS				
Y - AS SNELHEID	GEM. UITSKIET.	GEM. MEDIAAN	GEM. REK.	X - AS MED.
TOETS 7.1 - 15% MONSTER - KUMULATIEWE EROSIE				
4	8,07	8,49	8,39	8,49
6	15,99	18,18	20,36	18,18
10 (6min)	50,0	50,0	50,0	141,67*
TOETS 7.2 - 23% MONSTER - KUMULATIEWE EROSIE				
4	3,24	3,54	3,48	3,54
6	8,95	10,03	10,75	10,03
10(13min)	50,0	50,0	50,0	70,55*
TOETS 7.3 - 30% MONSTER - KUMULATIEWE EROSIE				
4	1,53	1,36	1,49	1,36
6	7,33	8,14	7,66	8,14
10	19,34	23,98	25,49	23,98
TOETS 7.4 - 30% MONSTER - KUM. EROSIE (CULSEAL)				
4	13,54	12,47	13,4	12,47
6	16,97	30,18	21,7	30,18
10 (8 min)	50,0	50,0	50,0	90,0*
TOETS 7.5 - 40% MONSTER - KUMULATIEWE EROSIE				
4	0,44	0,66	0,66	0,66
6	6,59	5,68	6,18	5,68
10	15,61	20,68	21,2	20,68
TOETS 7.6 - 60% MONSTER - KUMULATIEWE EROSIE				
4	0,01	0,05	0	0,05
6	1,65	1,95	2,71	1,95
10	14,36	12,88	14,5	12,88

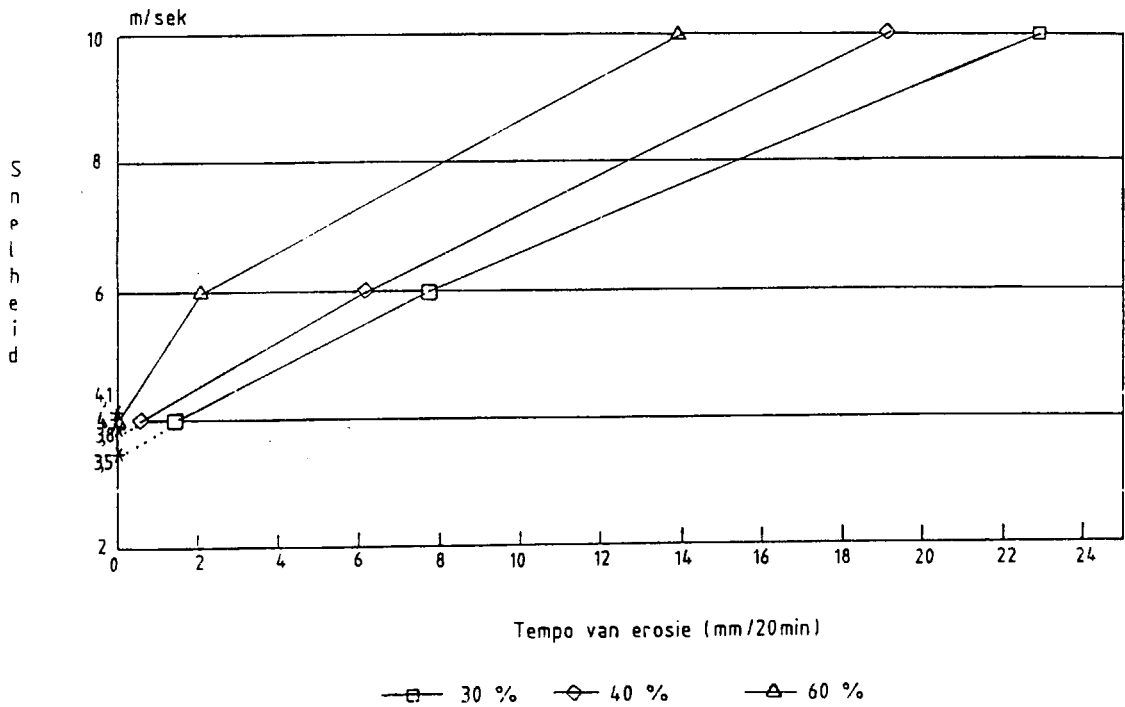
* - Ekstrapolasiewaarde

TEMPO VAN KUMULATIEWE EROSIE (mm / 20 min)



FIGUUR 8.

TEMPO VAN KUMULATIEWE EROSIE (VERGROTE X-AS SKAAL) (mm / min)



FIGUUR 9.

Opsomming

1. Waterkanaaltoets 7 behels die toets van ses monsters met verskillende klei persentasies nl:

1. 15% Culbond
2. 23% Culbond
3. 30% Culbond
4. 30% Culseal
5. 40% Culbond
6. 60% Culbond

Die primêre bestanddeel is Jakobsdalsand.

2. Die monsters is almal by optimum voggehalte of in - situ getoets. Hierdie toets word as "droog" geklassifiseer.
3. Grafieke is opgestel om die toetse met mekaar te kan vergelyk.
4. Drie vloeisnelhede is gebruik nl. vloei A - 4m/sek., vloei B - 6m/sek. en vloei C - 10m/sek.
5. Die drumpelwaarde (snelheid waar erosie begin) vir elk van die monsters is as volg:

1. 15% - Culb. - 2,4m/sek. (Figuur 8)
2. 23% - " - 3,0m/sek. (Figuur 8)
3. 30% - " - 3,5m/sek. (Figuur 9)
4. 40% - " - 3,8m/sek. (Figuur 9)
5. 60% - " - 4,1m/sek. (Figuur 9)

6. Figuur 8 toon die erosietempo van die 30% klei monster aan. Die erosietempo van die culbond droog en culbond nat is baie na aan mekaar. Die erosietempo van die culseal is egter baie vinniger as die culbond.

4.2.8 TOETS 8

Hierdie toets is 'n vervolg van waterkanaaltoets 7. Al die monsters is weer getoets behalwe die Culseal monster. Voordat die monsters vir erosietempo getoets is, is die monsters vir 1 uur onder water versadig. Die monsters is in die kanaal, soos opgestel vir toetsing, met water versadig. Hierdie toets staan bekend as die "nat" toets. Die volgende monsters is getoets:

1. 15% klei (Culbond)
2. 23% klei (Culbond)
3. 30% klei (Culbond)
4. 40% klei (Culbond)
5. 60% klei (Culbond)

Die monsters is presies dieselfde as die vorige monsters gemaak. Dieselfde metode van toetsing is ook gebruik. Die berekeninge is dieselfde as by waterkanaaltoets 7. Die rou data kan in Aanhangsel E nagegaan word. Slegs die 15% monster toon 'n noemenswaardige verskil in erosietempo by optimum en versadiging. Tabel 22 toon die waardes vir die nat toets aan.

Die water dring nie die monster na 1 uur binne om die monster versadig met water te maak nie. 'n Langer versadigings tydperk is nodig of versadiging onder druk moet toegepas word.

TABEL 22

WATERKANAALTOETS 8 - 1 UUR VERSADIG "NAT" TOETS				
Y - AS SNELHEID	GEM. UITSKIET.	GEM. MEDIAAN	GEM. REK.	X - AS MED.
TOETS 8.1 - 15% MONSTER - KUMULATIEWE EROSIE				
4	7,99	7,20	7,38	7,20
6	23,35	28,68	22,57	28,68
10 (2min)	50	50	50	205,0*
TOETS 8.2 - 23% MONSTER - KUMULATIEWE EROSIE				
4	2,19	2,11	2,44	2,11
6	7,39	5,78	6,75	5,78
10	23,78	24,08	20,42	24,08
TOETS 8.3 - 30% MONSTER - KUMULATIEWE EROSIE				
4	1,02	1,36	1,26	1,36
6	5,82	6,55	5,84	6,55
10	19,29	17,75	21,64	17,75
TOETS 8.4 - 40% MONSTER - KUMULATIEWE EROSIE				
4	5,10	4,32	4,58	4,32
6	16,73	15,02	15,04	15,02
10	26,15	27,64	30,92	27,64
TOETS 8.5 - 60% MONSTER - KUMULATIEWE EROSIE				
4	7,46	7,12	8,13	7,12
6	12,76	14,97	13,88	14,97
10	24,36	31,51	28,26	31,51

* - Ekstrapolasiewaarde

Opsomming

- Waterkanaaltoets 8 behels die toets van vyf monsters wat versadig is met water:
 - 15% Culbond
 - 23% Culbond
 - 30% Culbond
 - 40% Culbondi (2x)
 - 60% Culbond
- Die monsters is almal eers vir 1 uur onder water laat lê en daarna getoets. Hierdie toets word as die "nat" toets geklassifiseer.
- Slegs die 15% monster toon 'n noemenswaardige verskil in erosietempo tussen optimum en versadigde toestande.
- Die monsters moet langer versadig word of versadiging moet onder druk plaasvind sodat die water die monster kan binnedring.

4.2.9. TOETS 9

Nadat die Bentoniet-Culbond "N" monsters in WKT 7 en 8 getoets is, is kaolien monsters ook op dieselfde manier getoets. Die kaolien monsters is baie swakker as die bentoniet monsters met dieselfde klei inhoud en die 15% kaolien monster het verbrokkel met hantering sodat die nat toets nie eens uitgevoer is nie.

Die Proctor waardes van drie van hierdie monsters is bepaal. Elke monster se maksimum droë digtheid en optimum voginhoud is bepaal.

Opsomming

1. WKT 9 behels die "droog" toets van vyf kaolien monsters nl:
 1. 15% - Kaolien
 2. 23% - Kaolien
 3. 30% - Kaolien
 4. 40% - Kaolien
 5. 60% - Kaolien
2. Die monsters is baie swak en totale erosie van al die monsters vind plaas. Die 60% kaolien monster is swakker as die 15% bentoniet monster.
3. Die kaolien mengsels kan gebruik word wanneer baie lae vloeisnelhede gebruik word (< 4m/sek.).

4.2.10 TOETS 10

Nadat WKT 7 en 8 voltooi was, het dit nodig geblyk om toetse wat oor 'n lang tydspanne strek, aan te pak. Die drumpelwaardes (snelheid waar erosie begin) van elke monster is met Waterkanaaltoets 7 bereken. In WKT 10 is die monsters by hul drumpelwaarde vir 8 ure lank getoets. Lesings is ook geneem sodat 'n grafiek van erosie teen tyd opgestel kon word. Slegs vier monsters is getoets omdat die 30 en 40% monsters se drumpelwaarde naby aan mekaar is.

Opstelling

WKT 10 behels die toets van vier Culbond "N" monsters by hul drumpelwaarde vir 8 ure lank. Die snelheid is eers met behulp van 'n meetplaat wat in die kanaal geplaas is verkry. Daarna is die monster in die kanaal geplaas en vir 8 ure lank getoets. Die rou data van die toetse word in Aanhangsel E weergegee.

Verwerking van data

Die data is op dieselfde wyse as in die vorige waterkanaaltoetse verwerk. Tabel 23 gee die data wat vir die opstel van Figuur 10 gebruik is aan. Daar is weer drie waardes gekry nl. 'n gemiddelde uitskietewaarde, rekenkundige gemiddelde en 'n mediaan waarde. Hierdie drie waardes is met mekaar vergelyk en die akkuraadste metode is gebruik sodat 'n enkele verteenwoordigende erosie waarde gekry kon word wat op die Y-as van Figuur 10 gestip is. Die gemiddelde mediaan waarde is gebruik. Die X-as op Figuur 10 is die tyd in ure gemeet.

TABEL 23 - Data vir Figuur 10

X-AS TYD(ure)	GEM. UITSKIET	GEM. REK.	GEM. MEDIAAN	Y-AS MED (mm)
TOETS 10.1 - 15% (2,4 m/sek.)				
1	4,73	3,96	4,35	4,35
2	8,09	6,95	8,14	8,14
4	11,43	13,28	11,52	11,52
6	16,84	19,18	16,25	16,25
8	26,88	24,36	24,02	24,02
TOETS 10.2 - 23% (3,0 m/sek.)				
2	3,41	4,09	3,49	3,49
4	6,51	5,87	5,58	5,58
6	7,75	6,93	7,06	7,06
8	9,17	8,29	8,59	8,59
TOETS 10.3 - 40% (3,8 m/sek.)				
1	1,42	1,53	1,50	1,50
2	2,61	2,41	2,45	2,45
4	3,52	3,34	3,39	3,39
6	4,61	4,38	4,51	4,51
8	5,08	5,31	5,44	5,44
TOETS 10.4 - 60% (4,1 m/sek.)				
2	2,75	2,95	2,89	2,89
8	13,03	10,92	11,30	11,30

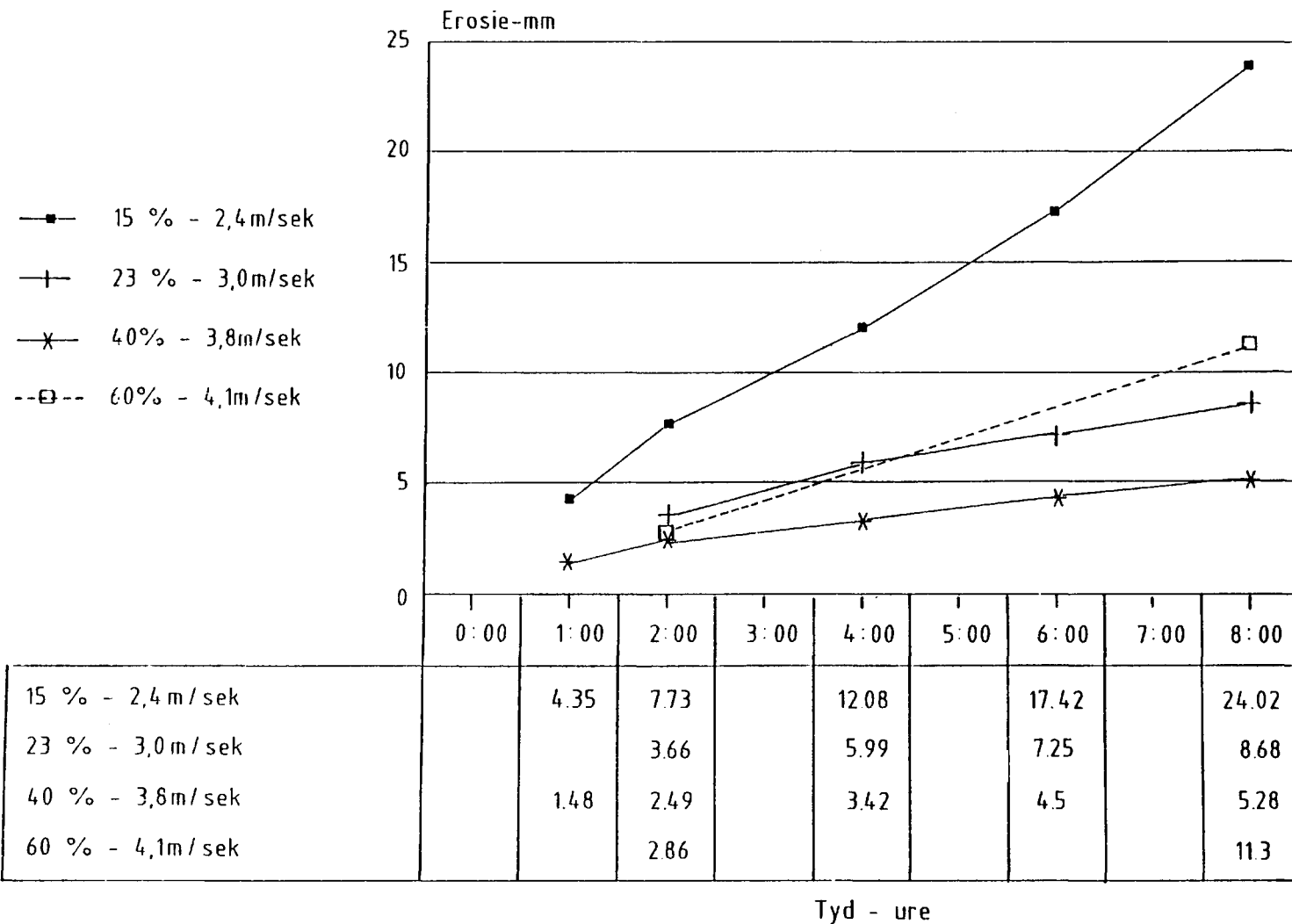
Opsomming

1. Vier monsters is vir 8 ure lank by hul drumpelwaarde getoets:
 1. 15% - 2,4 m/sek
 2. 23% - 3,0 m/sek
 3. 40% - 3,8 m/sek
 4. 60% - 4,1 m/sek

2. Figuur 10 is die resultaat van hierdie toets.

4. Die 15, 23 en 40% monsters se erosietempo is soos dit verwag is. Die 60% monster se erosietempo is meer as die 40% monster. Die 60% erosietempo is amper dieselfde as die 23% erosietempo.

EROSIETEMPO BY DRUMPELWAARDE



FIGUUR 10.

4.3 OPSOMMING EN GEVOLGTREKKINGS

Met die modeltoetse is daar gepoog om so na as moontlik die materiaal wat in die natuur voorkom te simuleer en in 'n waterkanaal vir erosiepotensiaal te toets. Verskillende mengsels wat van verskillende materiale gemaak is, is gebruik om hierdie monsters vir kanaal toetse te maak. Die primêre bestanddeel is windvervoerde fynkorrelrige sand van die Jakobsdal omgewing met die volgende eienskappe:

Voggehalte:	10%
Droë digtheid:	1 942 kg/m ³
Wrywingshoek:	30,3°
Kohesie:	15 kPa

Bindmateriale soos kalk, sement, bentoniet en kaolien is gebruik. Vierkantige monsters is gemaak (150 * 150 * 50 mm) vir die modeltoetse. Digthede en voginhoud is van Proctor toetse gekry. Van hierdie materiale is eers aan sekere indekstoetse blootgestel. Dit is gedoen sodat laboratorium materiaal met naatvulmateriaal in die natuur vergelyk kan word en ook sodat die modelmateriale in terme van sterkte geklassifiseer kan word.

Byvoeging van kalk en sement veroorsaak dat die modelmateriaal te sterk is om teen snelhede van minder as 4 m/sek. in die kanaal te erodeer. Byvoeging van minder as 10% bentoniet veroorsaak dat die monsters te swak is om te hanteer. Derhalwe is alle toepaslike toetse op monsters met 15 - 60 % bentoniet as bindmiddel uitgevoer.

'n Uitgebreide toetsprogram met verskeie kanaaltoetse is uitgevoer. Waterkanaaltoets 1 en 2 was toegespits op die toetsing van die waterpomp, vloeikanaal asook die opstelling met die monsters in die kanaal.

Met waterkanaaltoets 3 is vyf 23 % bentoniet monsters getoets. Die effek van onreëlmatighede is met hierdie opstelling getoets. Die monsters is trapsgewys in die kanaal geplaas. Maalkolke het ontstaan waar die onreëlmatighede voorkom en het intensiewe erosie veroorsaak.

Naatstelle in rots met klei as vulmateriaal is nageboots in waterkanaaltoets 4. Kleiteëls, wat rots voorstel, is gesny en in die kanaal geplaas met verskillende oriëntasies. Drie toetse is uitgevoer nl.

- * Nate met geen vulmateriaal
- * Nate met sand as vulmateriaal
- * Nate met klei as vulmateriaal

Kohesiewe materiaal bind die nate as 'n eenheid vas en min erosie vind plaas. Indien geen vulmateriaal aanwesig is nie, speel die styfheid van die nate in die rotsmassa 'n rol. Erosie vind moeiliker plaas as die nate baie styf is. Sand as vulmateriaal het geen bindsterkte nie en vinnige erosie vind plaas. Sand as vulmateriaal het geen bindsterkte nie en vinnige erosie vind plaas.

Die bentoniet is ook met aggremaat gemeng en in die kanaal getoets vir waterkanaaltoets 5. Die meganisme van erosie was hier van belang. Skuring vind om die ontblote aggremaat plaas wat tot groter erosie lei.

Vir waterkanaaltoetse 7, 8, 9 en 10 is 'n sterker vloeikanaal gebou wat snelhede tot 10 m/sek. kon hanteer. Die bentoniet monsters (15, 23, 30, 40 en 60 %) is vir toetse 7 en 8 gebruik. Na elke 20 min. is die erosiediepte gemeet en die snelheid verander. Die drie vloeisnelhede wat gebruik is, is 4, 6 en 10 m/sek. Elke snelheid is vir 20 min. volgehou en die erosie is gemeet. Met toets 8 is die monsters vir 1 uur met water versadig voordat die toets uitgevoer is. Hierdie versadiging het geen effek op die erosie gehad nie omdat die water nie die monster binne 1 uur kan binnedring nie.

Afleidings

Die eerste beginsel wat vasgestel is, is die begrip van weerstandsgrens vir verskillende sterktes materiaal. Erosie begin waar die vloeisnelheid groot genoeg is om in terme van skuifspanning en turbulente drukfluktuasies hierdie weerstandsgrens te oorskry. Vir elke materiaalsterkte is daar dus 'n kritiese vloeisnelheid waarbeneede geen erosie plaasvind nie. Hierdie weerstandsgrens word ook die drumpelwaarde genoem. Die drumpelwaarde van die vyf monsters word op Figure 8 en 9 getoon. Tabel 21 en 22 is die data waarvan hierdie figure opgestel is.

Sodra hierdie drumpelwaarde oorskry word, neem die erosietempo ongeveer eweredig met vloeisnelheid toe. Hierdie drumpelwaarde is slegs afhanklik van materiaalsterkte (ongeveer omgekeerd eweredig). Die erosie is ook nie uniform oor die oppervlak van die monster nie, maar word gekenmerk deur slootjies en gaatjies wat gevorm word. Die oppervlak word al hoe meer onegalig as gevolg van turbulente werwels en selfs die maalaksie van die losgemaakte materiaal op die oorblywende vaste matriks. Hoewel eweredig met tyd oor 'n lang tydperk, vind die erosie in skielike en spasmodiese stappe plaas.

Vier bentoniet (Culbond N) klei monsters is vir 8 ure lank by hul drumpelwaarde (snelheid) getoets (Waterkanaaltoets 10).

1. 15% klei - 2,4 m/s
2. 23% klei - 3,0 m/s
3. 40% klei - 3,8 m/s
4. 60% klei - 4,1 m/s

Die erosiediepte (mm) is gemeet (Tabel 23) en op 'n grafiek (Figuur 10) gestip. Die 15, 23 en 40% monster se erosietempo is goed korreleerbaar met sterkte. Die 60% monster se erosietempo is dieselfde as die 23% monster uit grafiek 10. Dus die 60% monster is swakker as die 40% monster wat op sy beurt die sterkste is.

Kaolien, wat 'n nie aktiewe klei is, is ook beproef. Hierdie monsters was egter te swak om gebruik te word.

5. VELDWERK

5.1 Inleiding

Damme in die Transvaal, Natal en Kaap Provinsie is vir evaluering en beskrywing van die erosie in die onbelynde oorlope, besoek. Die doel van die veldwerk was om data van rotsmassas waar erosie plaasgevind het, in te samel en ook die meganisme en oorsaak van erosie te bestudeer. Gedurende die navorsingstydperk is in totaal nege en twintig damme besoek waarvan vloedata van slegs agttien damme verkry kon word.

Tydens die veldbesoeke is die volgende data versamel:

1. Algemene geologie
2. Beskrywing van diskontinuiteite
 - oriëntasie
 - wandskeiding
 - vulmateriaal
4. Meet van Schmidthamer waardes op rotsmateriaal
5. Identifiseer verskillende erosiepunte in erosiesones.
6. Inwin van data vir Kirsten uitgraafbaarheidsklassifikasie
7. Opmeet van lengtesnit waar die meeste water vloei
8. Neem foto's vir 'n foto databank

Erosiesones is geïdentifiseer in die oorloopkanale deur na die geologie, erosieskade, kanaal gradiënt, diskontinuiteite en tipe watervloei te kyk. In die erosiesones is erosiepunte (Ex) geïdentifiseer waar naatopnames geneem is en die rots volgens Kirsten se uitgraafbaarheidsklassifikasie stelsel beskryf is. Daar is nie in al die erosiesones erosiepunte beskryf nie omdat sommige erosiesones uit vervoerde materiaal bestaan of waar geen nate in intakte rots waarneembaar is nie. Foto's is van al die erosiepunte geneem en in interim verslae gedokumenteer.

Tabel 1 (Hoofstuk 1) gee besonderhede oor die agtien damme waarvoor vloedata beskikbaar is.

Tabel 24 is 'n opsomming van al die damme waarvoor geen vloedata bestaan nie. Die meganisme van erosie is wel van belang by hierdie damme.

5.2 BESKRYWING VAN DAMME SONDER VLOEIDATA

5.2.1 Arieskraaldam I

Arrieskraaldam I is 'n 17 m hoë grondvuld dam met 'n kruinlengte van 142 m wat in 1952 voltooi is. Dit voorsien water vir besproeiingsdoeleindes. Die dam is in die Huisrivier, op die plaas Arieskraal, 5 km suid van Grabouw geleë.

Die dam is op geel tot rooibruien sliesteel en skalie van die Bokkeveld Groep, Kaap Supergroep gebou. Die onbeheerde onbelynde oorloopkanaal, is teen die regterflank van die dam geleë. Die wydte van die kanaal is 21,3 m. Geen tekens van erosie kom in sliesteel en skalie in die kanaal voor nie.

Hierdie dam toon geen ontblote rots in die oorloop nie en sal heelwaarskynlik nie verder erodeer as wat tans die geval is nie. Retrogressiewe erosie kan wel met 'n groot vloed plaasvind.

TABEL 24 - Opsomming van damme sonder vloedata

Damnaam	Naaste Dorp	Oorloopgedeelte	
		Tipe	Beskrywing
Arieskraaldam I	Grabouw	RF kanaal Onbeheerde	Hoogs verw. mat. Geen vloedata.
Arieskraaldam II	Grabouw	RF kanaal Onbeheerde	Geen erosie. Harde kw/sst.
Bevensondam	Vryheid	RF kanaal Onbeheerde	Verw. tilliet. Geen vloedata.
Ida's Valleydam	S/bosch	RF geut Onbeheerde	Verw. materiaal. Geen vloedata.
Koos Reubenheimerdam	Oudtshoorn	RF sykanaal Onbeheerde	Min water vloei oor gebied.
Melvilledam	Oudtshoorn	RF kanaal Onbeheerde	Baie erosie. Geen vloedata.
Morgenstonddam	Amsterdam	RF kanaal Noodloop	Nuwe oorloop. Geen vloei.
Nagledam	Cato Ridge	Beheerde nood, stroomop	Baie goeie rots.
Nuwebergdam	Grabouw	RF kanaal Onbeheerde	Toon erosie. Geen vloedata.
Steenbrasdam - Hoër	Grabouw	LF kanaal Onbeheerde	Geen erosie.
Steenbrasdam - Laer	Grabouw	Vryval	Die gebied strmaf is belyn.

5.2.2 Arieskraaldam II

Arrieskraaldam II is 'n 29 m hoë beton boogdam met 'n kruinlengte van 122 m wat in 1967 voltooi is en water vir besproeiingsdoeleindes voorsien (Foto 21). Die dam is in die Palmietrivier, 14 km suid van Grabouw geleë.



FOTO 21 : Arrieskraaldam II - Noodoorloop teen regterflank

Die middellyn van die dam strek oor geplooië Nardouw Formasie sandsteen. Alhoewel die sandsteen 'n noordelike helling toon, is dit lokaal geplooi en gegolf. 'n Onbeheerde onbelynde oorloopkanaal, is teen die regterflank van die dam geleë. Daar is ook 'n oorvloei (vryval) oorloop oor die damwal. Die kanaal is 9,5 m breed en die oorvloei oorloop is 70 m breed.

Vandat die dam 26 jaar gelede voltooi is, het die rots in die oorloopkanaal met 4 m erodeer. Die erosie het plaasgevind as gevolg van kleigevulde nate in die rots. Die vulmateriaal is uitgewas en het tot swigting en erosie van die rots gelei. Tans het die erosie op 'n harde kwartsitiese sandsteenlaag gestabiliseer. Daar is reeds onderhoudswerk soos selektiewe opvulling van erosiepunte en oop nate met beton uitgevoer om verdere erosie te verhoed. Hierdie werk blyk suksesvol te wees.

5.2.3 Bevensondam

Bevensondam is 'n 21 m hoë grondvuld dam wat in 1988 voltooi is vir die Glückstadt Besproeiingsraad. Die dam is in die Mbizankulurivier, 'n sytak van die Swart Umfolozirivier naby Glückstadt in Natal geleë.

'n Onbeheerde onbelynde oorloopkanaal is teen die regterflank van die dam geleë. Die kanaal is ongeveer 50 m breed waarvan 'n 10 m breë seksie van variërende diepte deur erosie weggeveet is. Groot onkoste moet aangegaan word om hierdie gebied te herstel (Foto 22).

Kwartziet en skalie van die Mozaan Groep, Pongola Opeenvolging kom in hierdie gebied voor. Intrusiewe doleriet, wat hoogs erodeerbaar is en verweerde Dwyka tilliet van die Karoo Opeenvolging kom in die oorloopgedeelte voor.



FOTO 22 : Verweerde tilliet in oorloopkanaal van Bevensondam

Die volgende Schmidt hamer waardes is vir die gesteentes gekry:

Hoogs verweerde tilliet:	20 - 30
Onverweerde tilliet:	40
Middelmatig verweerde kwartsiet:	70

Die volgende indekstoetse is ook op die verweerde rots materiaal in die veld uitgevoer:

Boortoets (20 omwentelinge):

A)	Plat gedeelte - geen erosie:	10,6mm
	(verweerde bogrond)	15,0mm
		13,3mm
		10,0mm
		<u>10,8mm</u>
	Gemiddeld	11,9mm

Die materiaal hier is swak en retrogressiewe erosie kan plaasvind.

B)	Gedeelte waar erosie begin :	14,3mm
	(± 20m stroomaf - hoogs verweerde skalie)	14,3mm
		<u>12,6mm</u>
	Gemiddeld	13,7mm

'n Definitiewe skeiding tussen swakker en sterker materiaal kan hier waargeneem word.

C)	Gedeelte waar erosie al plaasgevind het :	7,6mm
	(± 40 m stroomaf - verweerde tilliet)	5,7mm
		7,8mm
		5,0mm
		<u>4,9mm</u>
	Gemiddeld	6,2mm

Hier het die sterker materiaal oorgebly nadat die ooriggende materiaal verwyder is.

Hierdie waardes is met die indekswaardes van die monsters wat in die laboratorium getoets is, vergelyk. Die materiaal in gebied A en B kan met die 23 - 40% culbond monster vergelyk word. Die ooriggende materiaal in gebied C kan met die 60% culbond monster vergelyk word.

5.2.4 Ida's Valleydam II

Ida's Valleydam is 'n 34 m hoë grondvuldiam met 'n kruinlengte van 310 m, wat in 1967 voltooi is. Dit voorsien water vir industriële en huishoudelike gebruik aan Stellenbosch. Die dam is in 'n sytak van die Kromrivier, naby Stellenbosch geleë.

Die dam is geleë in gesteentes van die Franshoek Formasie, Malmesbury Groep. Die gesteentes is hoofsaaklik moddersteen en mindere sandsteen. Die sedimentêre dagsome word omring deur die Stellenbosch pluton (Kaaip Granië Suite) wat weer op sy beurt in die noordelike gedeelte deur die Saldanha - Franshoek verskuiwingsone begrens word. Verskeie sub - parallelle verskuiwings en skuifskursones wat die hoof verskuiwings episode vergesel het, kom ook in die dam terrein voor.

Die oorloop teen die regterflank bestaan uit 'n geut met 'n ogee beheerstruktuur en 'n betonbelynde kanaal met 'n wipskoep aan die einde daarvan. Die wipskoep dissipeer die energie van die water en laat dit op hoogs verweerde granië val. Waar die water op die verweerde granië val, vind grootskaalse erosie plaas.

5.2.5 Koos Raubenheimerdam

Koos Raubenheimerdam is 'n 38 m hoë grondvuldiam met 'n kruinlengte van 235 m, wat in 1971 voltooi is. Dit voorsien water aan Oudtshoorn vir huishoudelike en besproeiings gebruik. Die dam is in die Klein Le Rouxrivier, ongeveer 30 km noord-noordoos van Oudtshoorn geleë.

Twee tipes oorlope word by hierdie dam aangetref nl. 'n regter oorloop en uitlaatonnel deur die wal en 'n onbeheerde onbelynde kanaal as hulpoorloop (Foto 23) teen die regterflank. Die kanaal oorloop teen die regterflank is van belang vir hierdie projek. Die kanaal is ongeveer 45 m breed en 30 m lank. Dit is in 'n goeie toestand en geen ernstige erosie het nog plaasgevind nie. Baie min water het egter nog in hierdie kanaal gevloei.

Sandsteen, kalksteen en skalie van die Matjiesrivier Formasie, Kango Subgroep, is die dominante gesteente in hierdie gebied. Op sommige uitgesoekte posisies, in die oorloop, is voorkomende aksies geneem deur beton op hoogs erodeerbare punte te giet. Die gebied kan moontlik intensief erodeer tydens 'n groot vloed. 'n Volledige beskrywende verslag (Pitsiou, 1990), asook foto's is van die oorloop beskikbaar.

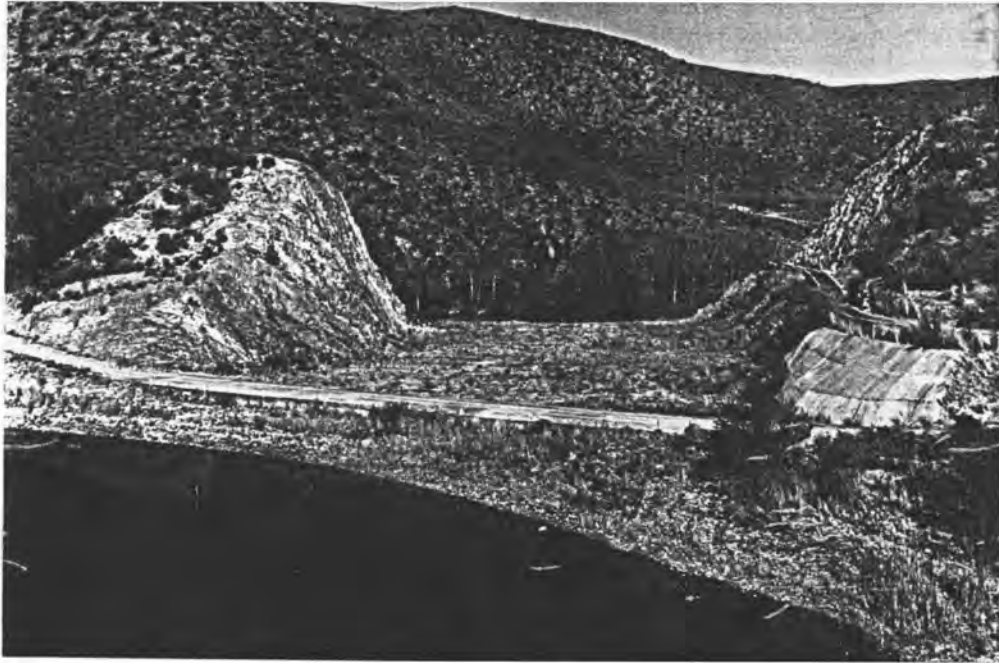


FOTO 23 : Hulpoorloop by Koos Raubenheimerdam

5.2.6 Melvilledam

Melvilledam is 'n 25 m hoë grondvuldam met 'n kruinlengte van 120 m, wat in 1942 voltooi is. 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 onbelynde kanaal wat in rots langs die regterflank van die dam gesny is. Die kanaal is ongeveer 120 m lank. Die oorloopkruin is van beton en die vloer van die kanaal is vir ongeveer 30 m belyn. Erosie kom slegs in die veldspatiese sandsteen aan die einde van die kanaal voor (Foto 24). Sedimentêre gesteentes van die Groenfontein en Matjiesrivier Formasies, Kango Groep, kom op hierdie terrein voor.



FOTO 24 : Erosie aan die einde van die oorloopkanaal by Melvilledam

5.2.7 Morgenstonddam

Dié grondvuldam is in die Ngwempisirivier, 15 km suidoos van Amsterdam, geleë. Die dam word gebruik om water vir huishoudelike en industriële doeleindes te voorsien. Die 44,5m hoë grondvuldam is in 1978 voltooi. Die dam het 'n beton oorloop met radiale hekke asook 'n onbeheerde noodoorloop met wegbreek dele (Foto 25). Die oorloopkanaal is gebou op effens- tot onverweerde, wyd genate gabbro.

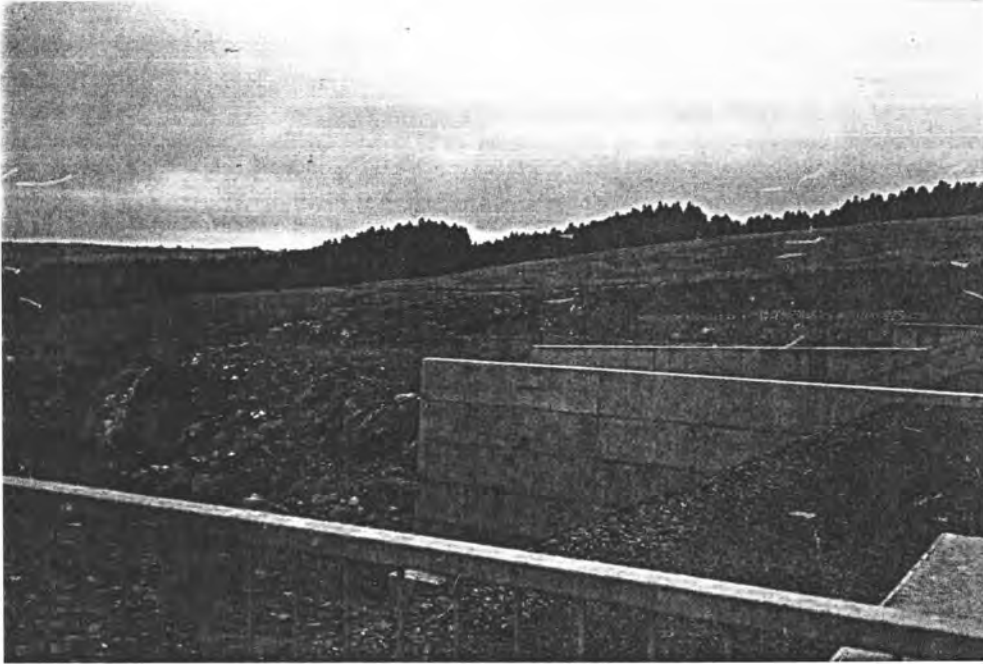


FOTO 25 : Noodoorloop wegbreek dele by Morgenstonddam.



FOTO 26 : Los rotsklippe bedek die vloer wat tot skuring kan lei tydens 'n vloed.

Die gesteentes wat die gebied beslaan is graniet en gabbro en daar kom ook doleriet gange voor. Die gesteentes is intens genaat en die nate is oop. Los grond en rots bedek die in - situ rots in die oorloop (Foto 26) sodat swak sones in die bodemrots nie waargeneem kan word nie. Rotsblokke is in die oorloop geplaas sodat dit mooi afgewerk vertoon. Hierdie rotsblokke sal skuring tydens 'n vloed veroorsaak wat die erosieproses sal verhoog.

Die gebied stroomaf van die wegbreek oorloop is baie verweer en erosie sal ook hier plaasvind indien water oor hierdie gebied vloei. Die graniet verweer sferoïdaal en kernstene kom voor.

5.2.8 Nagledam

Nagledam is 80 km noordwes van Durban en 22km noord van Cato Ridge in die Umgenirivier in Kwa Zulu geleë. Konstruksie van die dam is in 1939 begin en in 1950 voltooi. Die hoofdam is 'n beton swaartekragwal wat 393m lank en 58m hoog is. Die wal het 'n ogee tipe oorloop wat 122m lank is. Stroomverdelers kom op die stroomafkant van die oorloop voor. 'n Komvormige skort area beskerm die toon van die dam teen erosie.

Die afkeer werke bestaan uit 'n stuwal, beheerhekke en 'n vloedbeheer snit. Die vloedbeheer snit gaan deur onverweerde soliede gneis. Met hierdie afkeer werke kan 'n vloed afgekeer word sodat slikbelaaiete water nie in die hoofdam vloei nie.

Die rotsbodem van die vloedbeheer snit bestaan uit onverweerde grys gebande biotiet en hornblendende biotiet gneis van die Mapumulo Metamorfe Groep (Foto 27).



FOTO 27 : Nagledam - onverweerde kanaalvloer in noodoorloop

Die rots toon wyd gespasiëerde nate. die nate is baie dig en besit min tot geen naatvulmateriaal. Die nate toon 'n sub - vertikale tot vertikale helling wat die binnedring van water en uitwas van materiaal bemoeilik. Onreëlmatighede in die rots is met beton gevul en gelyk gemaak.

Slegs kleinskaalse erosie het by die vloedbeheer snit plaasgevind. Die volgende faktore is verantwoordelik dat so min erosie plaasgevind het:

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

5.2.9 Nuwebergsdam

Nuwebergsdam is 'n 23 m hoë grondvuldams met 'n kruinlengte van 762 m wat in 1972 voltooi is. Dit voorsien water vir besproeiingsdoeleindes. Die dam is in die Palmietrivier naby Grabouw geleë. 'n Onbeheerde onbelynde kanaal oorloop kom teen die regterflank van die dam voor (Foto 28). Die kanaal is 26,4 m breed. Kleinskaalse erosie kom in die oorloopkanaal voor.

Teen die linker- en regterflanke van die dam kom gesteentes van die Peninsula Sandsteen Formasie, Tafelberg Groep, voor. 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. Daar is grofkorrelrige sandsteen en fynkorrelrige kwartsitiese sandsteen in die gebied. Kwartsare kom algemeen in dié gesteente voor wat aandui dat die oorloop gebied in 'n verskuiwingsone geleë is. Die rots is middelmatig tot intens genaat.



FOTO 28 : Kanaaloorloop teen regterflank van Nuwebergsdam

Los rotsblokke is erodeer en slegs die harde, intakte rots, bly oor. Die harde rots is wel intens genaat, maar al die nate is styf, wat meebring dat grootskaalse erosie nie plaasvind nie.

5.2.10 Boonste Steenbrasdam

Boonste Steenbrasdam is 'n 34 m hoë grondvuldiam met 'n kruinlengte van 940 m wat in 1977 voltooi is. Dit voorsien water aan Kaapstad. Die dam is in die Steenbrasrivier in die Hottentots Hollandberge bo Gordons Baai geleë.

Die onbeheerde onbelynde oorloop kanaal kom teen die linkerflank van die wal voor (Foto 29). Die oorloop kanaal is 70 m breed. Minimale erosie het hier plaasgevind.

Die damterrein word deur gesteentes van die Nardouw Formasie, Tafelberg Group en Bokkeveld Groep beslaan. Die oorloop kanaal word deur sandsteen van die Nardouw Formasie beslaan. Die onderpunt van die oorloop gaan oor in skalie en slijksteen van die Bokkeveld Groep.



FOTO 29 : Onbelynde kanaaloorloop van Boonste Steenbrasdam

Die gesteentes van die Nardouw Formasie wissel van dun gebande sandsteen tot massiewe gebande kwartsiet. Kruis-gelaagdheid kom in die gesteentes voor. Die rots is intens genaat en kubiese rotsblokke is die gevolg van die genaatheid. Al die nate in die omgewing hel sub vertikaal tot en met 45°. Die gelaagdheid hel 45° stroomaf met skalie/kaoliniet as vulmateriaal en loodreg ten opsigte van die water vloeirigting. Min water het nog oor hierdie gebied gevloei en die kanaal is uitgegrawe tot goeie kwaliteit rots.

5.2.11 Laer Steenbrasdam

Laer Steenbrasdam is 'n 28 m hoë gravitasie- en boogdam met 'n kruinlengte van 412 m. Dit voorsien water aan Kaapstad (Foto 30). Die dam is in die Steenbrasrivier in die Hottentots Hollandberge bo Gordons Baai geleë. Hierdie dam is net stroomaf van Boonste Steenbrasdam geleë. Die dam is oorspronklik in 1921 voltooi en met 12,27 m in 1927 en weer met 1,98 m in 1954 verhoog.

Die oorloop is 'n onbeheerde vryval oorloop wat 67,7 m breed is met 'n stroomaf betonbelynde skort. Die betonbelynde skort is in 1927, tydens die verhoging van die damwal, gebou om erosie te verhoed. Stroomaf van die skort is harde genate rots wat geen tekens van erosie toon nie. Die boogdam is op intens geplooiende en genate Nardouw Formasie sandsteen gebou.



FOTO 30 : Laer Steenbrasdam

5.3 DAMME MET VLOEIDATA

Tabel 1 in Hoofstuk 1 lys die 18 damme wat vir detail ondersoek geselekteer is. Met die besoek aan die damme is erosiesones en erosiepunte geïdentifiseer en beskryf. Erosiesones is van mekaar onderskei deur hul helling, naatvlakke, geologie en mate van erosie te ondersoek. By sommige damterreine is meer as een erosiepunt waar die rots beskryf en naatopnames gedoen is. In Aangangsel F kan die data van die verskillende naatstelle by elke erosiepunt nagegaan word.

Algemene planne van die damme en oorlope is geteken. Waar moontlik is opmetings gedoen sodat lengtesnitte, wat die profiel van die oorloopgedeelte aantoon, opgestel kon word. Die helling van die kanale is nodig sodat die spesifieke drywing vir verkillende vloëitempos (Hoofstuk 6) bereken kan word.

Op die planne en/of lengtesnitte is die posisie van die erosiepunte aangedui en vir elke punt is 'n beskrywing van die rotsmassa gedoen. Waar moontlik word skuinslugfoto's van die damme ingesluit.

5.3.1 Applethwaitedam

Applethwaitedam is 'n 22 m hoë beton boogdam wat 6 km suidwes van Grabouw in die Palmietrivier geleë is (Foto 31). Die dam is in 1952 voltooi. Die onbeheerde sykanaal oorloop (Figuur 11) is teen die linkerflank van die wal (Foto 32) en daar is 'n hulpoorloop oor die kruin van die wal.

Die fondamentgesteente bestaan uit kwartsitiese sandsteen en skalie van die Tafelberg Groep. Nate en verskuiwingsones kom algemeen in die oorloopkanaal voor. 'n Hoë gemiddelde Schmidt-hamer waarde van 54 is vir die rots gekry.

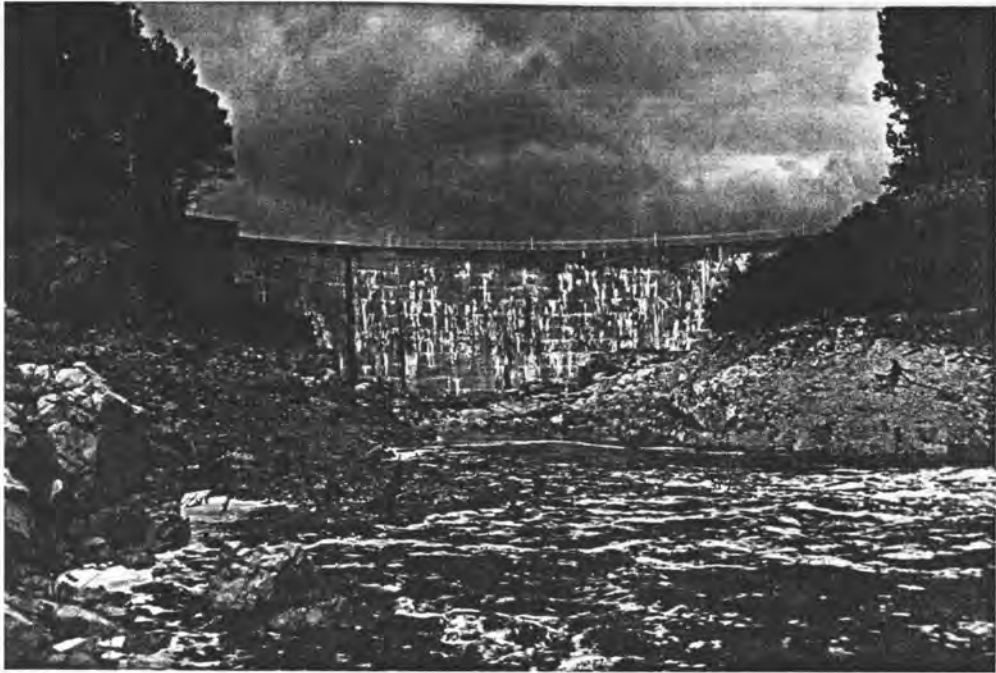


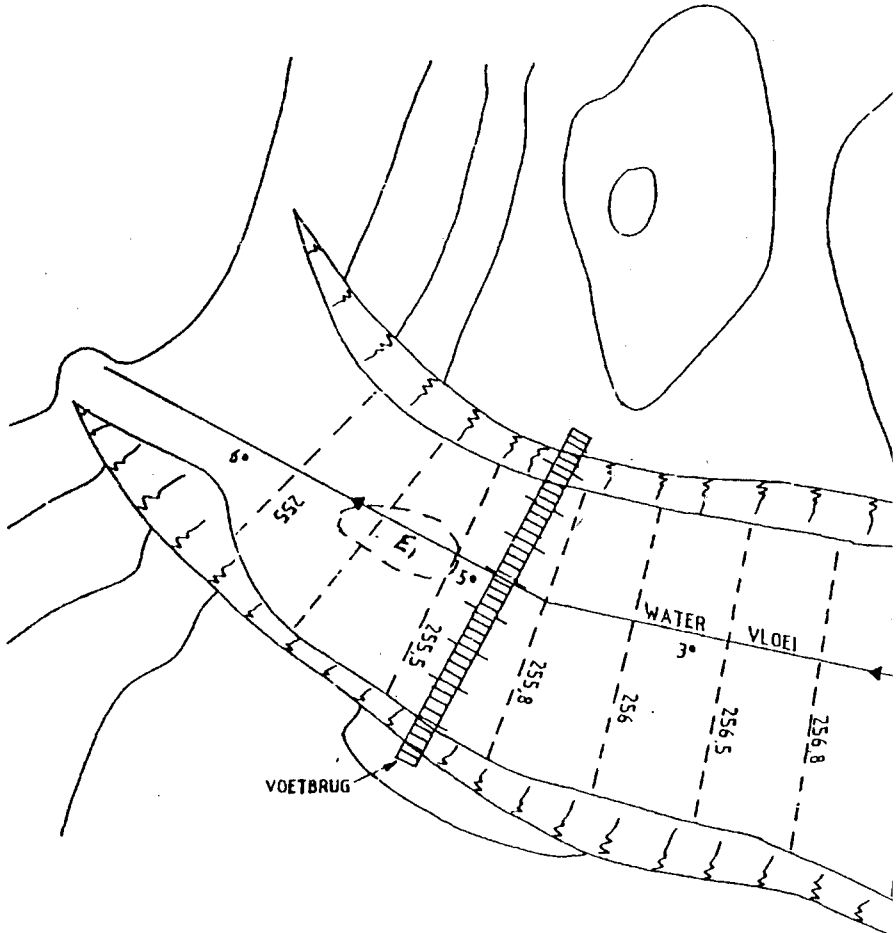
FOTO 31 : Applethwaite Lake damwal



FOTO 32 : Onbelynde oorloopkanaal teen linkerflank

Beskrywing van Erosiesones

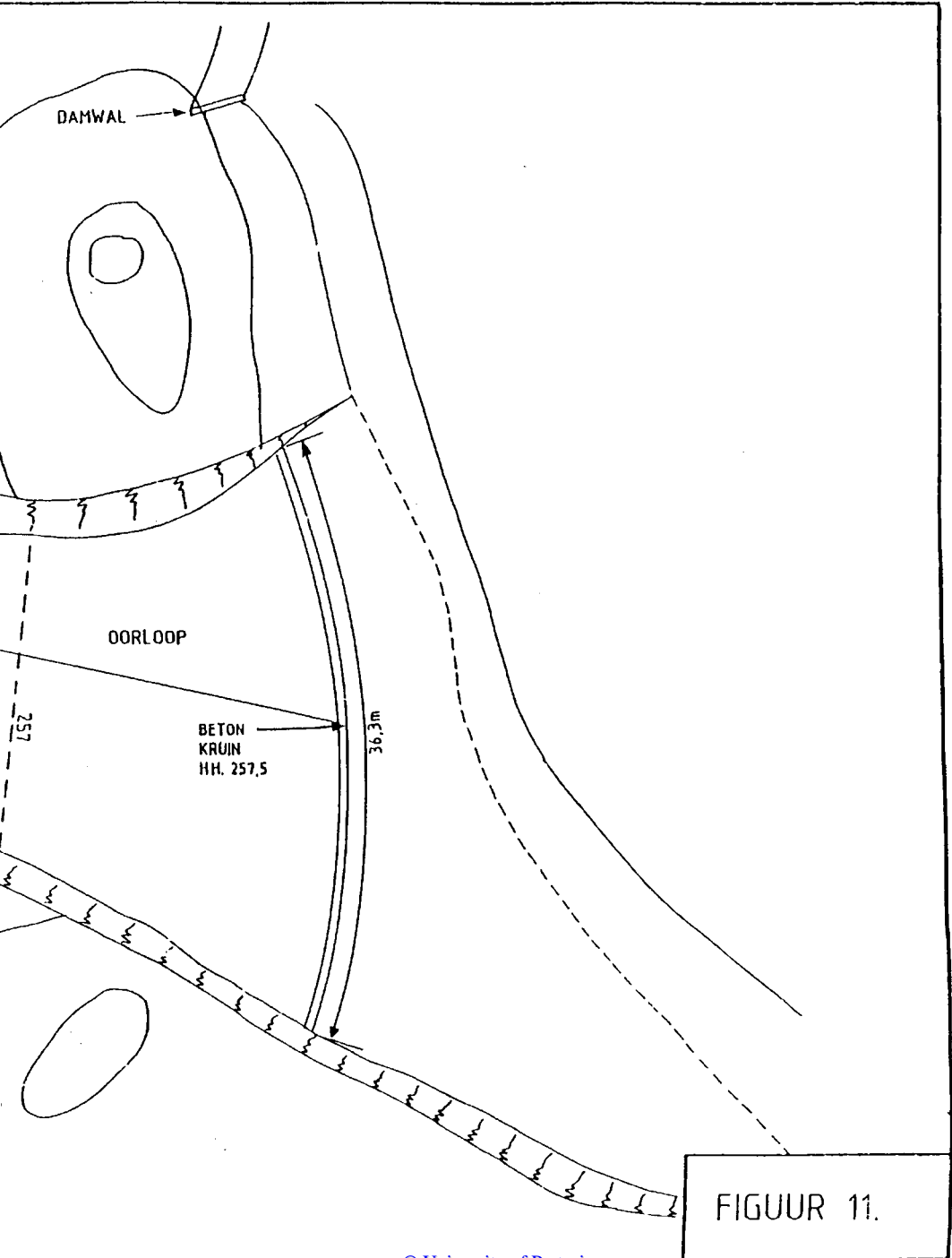
Vier erosiesones is in die oorloopkanaal onderskei. Een erosiepunt (E1) is in erosiesone 3 geïdentifiseer waar matige erosie plaasgevind het.



APPLETHWAITEDAM

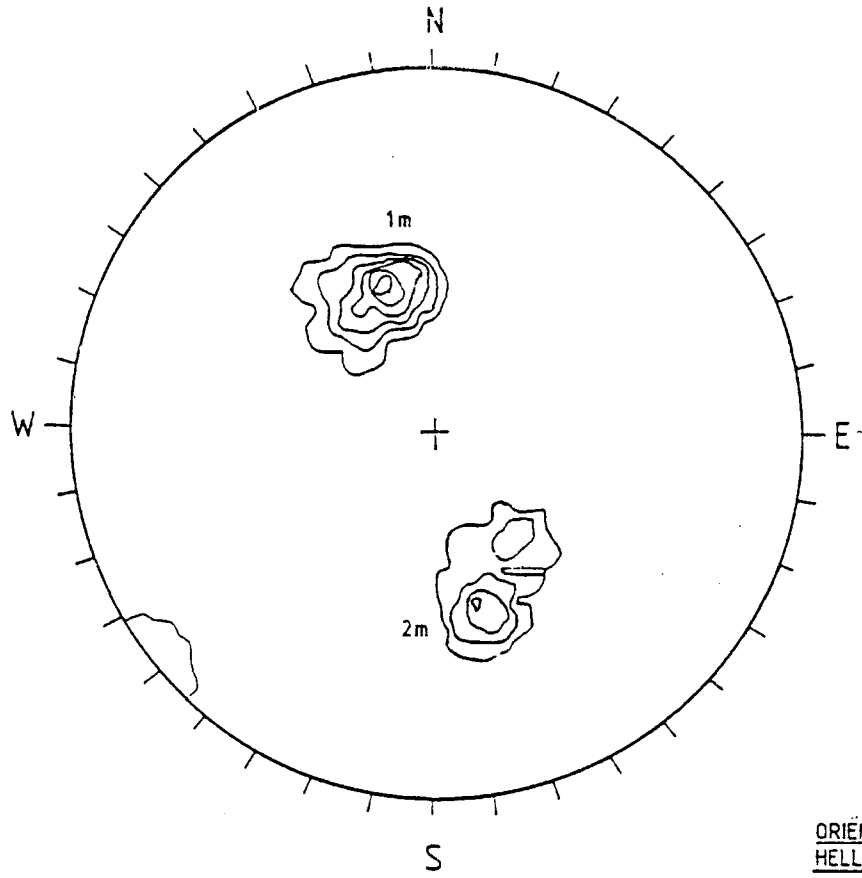
Kruinlengte : 36,3 m
(oorloop)

Skaal : 1:400





APPLETHWAITE LAKEDAM

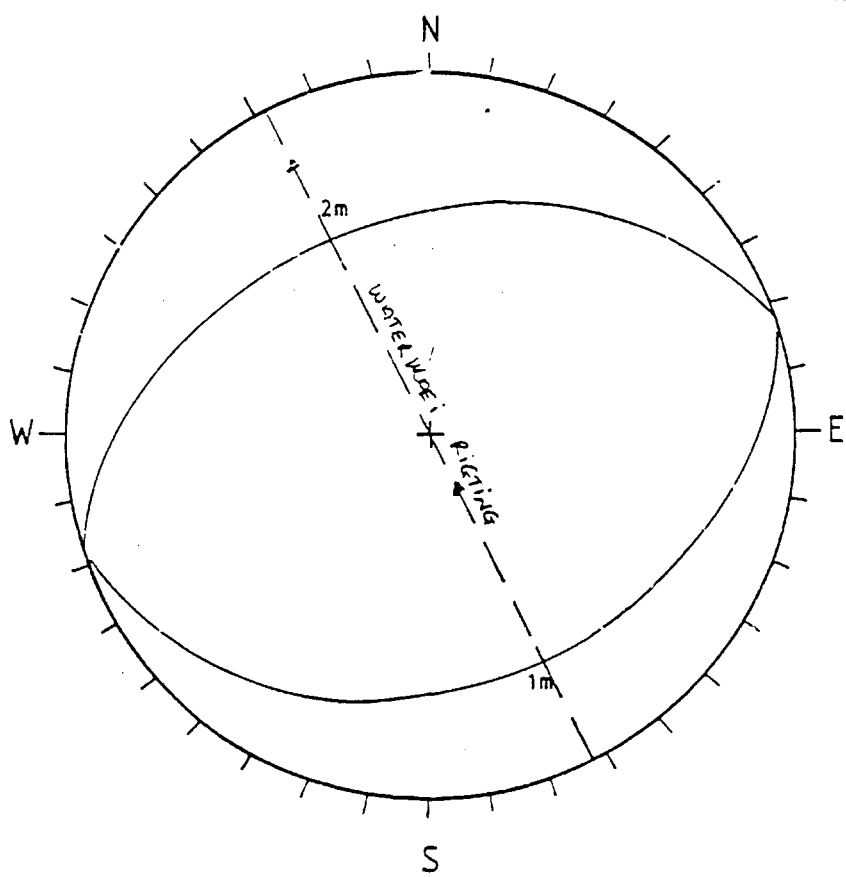


ORIENTASIES
HELLING/HELLRIGTING

1 m 32/163

2 m 42/342

25 POLES



PRIMÈRE NAATSTELLE

FIGUUR 12.

Erosiesone 1

Die gebied is tussen die oorloopstruktuur en die hangbrug geleë. Die gelaagdheid hel stroomop wat 'n kleiner erosiepotensiaal veroorsaak. 'n Prominente verskuiwing gaan deur sones 1 en 2. Hier vind meer erosie plaas omdat die verskuiwing parallel met die vloei rigting van die water sterk en verbrekking in die skuifskeursone plaasgevind het. Die snelheid van die water wat oor die gebied vloei is as 3 - 5 m/s geskat.

Erosiesone 2

Die gebied is tussen die grens van sone 1 tot ongeveer 20 m stroomaf van die hangbrug geleë. 'n Verskuiwing is in die regterflank van die oorloopkanaal waargeneem. Die verskuiwing kruis die vloer van die oorloop. Die gelaagdheid hel oorwegend stroomaf en dit het meer erosie tot gevolg. Die watersnelheid is ongeveer 4 m/sek. Die gelaagdheid hel stroomaf en die foliasie hel stroomop.

Erosiesone 3 (E1)

Slegs een erosiepunt is in hierdie gebied identifiseer. Die erosiepunt word E1 genoem. 'n Steiler helling kom in hierdie gebied voor ($\pm 30^\circ$ stroomaf). 'n Verskuiwing kom ook in dié gebied voor en die gesteentes hel oorwegend stroomaf. Meer erosie sal hier plaasvind as gevolg van die groter watersnelheid (6 m/sek.).

Erosiesone 4

Die verskuiwing by sone 1 eindig by sone 4. Die rots is verbrekkel in die verskuiwingsone. Die groot wig in erosiesone 4 het moontlik gevorm as gevolg van die gelaagdheid wat stroomaf hel en die goed ontwikkelde foliasie wat stroomop hel.

Naatopname

Nate is in elke erosiesone opgemeet en word in Tabel 25 opgesom. 'n Stereografiese projeksie is van die nate geteken (Figuur 12).

TABEL 25 : Naatorientasies

Erosiesone 1			Erosiesone 2			Erosiesone 4		
Hellingrigting*		Helling	Hellingrigting*		Helling	Hellingrigting*		Helling
P	161	35		345	35	P	240	84
P	169	20		338	30	Data van wig		
P	159	27		353	24	G	006	44
P	173	34	G	010	30	G	358	42
P	176	60		009	45	G	341	60
P	169	45	P	261	80	G	008	38
P	075	85				F	183	33
P	073	84				F	192	30
P	074	85				F	194	32
						F	176	30
						F	194	30
						F	188	38

* Magnetiese deklinasie 23°
 P/S - Primêre/Sekondêre nate
 G - Gelaagdheid
 F - Foliasie

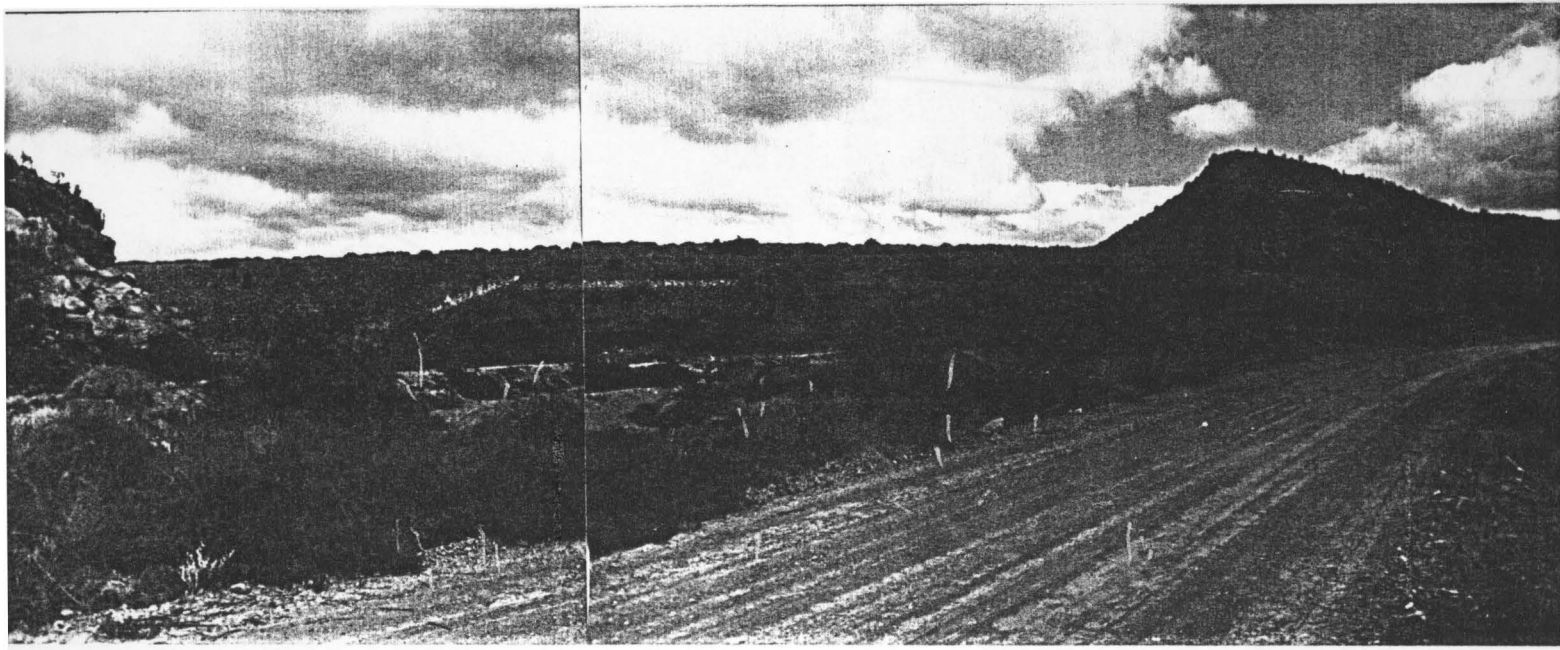
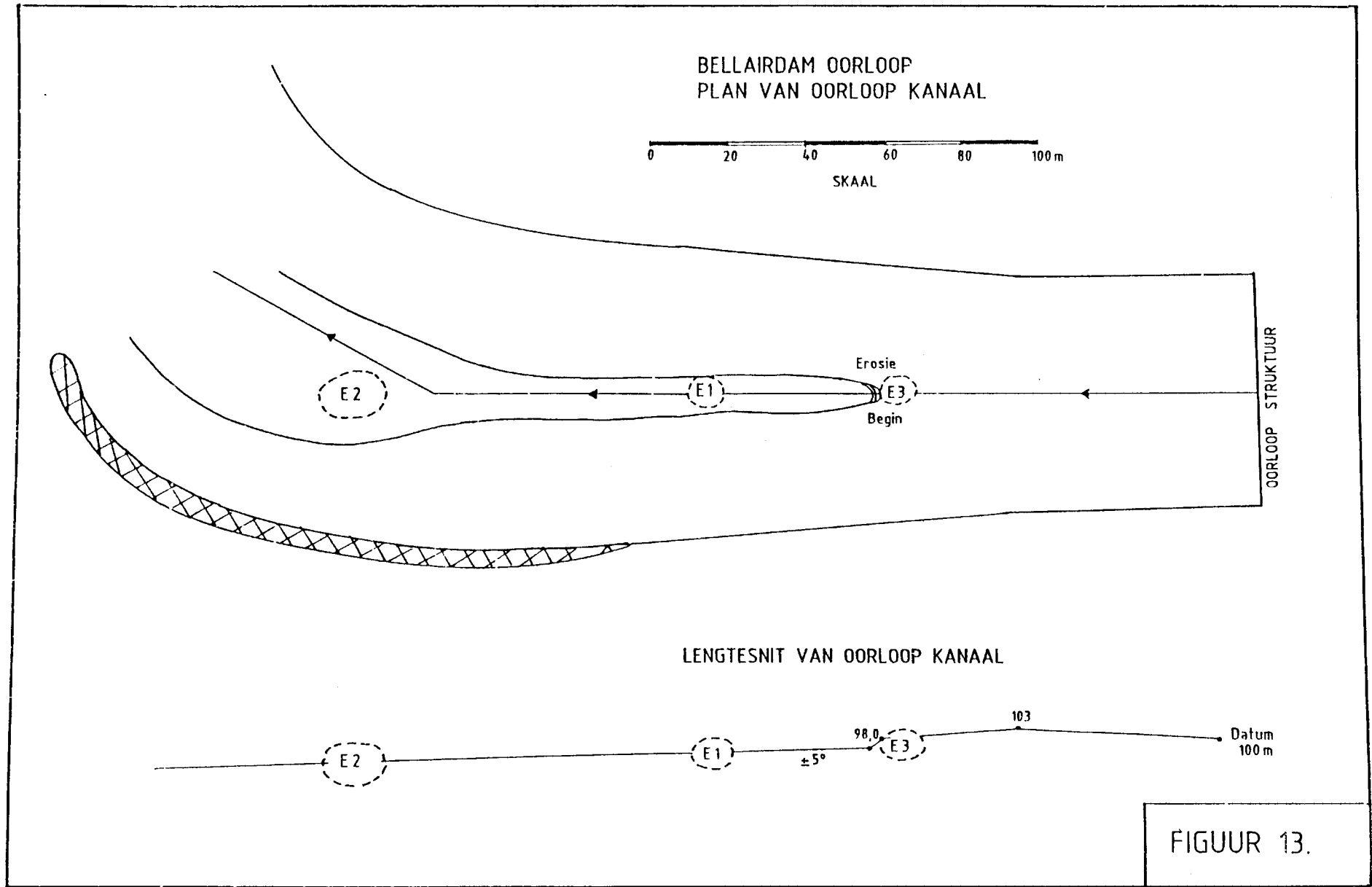


FOTO 33 : Panoramiese aansig van Bellairdam.



5.3.2 Bellairdam

Die Bellairdam is ongeveer 50 km noordoos van Montagu geleë. Die dam is in 1920 voltooi (Foto 33). Die dam het 'n oorloopkanaal wat in 'n nek in die linkerflank geleë is (Foto 34). Die kanaal is 60 m breed en het 'n keermuur aan die linkerkant om die water te kanaliseer.

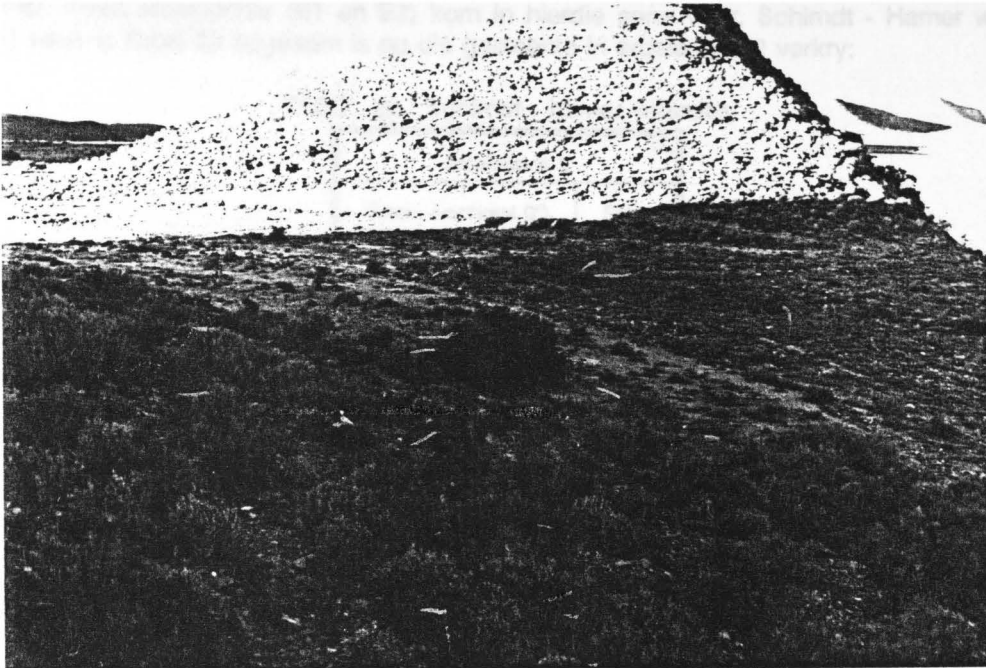


FOTO 34 : Oorloopkanaal teen linkerflank van dam

Figuur 13 is 'n algemene sketsplan van die oorloopkanaal asook 'n lengtesnit wat die helling waarteen die water vloei, aandui. Die erosiepunte word ook aangedui. Hierdie plan is nie volgens skaal nie. Kleinskaalse erosie het 50 m stroomaf van die kruin plaasgevind. Kleinskaalse erosie kom ook in die kanaalvloer voor.

Die dam is op skalie, slijksteen en sandsteen van die Bokkeveld Groep en Kaap Supergroep geleë. Die gesteentes in die oorloop word ooreël deur kolluvium wat veryster is. Waar die gesteente wel dagsoom, is dit intens verbrokkel en gefolieer. Prominente semi-vertikale nate kan ook waargeneem word. As daar dwars oor die nate met 'n geologiese hamer geskraap word kom klein brokstukke van 1 - 2 cm los.

Die slijksteen is horisontaal gelaagd met semi-vertikale nate wat die gelaagdheid loodreg sny. Die oriëntasie van die laagvlakke en nate veroorsaak dat die slijksteen in semi-kubiese rotsblokke, deursnee \pm 50 cm, opgebreek word. In sommige plekke is die gesteente intens gebreksieer. Die gebreksieerde sone is baie los en kan maklik met 'n geologiese hamer losgemaak word.

Beskrywing van Erosiesones

Die sykanaal oorloop kan in 3 erosiesones opgedeel word.

Erosiesone 1

Die gebied strek vanaf die begin van die oorloop tot ongeveer 50 m stroomaf. Dit bestaan uit kolluvium wat in 'n Fe-ryke matriks gesementeer is. Geen dagsome is hier teenwoordig nie en gevolglik kon geen nate opgemeet word nie. Die kanaal se helling is baie gering.

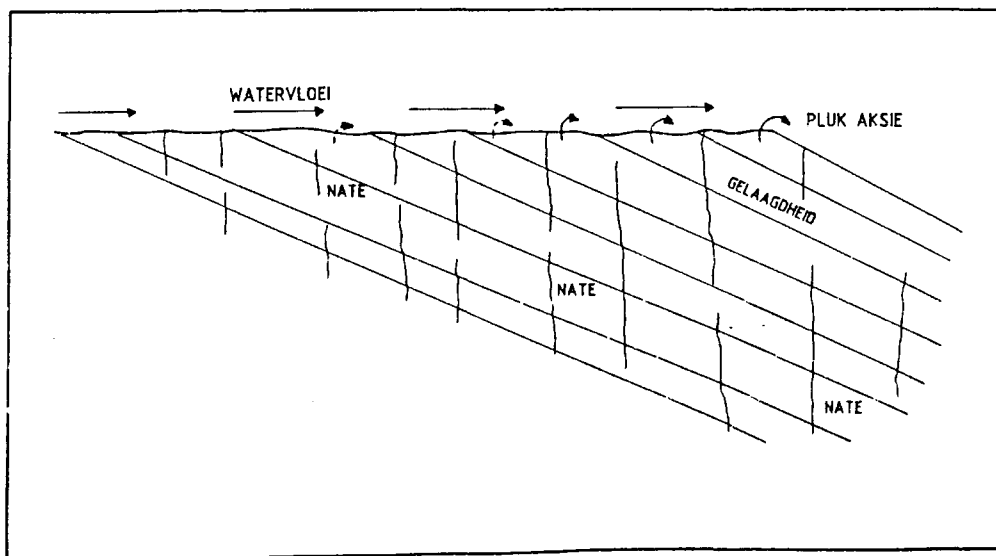
Erosiesone 2 (E1 & E2)

Hierdie gebied begin waar meer erosie plaasgevind het en waar die rots dagsoom. Die gesteente is intens genaat. Afwisselende lae van sandsteen, skalie en slijksteen kom voor. Die gebied strek tot ongeveer 100 m stroomaf van die kruin. Die rots word in blokke opgebreek van ± 50 cm in deursnee deur sub-horizontale laagvlakke en sub-vertikale nate wat die laagvlakke loodreg sny. Willekeurige nate verbreek die gesteente nog verder. Die kanaal se helling is ongeveer 3° stroomaf. Twee erosiepunte (E1 en E2) kom in hierdie sone voor. Schimdt - Hamer waardes (SHW) soos in Tabel 26 opgesom is op die gesteente in erosiesone 2 verkry:

TABEL 26 : Schimdt - hamer waardes

Erosiesone 2	
Grade (vertikaal 0°)	SHW
0°	38
	30
	20
	30
45°	44
	52
	46
	60
	50
	52
	Gemiddelde SHW

Figuur 14 toon die erosie meganisme van die rots aan. Die gesteente word uitgepluk soos die water oor die gebied vloei.



FIGUUR 14 : Pluk van rots soos water oor die oppervlak vloei

Erosiesone 3

Dit is die gebied stroomaf van sone 2. Hierdie sone is bedek met spoelklippe en rotsblokke van verskillende groottes. Sodra die water se energie verminder word die rotsblokke agtergelaat.

5.3.3 Bridledriftdam

Bridledriftdam is 17 km noordwes van Oos Londen op die Buffelsrivier geleë. Die dam is 'n 55 m hoë rotsvuldam wat in 1969 voltooi is (Foto 35). Die wal is in 1970 en weer in 1985 met altesaam 4,5 m verhoog. Figuur 15 is die algemene plan van die damterrein en oorloopkanaal.

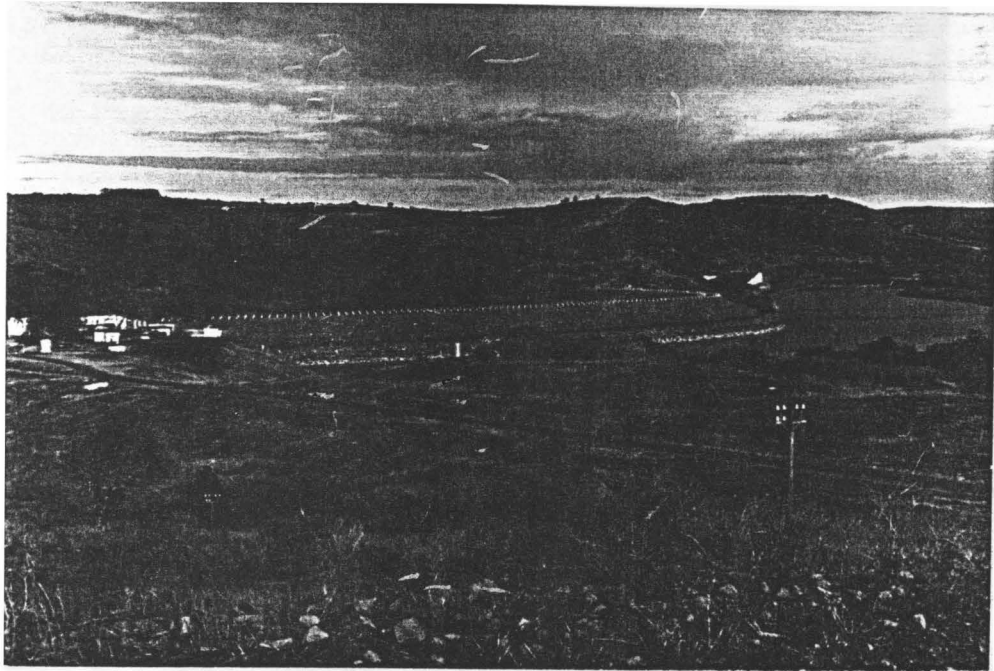


FOTO 35 : Bridle Driftdam

Gedurende die 1985 verhoging is 'n 6m hoë ogee oorloop in die oorloopkanaal aan die regterflank gebou (Foto 36). Figuur 16 toon die algemene plan van die oorloopstruktuur asook 'n snit deur die oorloopgedeelte. Om erosie van die doleriet by die toon van die struktuur te voorkom, is 'n wipkoop onder die kruin gebou. Hierdie onbeheerde ogee oorloop met oop kanaal het al menige vloede weerstaan (Foto 37). Die oorloopgedeelte is 110m breed en verminder tot 20 m en raak dan weer breër verder stroomaf.

Die uitloopkanaal is in Karoo doleriet uitgegrawe. Meeste van hierdie rots is vir damkonstruksie gebruik. Rotsstortings het in die kante van die kanaal net na voltooiing voorgekom wat met swak sones, verweerde materiaal en swak gesteente geassosieer kan word. Vanweë die rotsstortings is die oorloopkanaal in detail gekarteer en word deur persone van die Stadsingenieurs Departement, Oos Londen Munisipaliteit, gemoniteer vir verdere rotsstortings en erosie.

'n Opname van die hele vloer van die kanaal is in 1970 deur die Stadsingenieurs Departement, Oos Londen Munisipaliteit, gedoen. 'n Kontouer plan is opgestel en 'n lengtesnit deur die hele kanaal is geteken sodat dit vergelyk kan word met die oorspronklike ontwerp lengtesnit en ook in die toekoms met nuwe lengtesnitte vergelyk kan word, veral na 'n vloed. Figuur 17 is 'n weergawe van hierdie lengtesnit wat ook die posisies van die erosiepunte aandui.

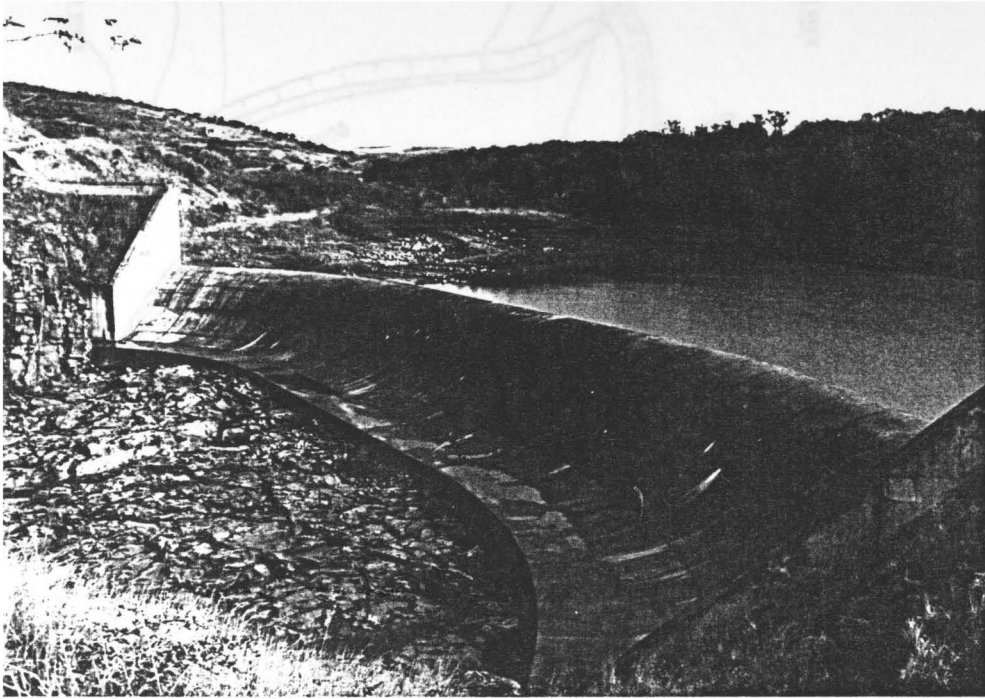


FOTO 36 : Ogee oorloop teen regterflank

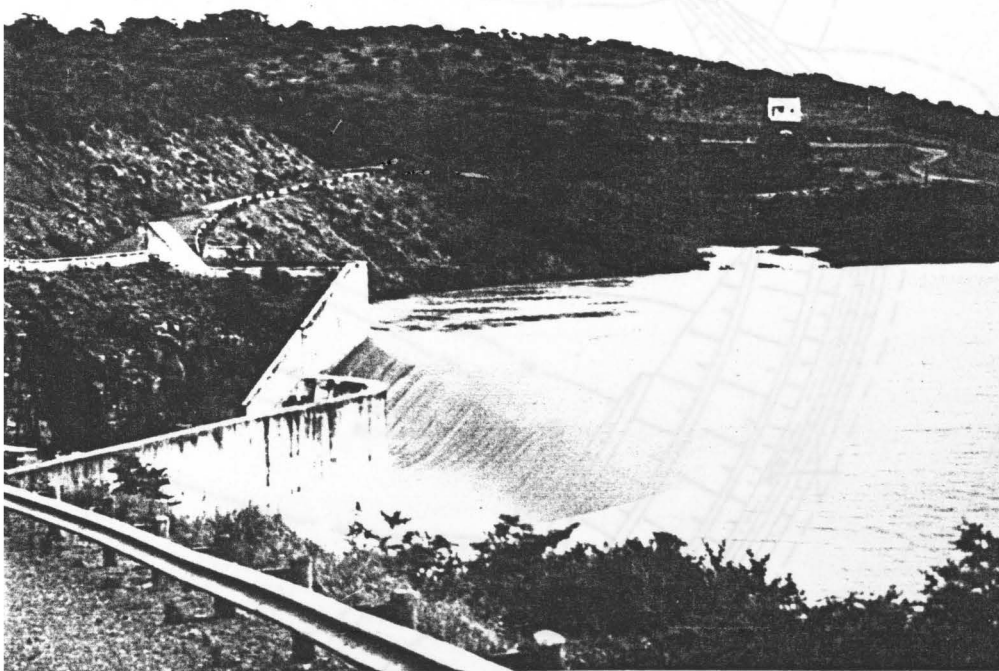
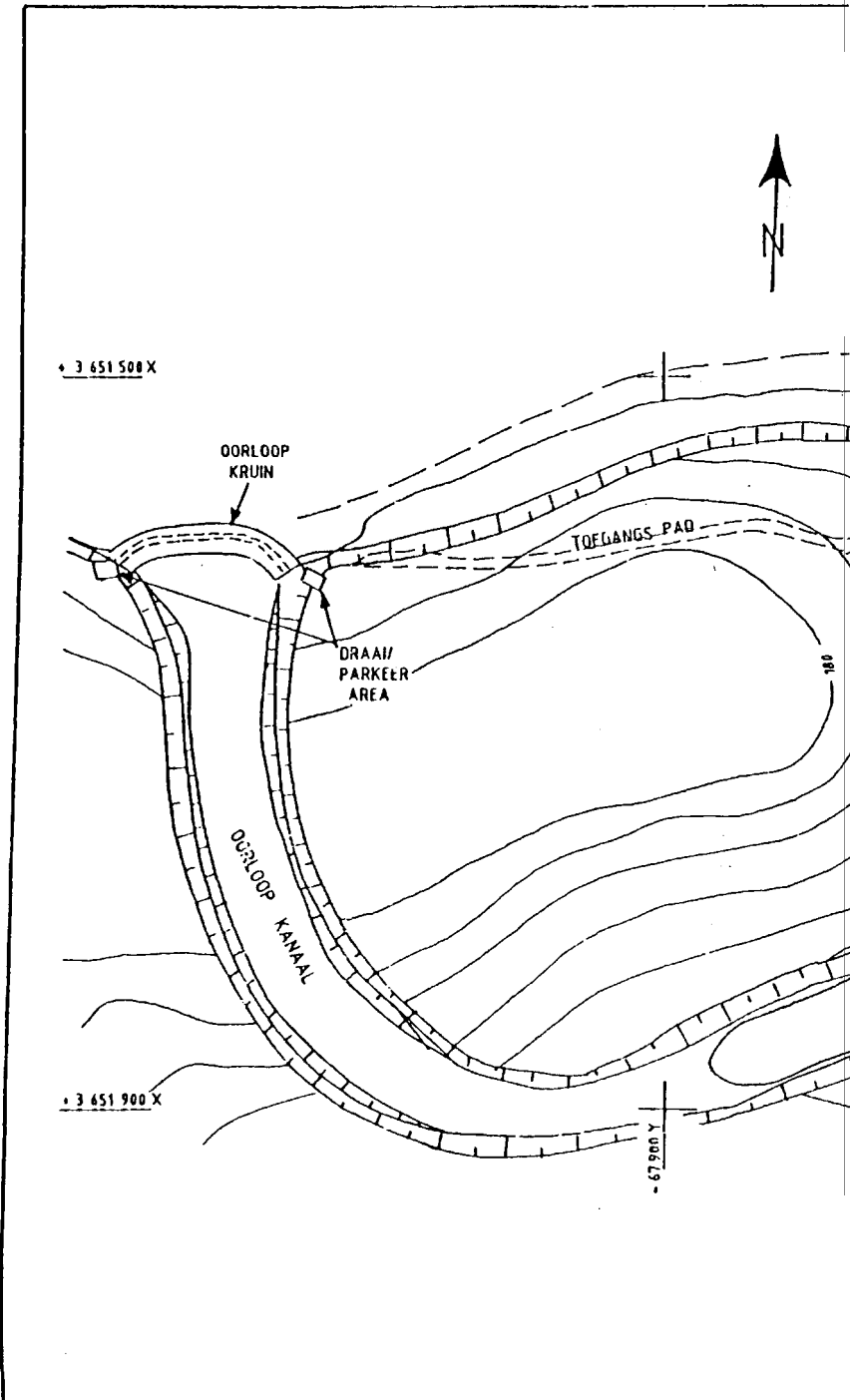
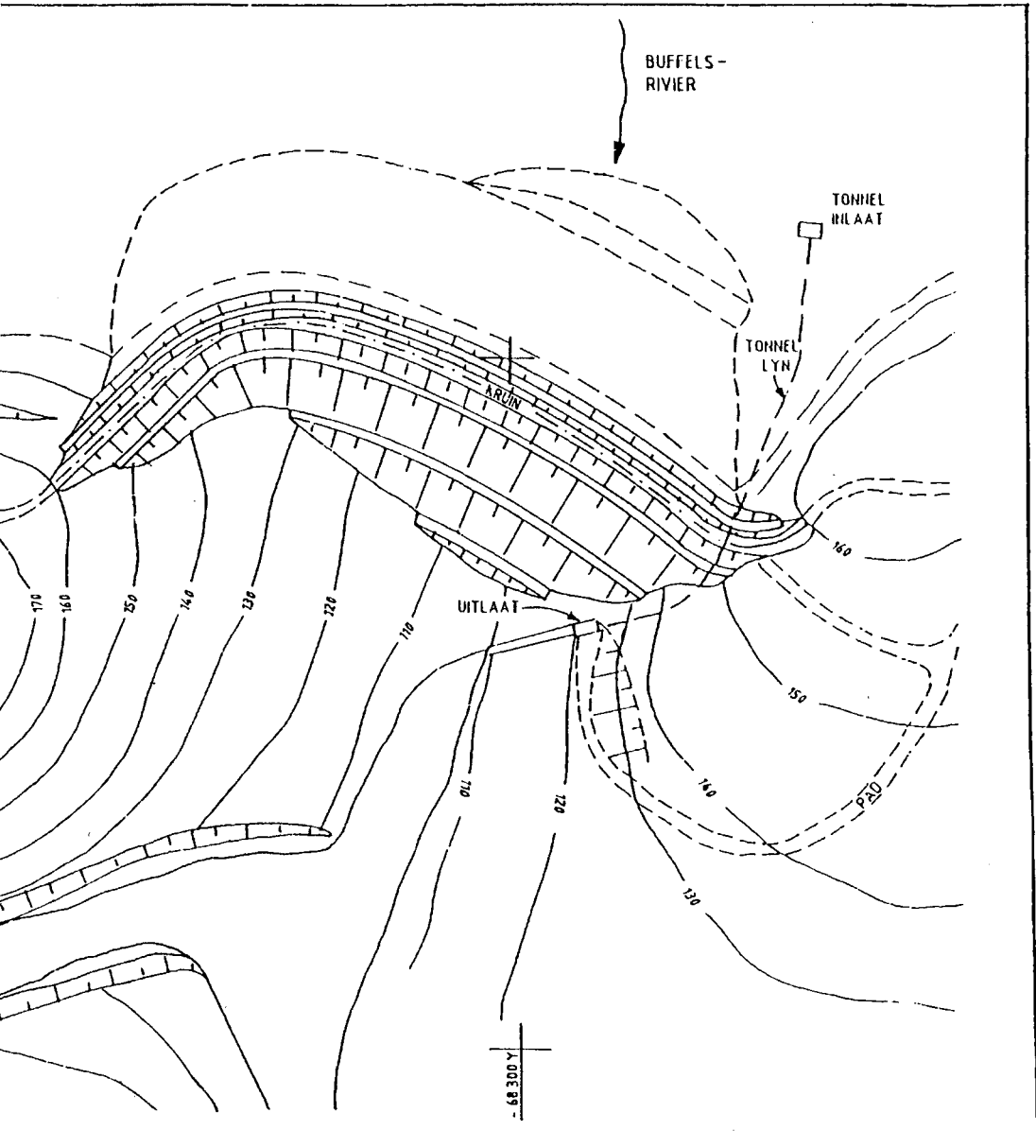


FOTO 37 : 1985 Vloed oor oorloop

'n Fotografiese opname op 10m intervale van die vertikale kanaal kante en vloer is deur die Musipaliteit van Oos Londen onderneem.



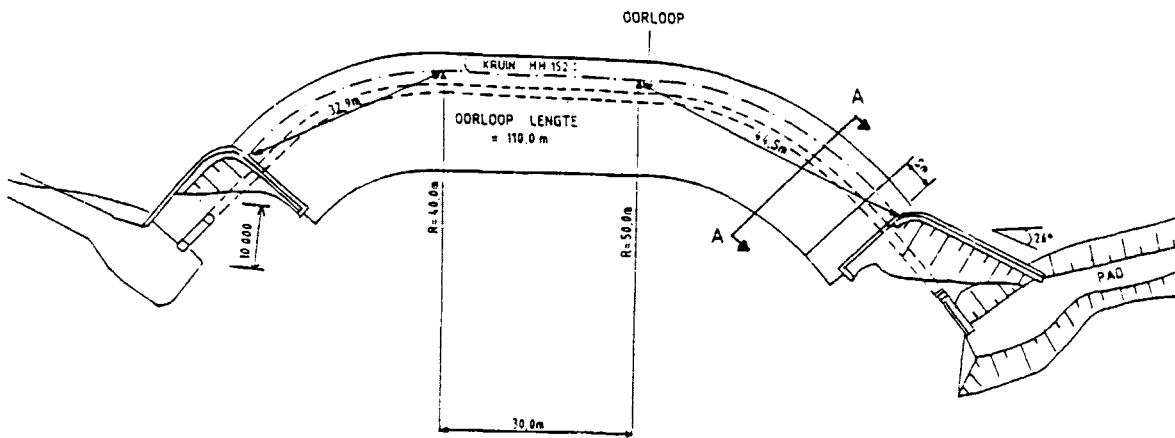


BRIDLE DRIFTDAM

SKAAL 1 : 4 000

1969 VOLTOOI
55m HOOG

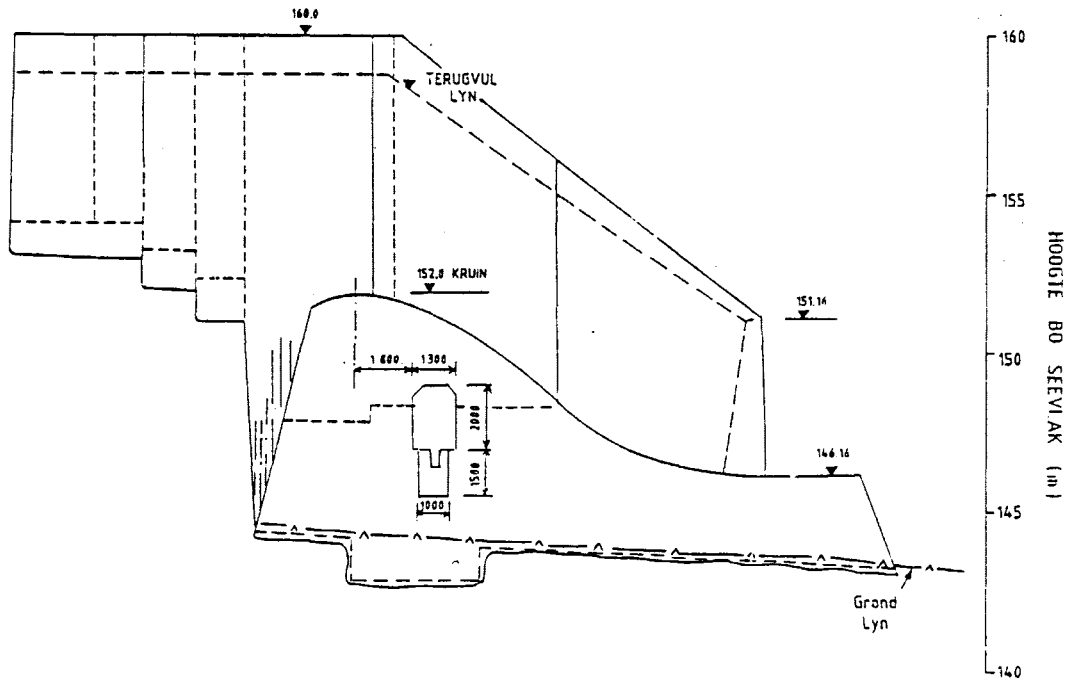
FIGUUR 15.



PLAN VAN OORLOOP KRUI

Skaal 1:1 000

SNIT A - A



BRIDLE DRIFTDAM

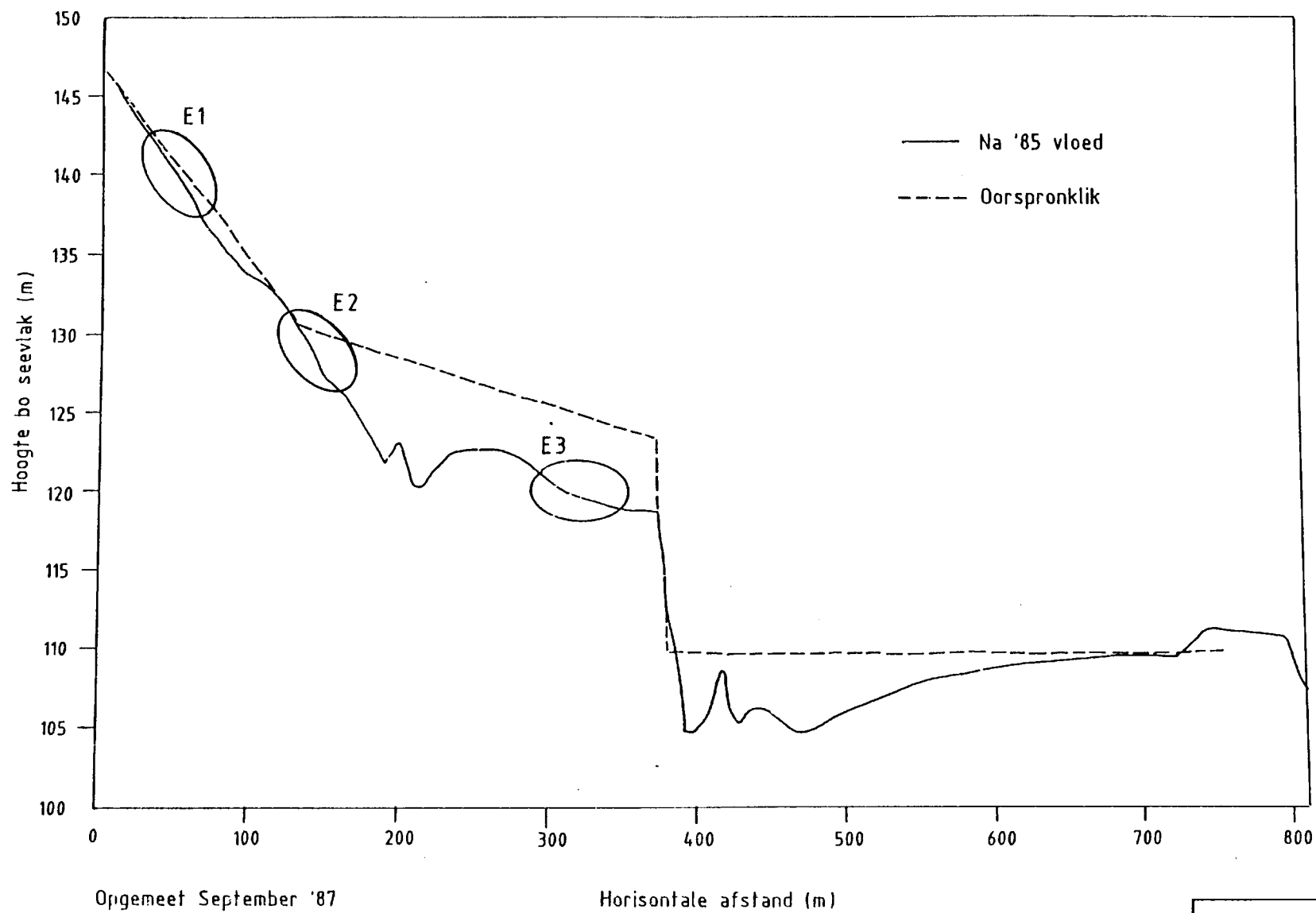
Maks Uitvloei : 5m oor oorloop
± 1900m³/s (1985)

Kruintengte : 110m
(oorloop)

Skaal : 1:200

FIGUUR 16.

BRIDLE DRIFTDAM OORLOOP KANAAL



Opgemeet September '87

Horisontale afstand (m)

FIGUUR 17.

Beskrywing van Erosiesones

Drie erosiesones is geïdentifiseer. Erosiepunte is in elk van die sones beskryf. Hul posisies word op Figuur 17 getoon.

Erosiesone 1 (E1)

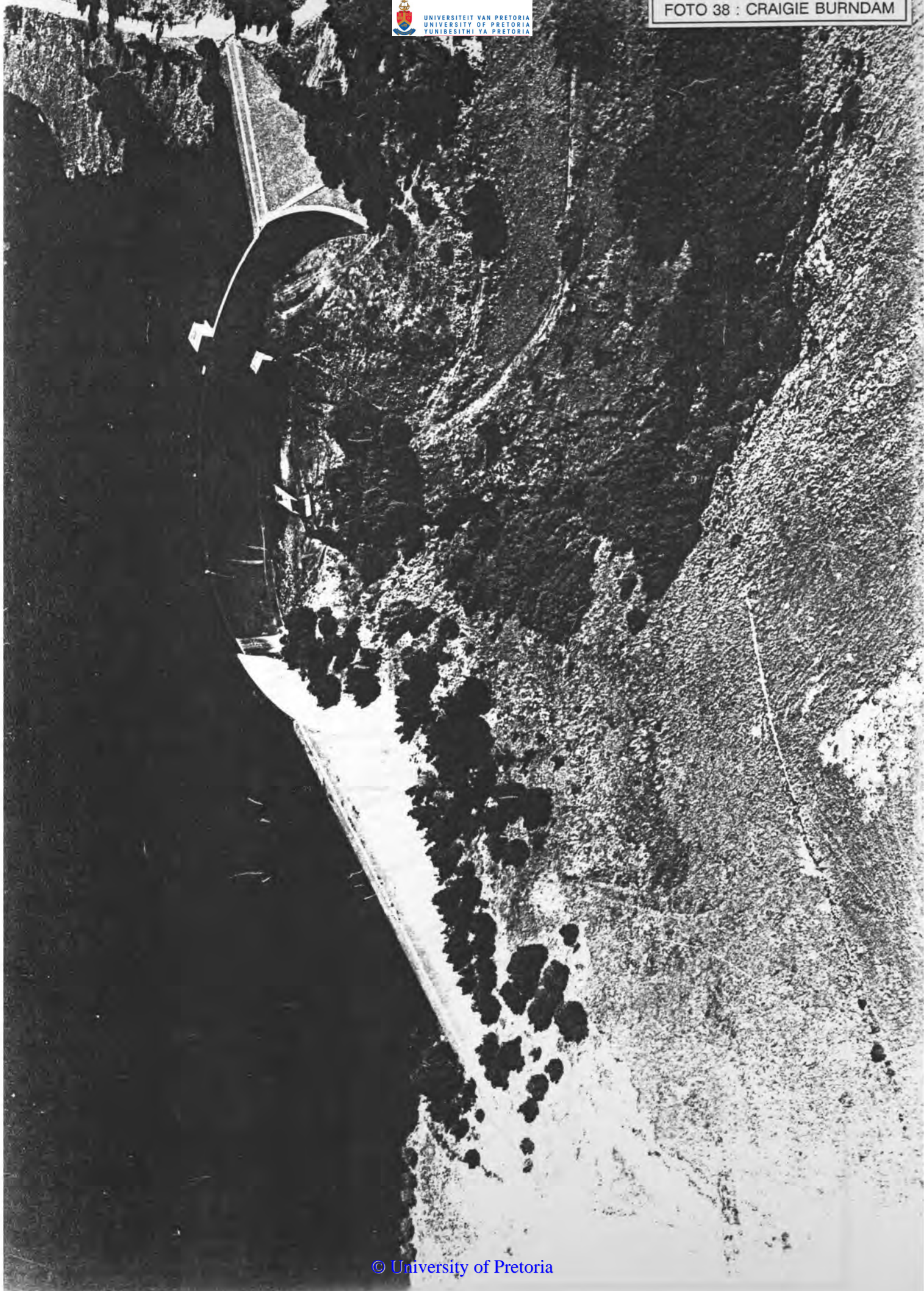
Die kanaal vloer is van doleriet. Hierdie sone is op die 50 m lyn stroomaf van die ogee oorloop. Skietmerke kom voor. Goeie kwaliteit rots kom in hierdie sone voor. Die nate is op sommige plekke gevul met beton. Geen erosie kom in hierdie sone voor nie.

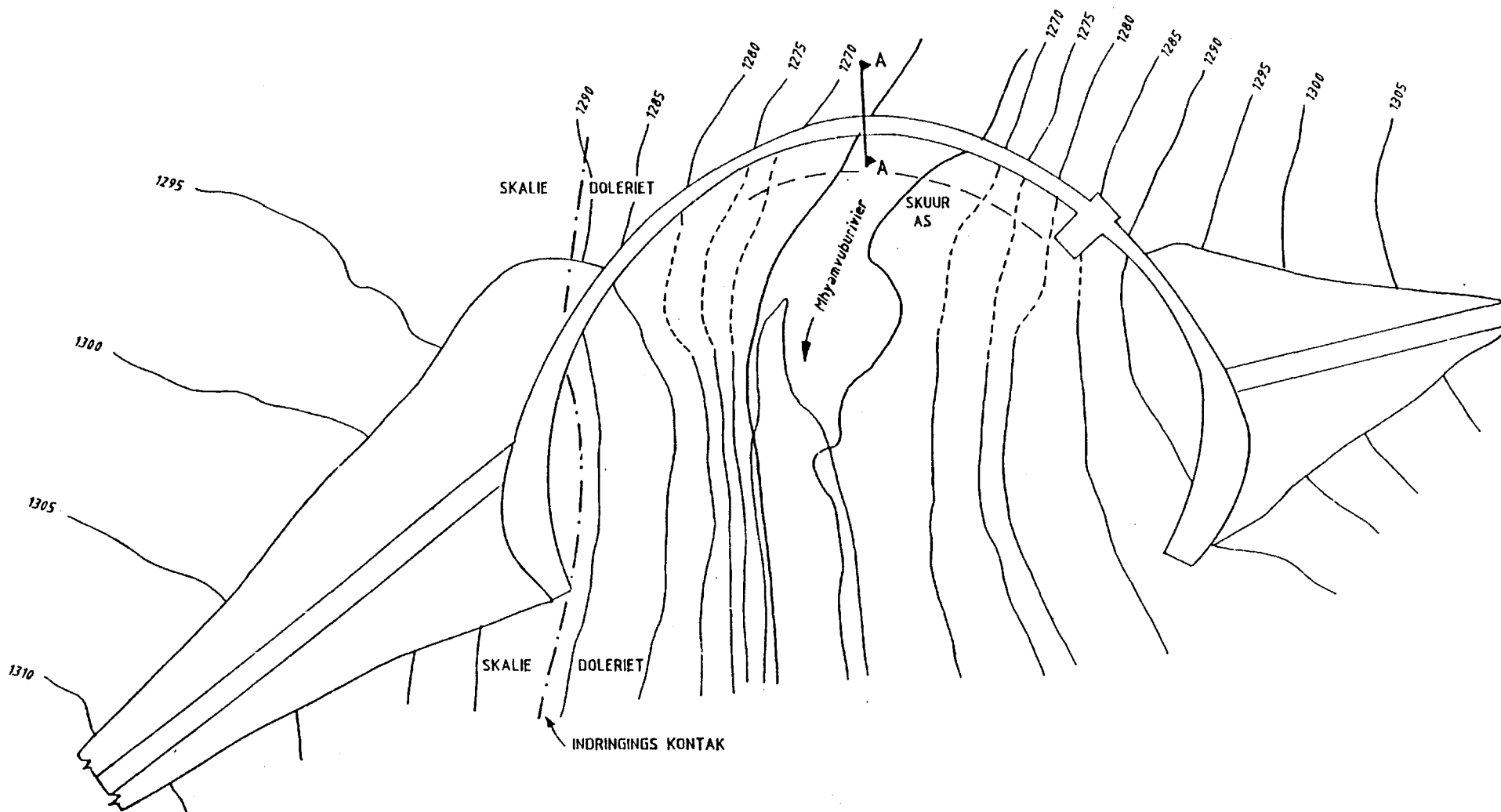
Erosiesone 2 (E2)

Hierdie sone is in die omgewing van die 160 m lyn stroomaf van die ogee oorloop. Die rots is meer genaai as in erosiesone 1 en willekeurige nate kom ook voor. Die rots is effens verweerd.

Erosiesone 3 (E3)

Hierdie sone is in die omgewing van die 320 m lyn stroomaf van die ogee naby die waterval in die oorloopkanaal. Die doleriet is verweer en baie erosie het plaasgevind in hierdie sone.

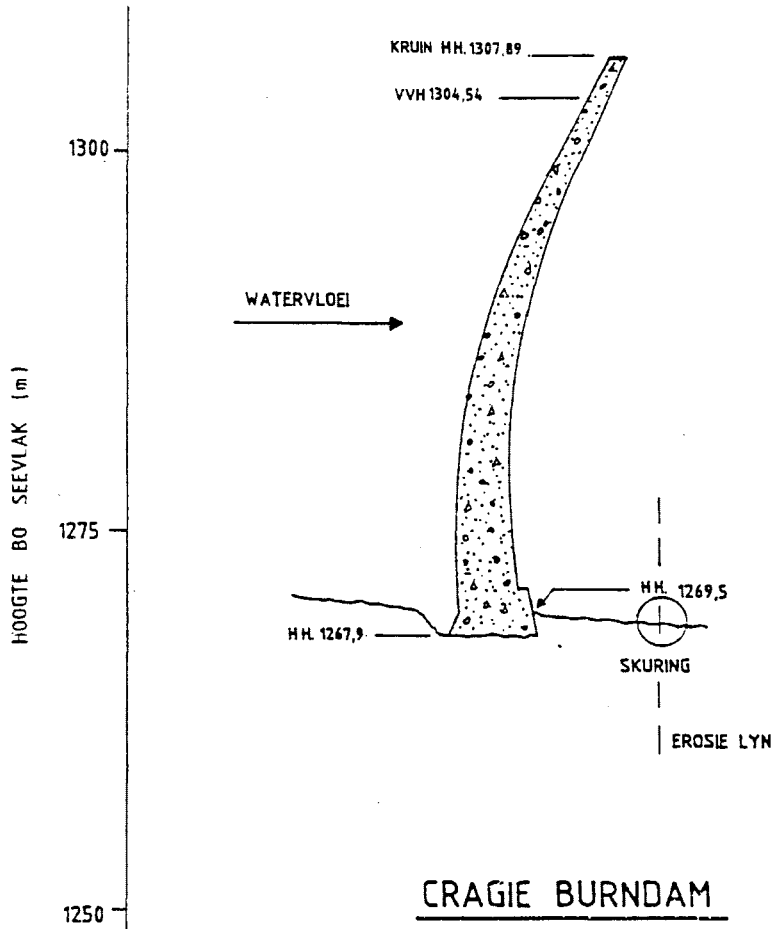




ALGEMENE PLAN OF CRAIGIE BURNDAM

FIGUUR 18.

SNIT A-A



Maks. uitvloeï : 367 m³/s (1987)
Kruinlengte
(oorloop) : 121,92 m
Skaal : 1:500

FIGUUR 19.

5.3.4 Craigie Burndam

Hierdie 39 m hoë dubbelboogdam is 29 km oos van Mooirivier in die Mnyamvuburivier in Natal geleë (Foto 38). Hierdie dam is in 1963 voltooi. Figuur 18 is die algemene plan van die damwal. Hierdie dam het 'n vryval oorloop met onbelynde skort. Figuur 19 is 'n snit deur die oorloop gedeelte. Die dam is op skalie en moddersteen van die Volksrust Formasie met intrusiewe doleriet geleë. Drie prominente naatstelle kom in die doleriet in die skort voor. In foto's 39 en 40 (Forbes, 1989) kan gesien word dat aansienlike uitskuring plaasgevind het tydens die 1987 vloede. Volledige verslae is deur Furbes (1989) en Pitsiou (1990) opgestel.

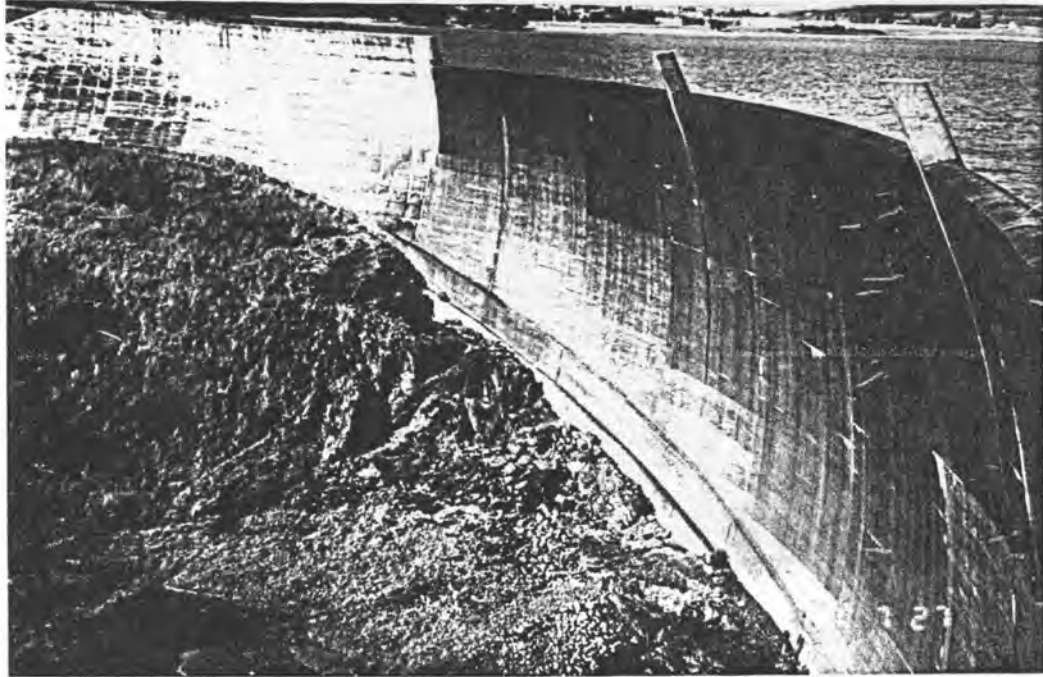


FOTO 39 : Craigie Burndam voor 1987 vloed

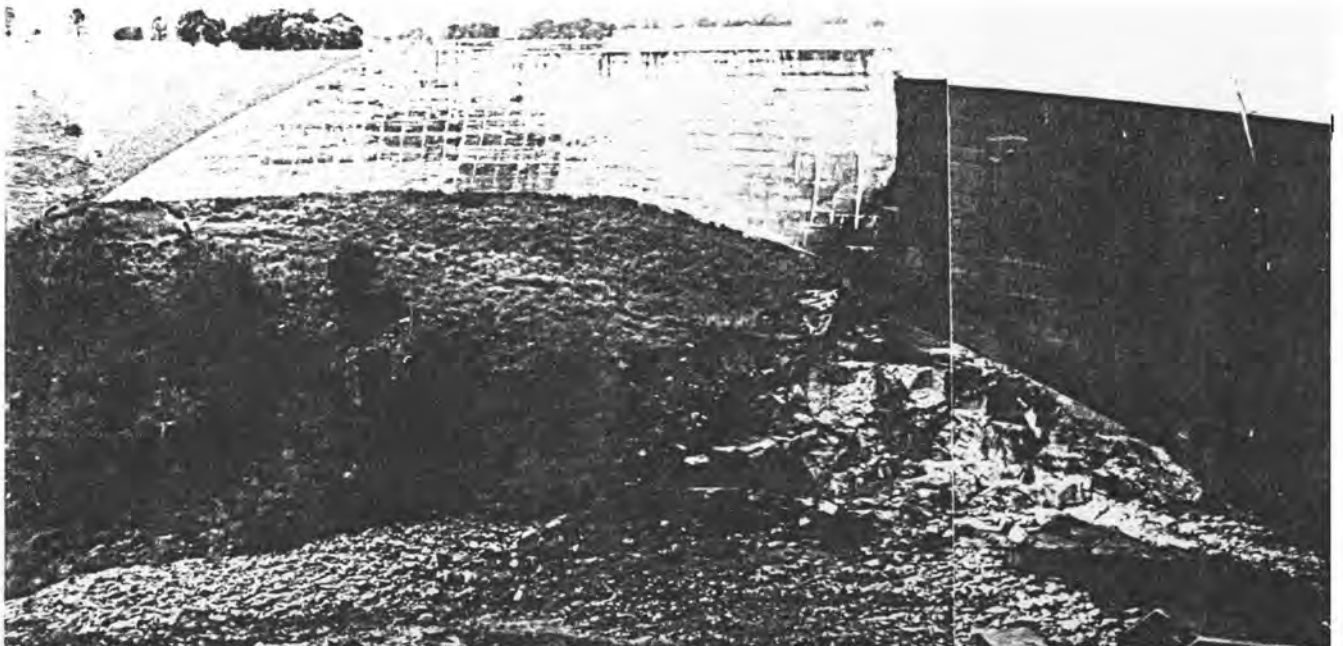
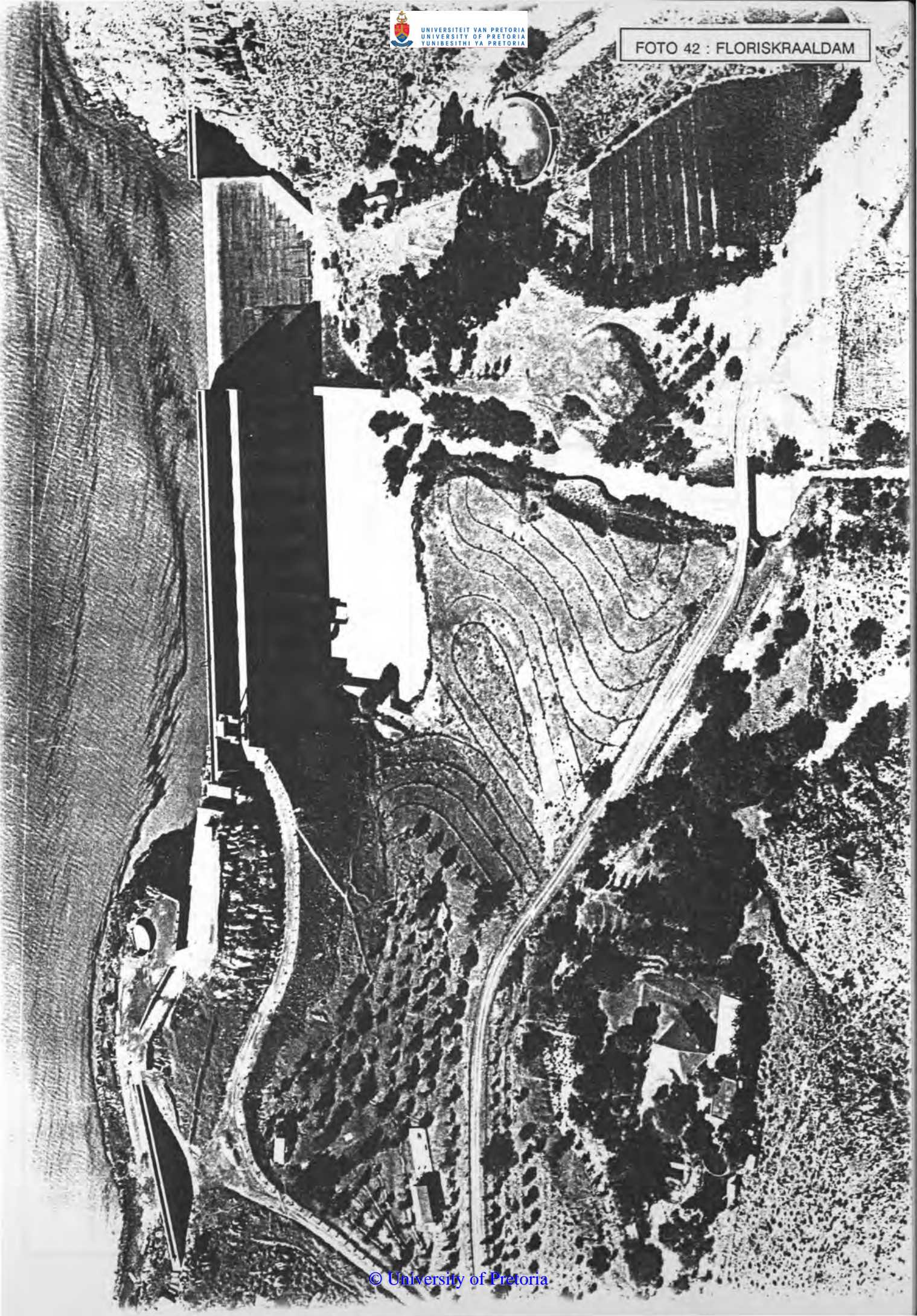


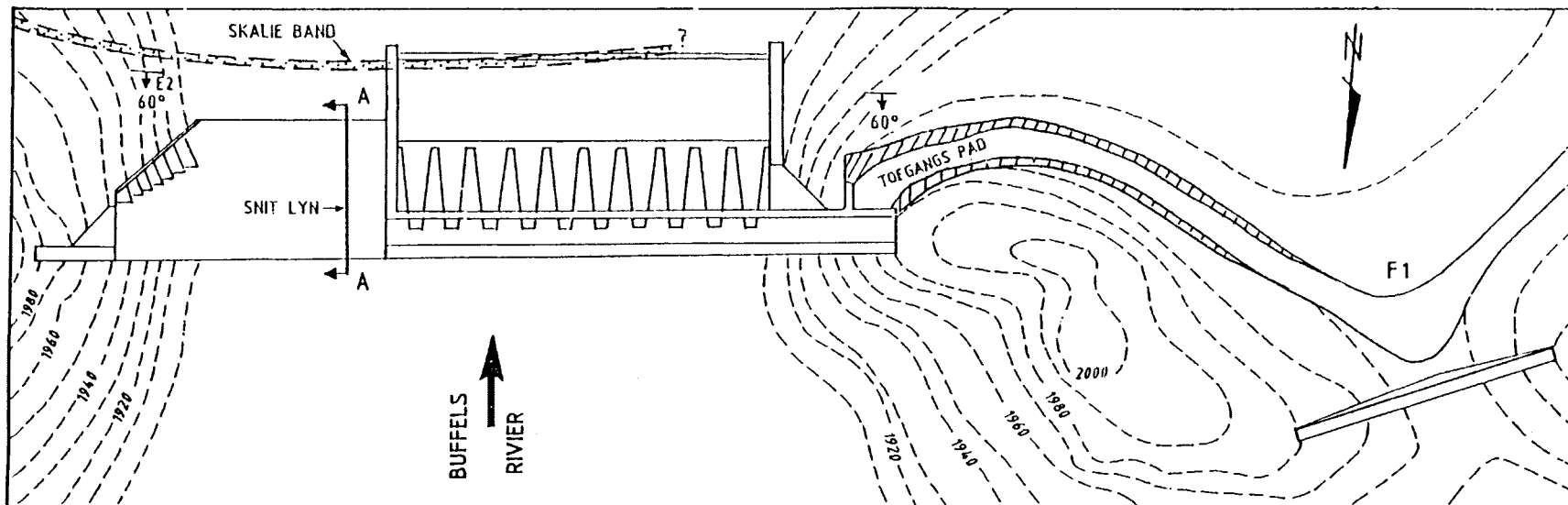
FOTO 40 : Craigie Burndam na 1987 vloed

Tydens die veldbesoek is beskrywing van die naatstelle volledig gedoen. Een erosiepunt (E1) is in die doleriet teen die regterflank identifiseer en beskryf. Na die 1987 vloede is die nate in die rots gevul en die rots is vasgeanker (Foto 41).

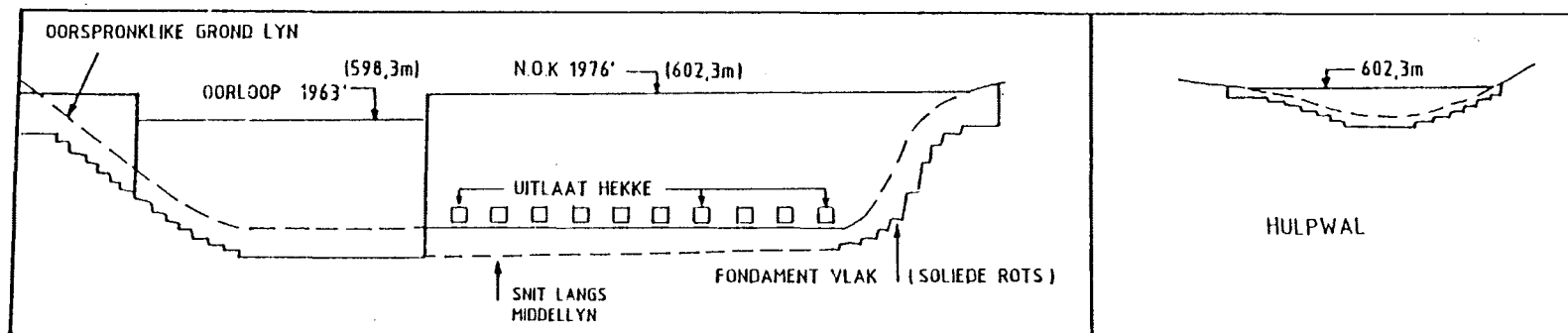


FOTO 41 : Sementering van rots in skort na 1987 vloede





ALGEMENE PLAN

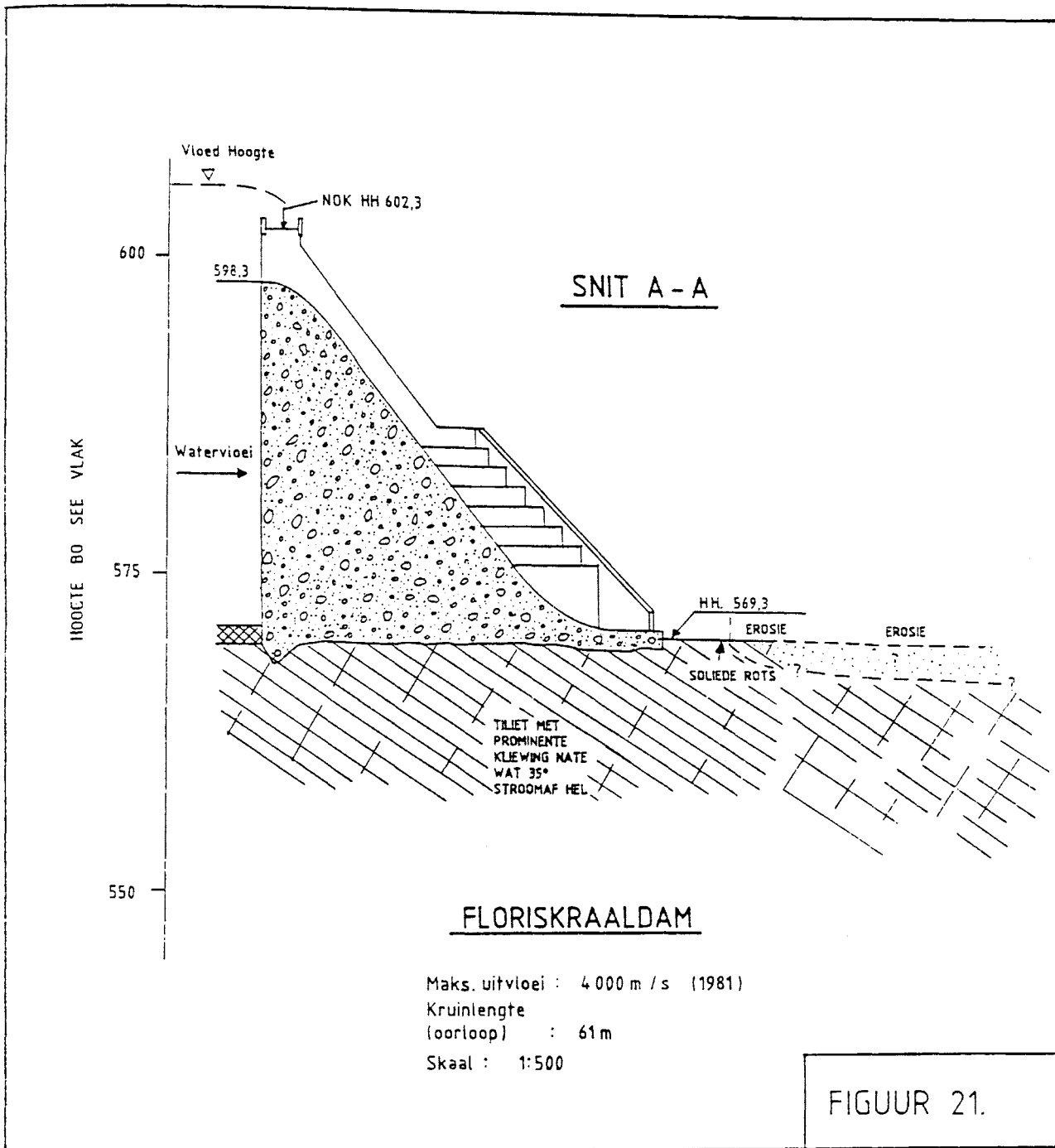


SKAAL 1:1500



FLORISKRAALDAM

FIGUUR 20.



5.3.5 Floriskraaldam

Die Floriskraaldam (Foto 42) is in die Buffelsrivier, 33 km suidoos van Laingsburg geleë. Die dam word hoofsaaklik vir die opgaar van besproeiingswater gebruik. Die beton swartekrag dam is in 1957 voltooi. As die skuinslugfoto met die nuwe foto (Foto 43) in 1991 geneem, vergelyk word, kan die erosieskade van die 1981 vloed waargeneem word.



FOTO 43 : Erosieskade na vloed by Floriskraaldam

Die dam het 'n kruinlengte van 185 m en 'n maksimum hoogte van 32 m bo fondamenthoogte. Die swartekrag oorloop is teen die linkerflank en is 61 m breed. Die oorloop het 10 radiale hekke, 4 m x 3 m elk, wat water na die rivier deurgee. 'n Hulpwal van 7,8 m hoog en 62 m lank kom aan die regterflank voor. Figuur 20 is die algemene plan van die damwal en hulpwal. Figuur 21 is 'n snit deur die oorloop langs die linkerflank.

Volgens du Toit (1919) word die damterrein deur skalie en Dwyka tilliet beslaan. Die Dwyka tilliet is middelmatig genaat en boorkerne van die gesteente was meesal solied. Die tilliet hel in 'n stroomaf rigting. Kent (1955) bespreek die geologiese toestande van die rots net stroomaf van die oorloop. Volgens hom sal die water tydens 'n vloed 'n snelheid van bykans 24 m/sek. bereik. As die water die rots stroomaf van die damwal tref, sal die water groot rotsblokke lig as gevolg van opligdruk.

Die dam is op 13 Julie 1990 besoek waartydens die oorloop evalueer is ten opsigte van vorige erosie en toekomstige erosieskade. Tydens die Laingsburg vloed van 1982 het die meeste erosie plaasgevind net stroomaf van die oorloop.

Algemene geologie

Die Floriskraaldamterrein word beslaan deur skalie en kwartsitiese sandsteen van die Witteberg Groep sowel as Dwyka tilliet van die Karoo Opeenvolging. Die tilliet is 'n harde blougerige rots wanneer onverweer. In die oorloop is rotsblokke van 'n paar meter in diameter opgemerk. Die groot rotsblokke is heelwaarskynlik deur die vloed van 1982 uitgespoel en in hul huidige posisie afgeset. Die gelaagdheid hel suidwaarts teen $\pm 35^\circ$. Die spasiëring van die nate is ongeveer 0,5 m. Die gesteentes hel stroomaf wat tot 'n groter erosiepotensiaal tot gevolg het.

Beskrywing van Erosiesones

As gevolg van die water in die oorloop gebied kon die beskrywing nie volledig uitgevoer word nie. Geen intakte rots kon waargeneem word nie. Volgens die foto's en van wat op die terrein waargeneem is, kan die oorloopkanaal egter in twee erosiesones opgedeel word.

Erosiesone 1 (E1)

Hierdie erosiesone is 50 m stroomaf van die hulpwal waar matige erosie plaasgevind as gevolg van water wat oor die wal gevloei het. Die rots is matig verweerde tilliet. Erosiepunt 1 is hier beskryf.

Erosiesone 2 (E2)

Die gebied strek vanaf die oorloopstruktuur tot waar die rotsblokke begin. Groot skaalse erosie het in die gebied plaasgevind omdat die vloeisnelheid van die water hier, die grootste was. Soos die vloeisnelheid verminder het is die rotsblokke en gruis agtergelaat. Erosiepunt 2 kom in hierdie sone voor. Die erosiepunt is teen die linkerflank wat ook die rots wat erodeer het verteenwoordig geneem.

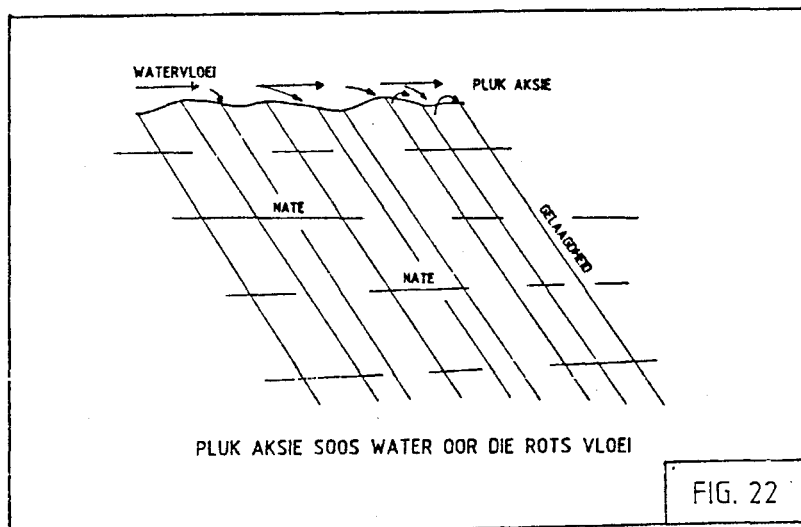
Erosiesone 3

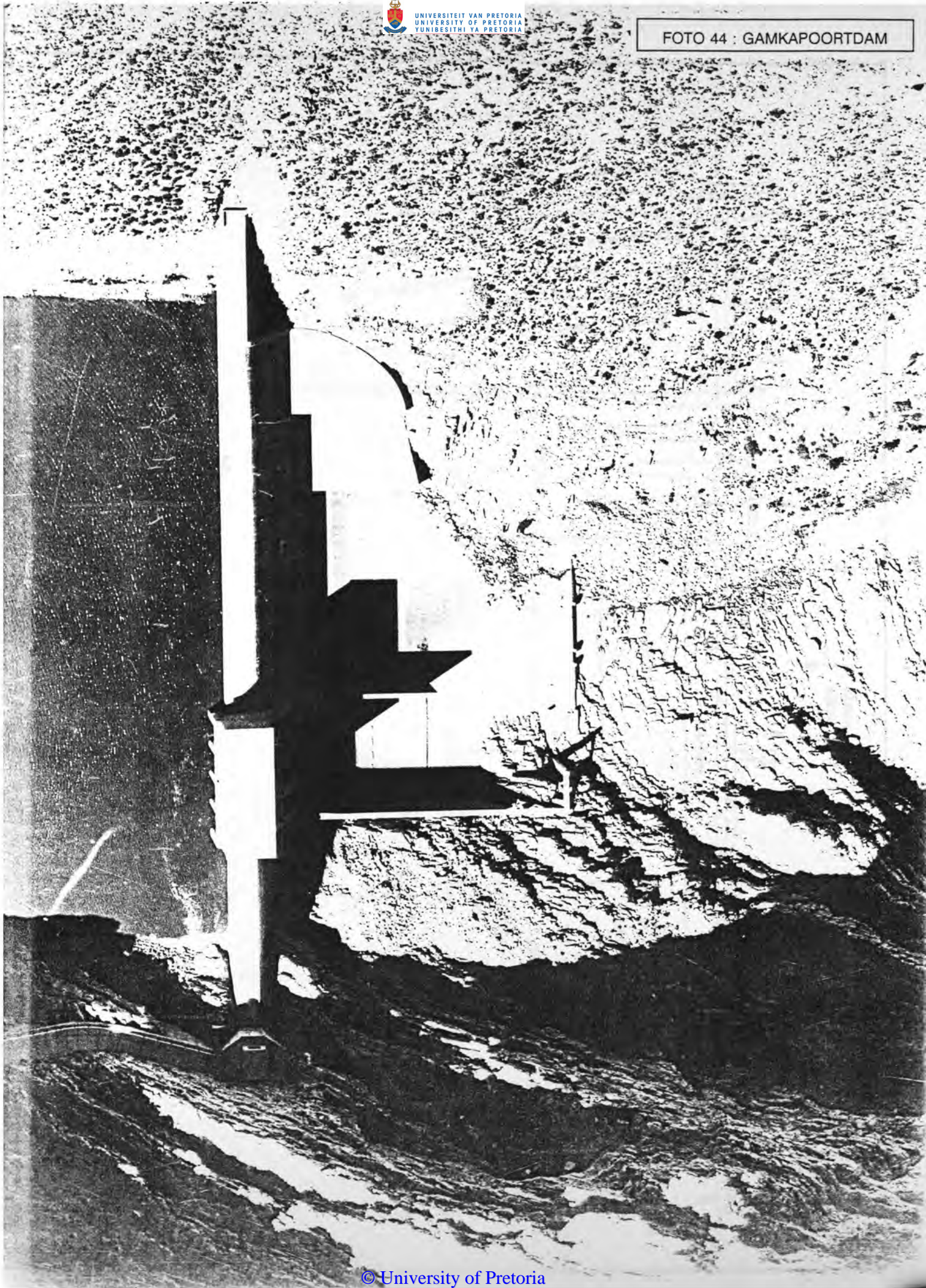
Hierdie gebied word deur die afgesette rotsblokke verteenwoordig. Die vloeisnelheid het sodanig afgeneem dat die massiewe tilliet rotsblokke nie meer deur die water aangevoer kon word nie. Die tilliet rotsblokke se maksimum deursnee is ± 5 m en hul minimum deursnee is $\pm 0,5$ m. Die volgende naatstelle kom in die regterflank van die oorloop voor:

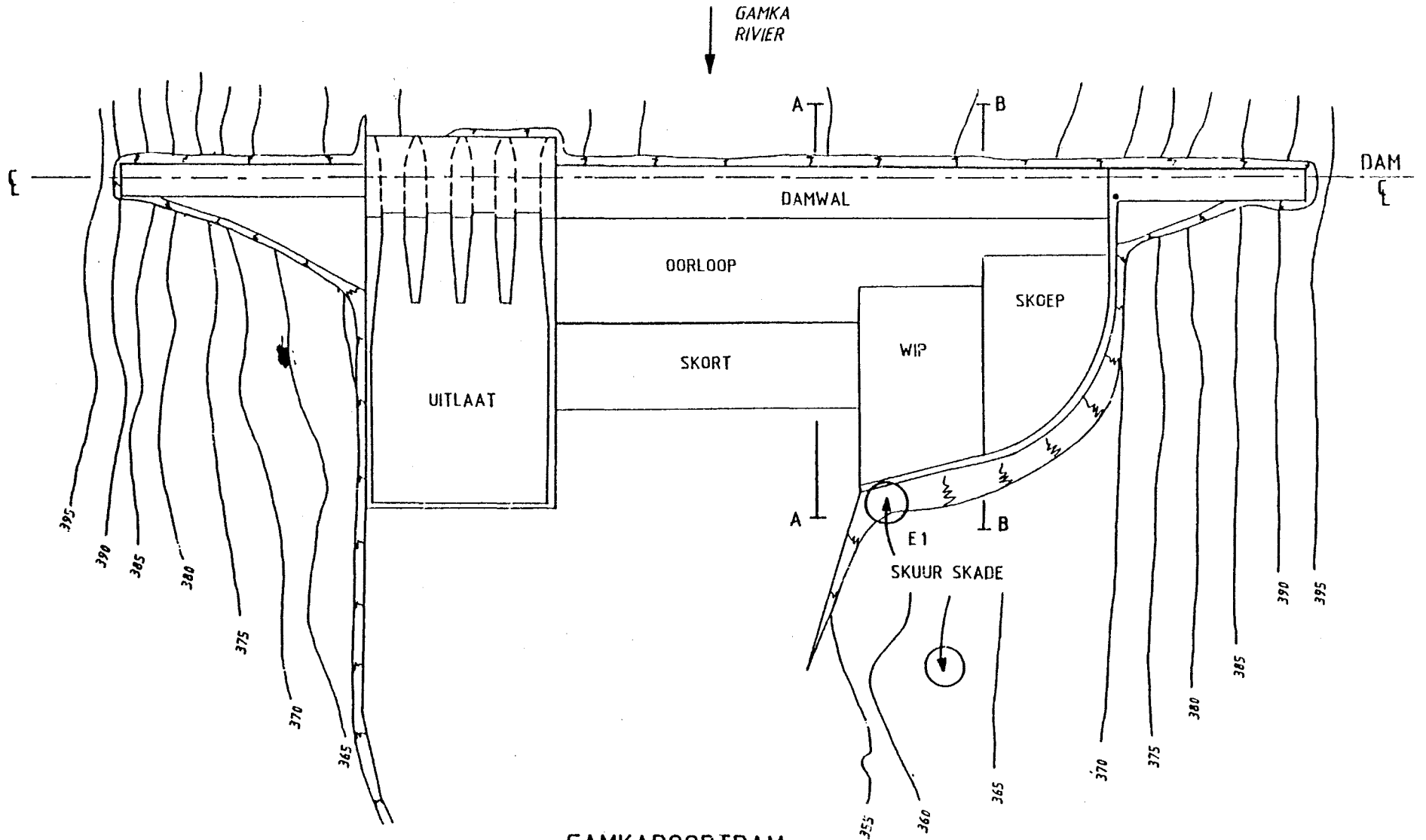
1. Lae hoek nate wat 22° - 32° stroomaf hel.
2. Steil nate wat 60° - 75° stroomaf hel.
3. Steil nate wat stroomop hel.
4. Nate wat parallel met die rivier loop en 5° stroomaf hel.

Die nate is meesal dig gespaseer. Die verskillende naatstelle veroorsaak dat die tilliet in verskillende blokke van verskillende groottes en vorm verdeel word. Sodra die water een van die blokke (sleutelblokke) verwyder, word die daaropvolgende rotsblok verwyder totdat meer intakte rots die proses weer stabiliseer. Waar die krag van die water te klein is om die rotsblokke verder te vervoer word die rotsblokke agtergelaat.

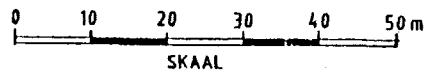
Verwering het langs die nate en laagvlakke plaasgevind wat die erosie proses vergemaklik het omdat die water die nate kan binnedring. Die tilliet is 'n harde rots maar die nate en veral die stroomaf hellende laagvlakke is swakhede in die rotsmassa. Die swak verweerde materiaal langs naat- en laagvlakke word maklik uitgespoel en veroorsaak groter openinge waar die water dit kan binnedring. As gevolg van die stroomaf hellende aard van die tilliet vind 'n pluk aksie van die rotsblokke plaas soos die water oor die rots vloei. Figuur 22 illustreer hierdie pluk aksie soos water oor die rots vloei.



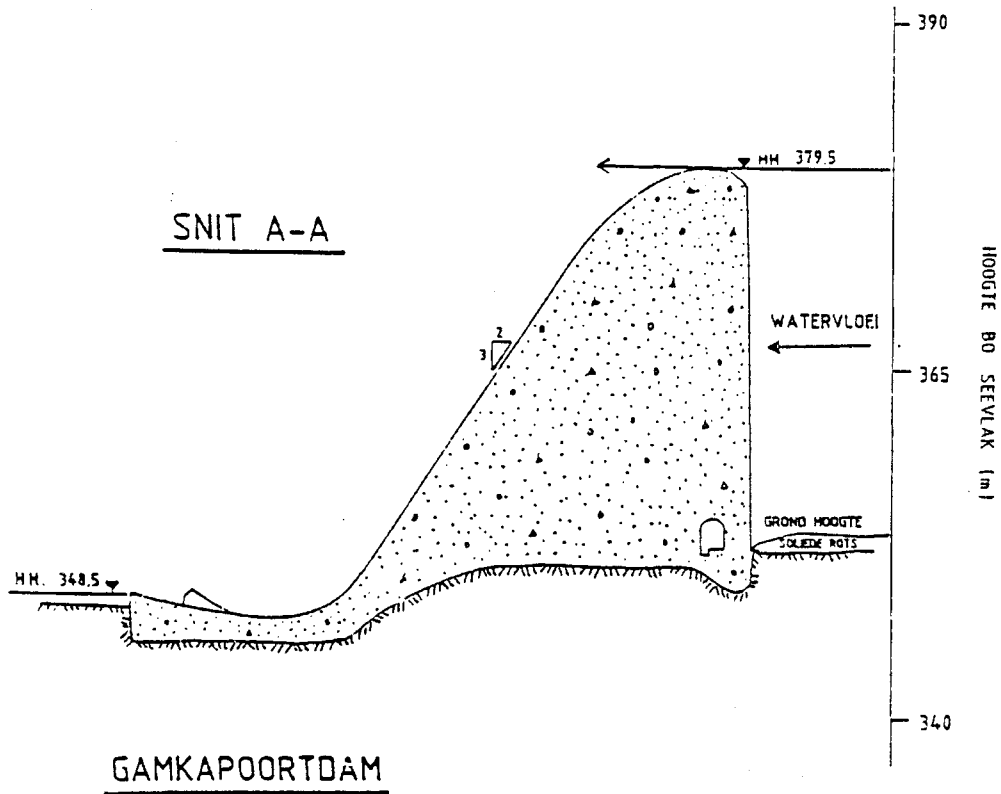




GAMKAPOORTDAM



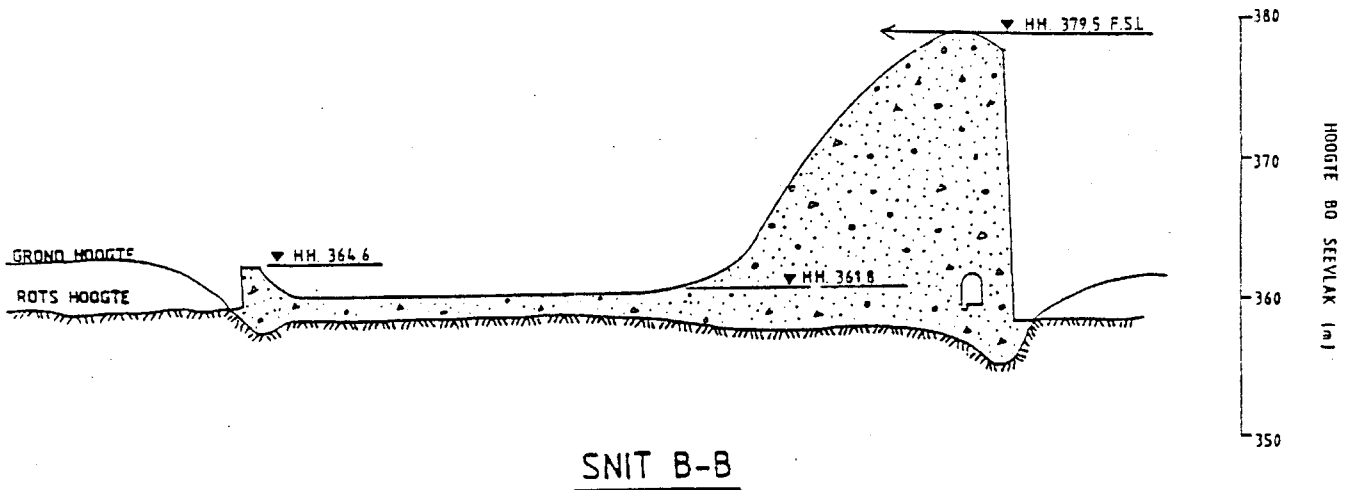
FIGUUR 23.



Maks. uitvloeï : 4620 m³/s (1981)

Kruinlengte
(oorloop) : 100,6 m

Skaal : 1:500



FIGUUR 24.

5.3.6 Gamkapoortdam

Gamkapoortdam (Foto 44) is 'n beton swaartekrag dam wat 40 km wes van Prince Albert in die Gamkarivier geleë is. Die dam is in 1969 voltooi. Figuur 23 is die algemene plan van die damwal. 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 dubbel wipskoep struktuur in die linkerflank van die wal om die oorfloei water se krag te dissipeer (Figuur 24). Die oorfloei water val gedeeltelik op die skort area en gedeeltelik op rots. Vier groot radiale hekke in die nie - oorloopgedeelte van die wal dien as vloed- en slikuittate. 'n Skort kom stroomaf van hierdie strukture voor.

Die damwal is gefundeer op kwartsitiese sandsteen van die Tafelberg Groep, Kaap Supergroep, op 'n noordelike deel van 'n groot antiklien. Die gemiddelde helling van die rots is stroomop. Kruisgelaagdheid asook gelaagdheid is goed ontwikkel. Dun bande van kleierige sandsteen kom tussengelaagd met die kwartsitiese sandsteen voor. Hierdie materiaal is hard indien dit vars is, maar sag en maklik erodeerbaar wanneer dit verweerd en nat is (Steenstra, 1961).

Die rots is gebreksieerd as gevolg van tektoniese bewegings. Plooiing het tot 'n groot verskeidenheid naatstelle gelei. Een erosiesone is identifiseer.

Erosiesone 1 (E1)

Erosiesone 1 en erosiepunt 1 (E1) is net stroomaf van die wipskoep soos op Figuur 23 aangedui word. Op Foto 45 kan die erosie wat stroomaf van die wipskoep plaasgevind het deur maalaksie waargeneem word.

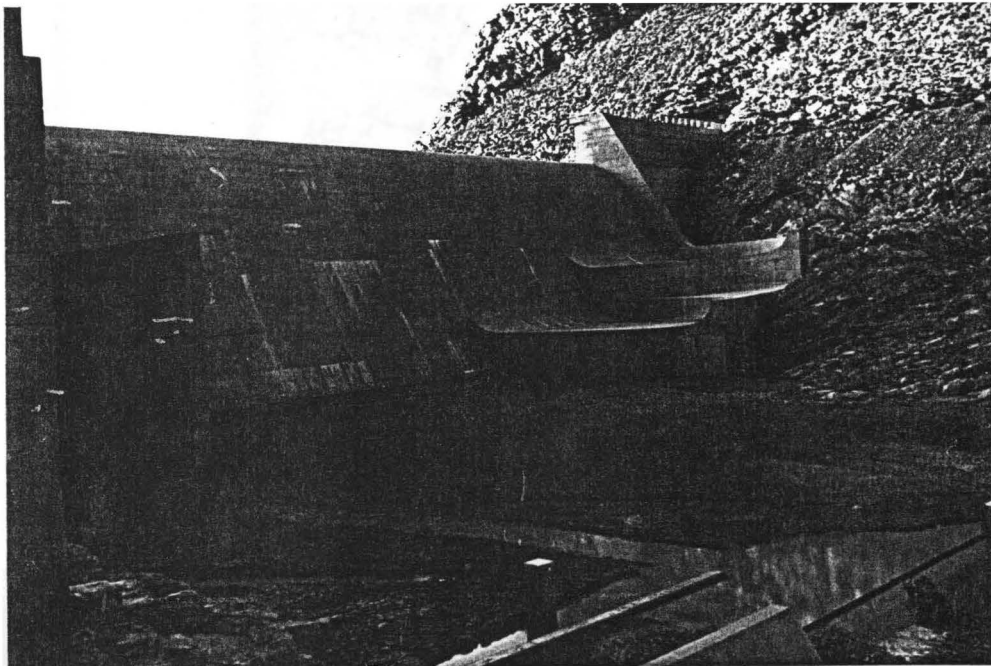
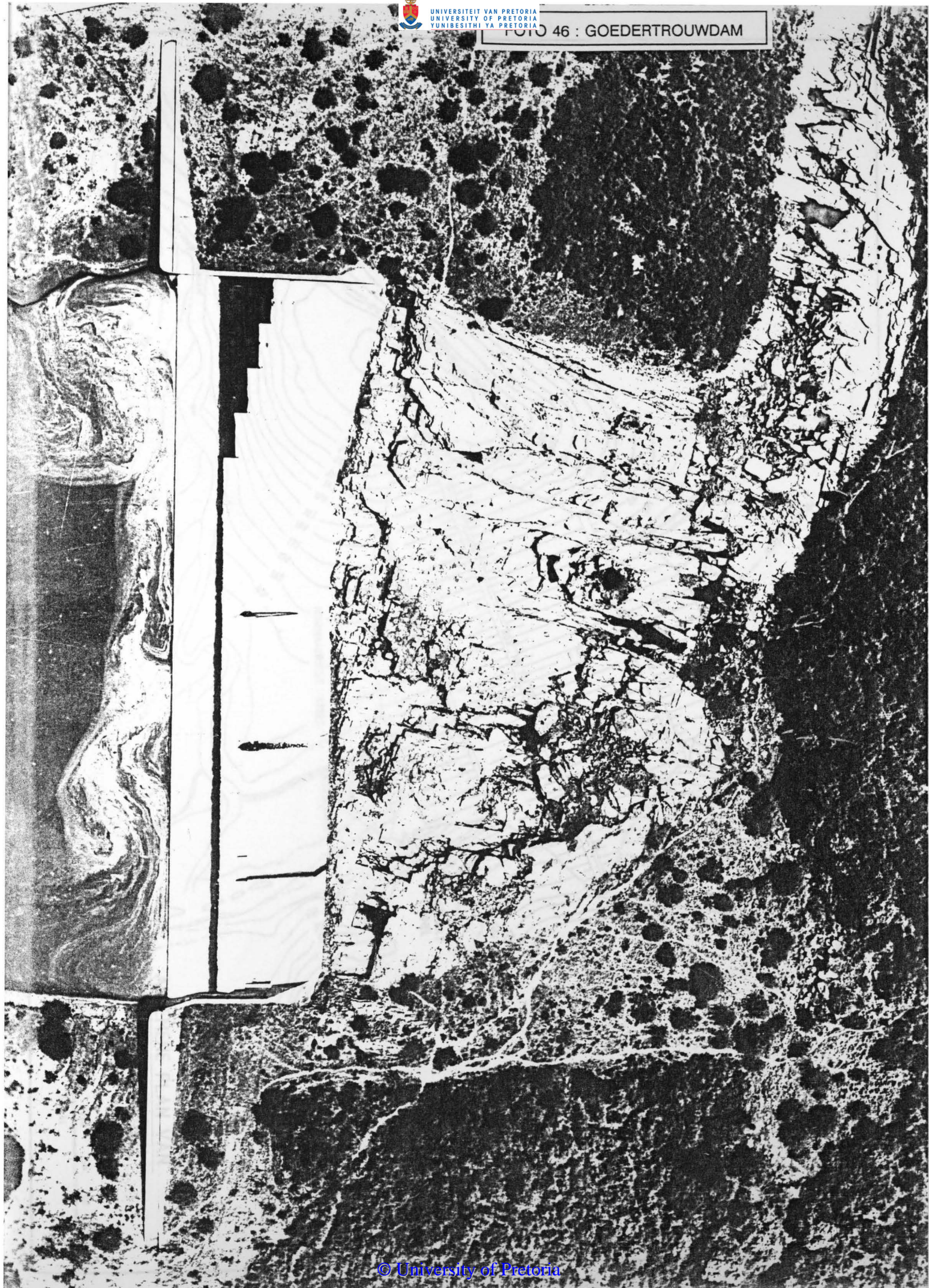
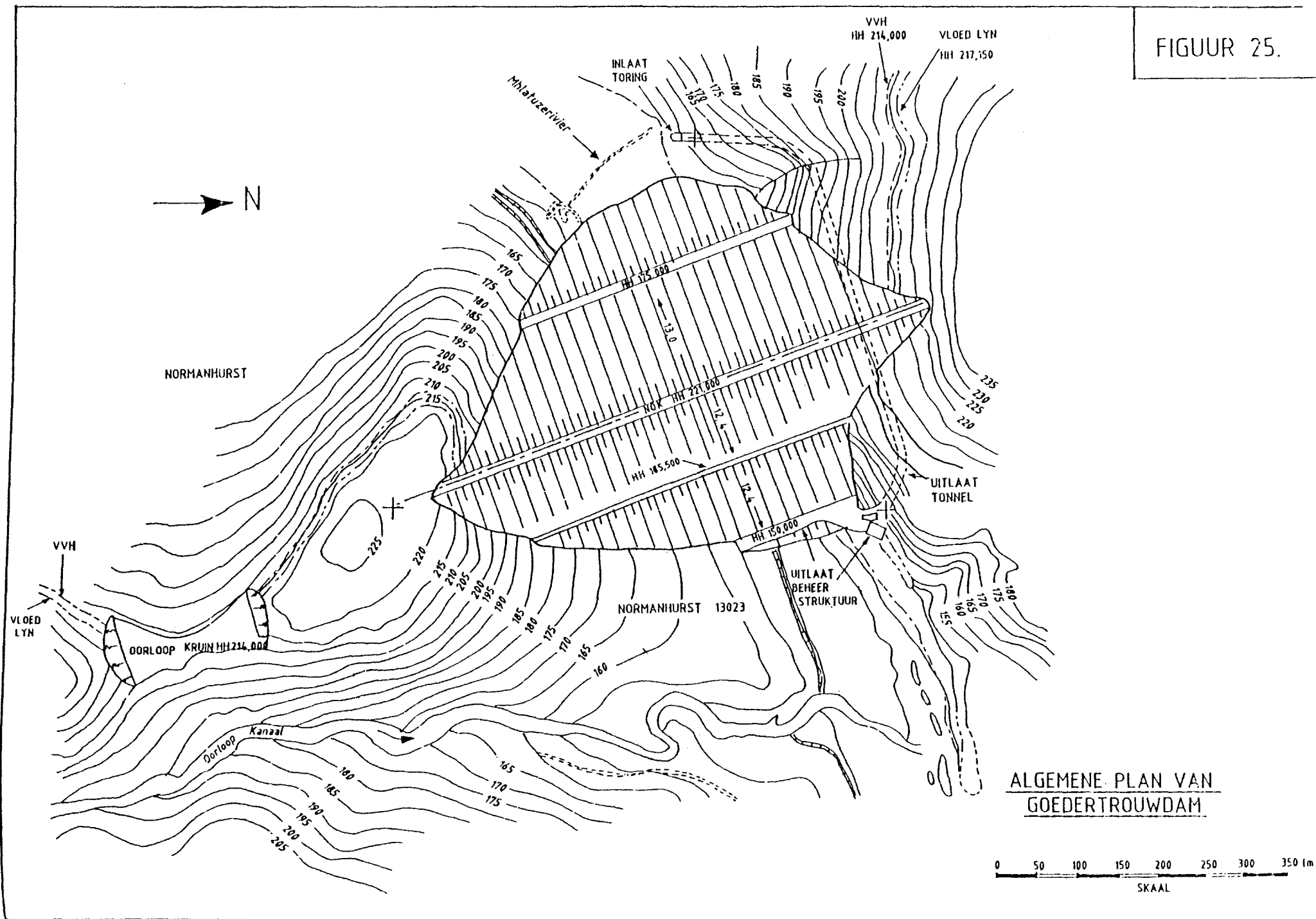


FOTO 45 : Erosieskade stroomaf van wipskoep by Gamkapoortdam



FIGUUR 25.

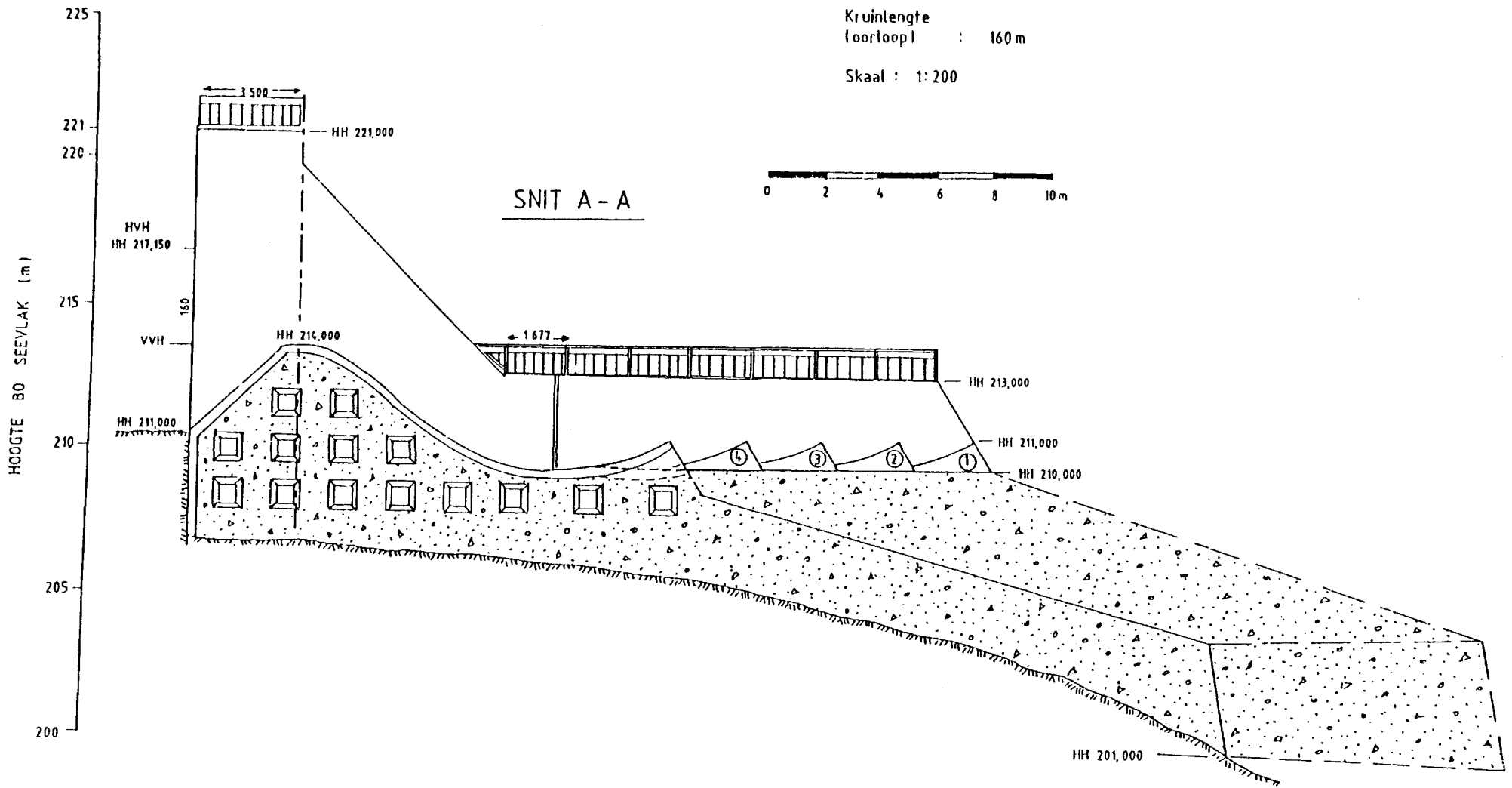


GOEDERTROUWDAM OORLOOP

Maks. uitloop : 590 m³/sek (1987)

Kruinlengte
(oorloop) : 160 m

Skaal : 1:200



FIGUUR 26.

5.3.7 Goedertrouwdam

Hierdie dam is 'n gesoneerde grondvuldam wat 87m hoog en 630m lank is (Foto 46). Die dam is 12 km van Eshowe in die Mhlatuzerivier geleë. Dit is in 1982 voltooi. Figuur 25 is die algemene plan van die damwal en oorloop. Die doel van die dam is om 'n betroubare water toevoer aan die Richards Baai - Empangeni kompleks asook die Nkwadini Besproeiingskema te verleen.

Dwyka tilliet van die Karoo Opeenvolging beslaan die terrein. Die gesteente heï effens stroomaf ten opsigte van die oorloop struktuur. 'n Tipiese verweringspatroon is as soos volg:

- 1 - 2m : Bogrond
- 2 - 4m : Totaal verweerde tilliet
- 4 - 6m : Hoogs verweerde tilliet
- 6 - 9m : Middelmattig verweerde tilliet
- 9 - 20m: Effens verweerde tilliet

In - situ vertering van tilliet veroorsaak 'n rooi-bruin, fynkorrelrige sanderige klei (Montmorilloniet). Nate in die onverweerde tilliet is wyd gespaseerd. Die hoogs verweerde tilliet is baie dig genaat. Onderskeid is gemaak tussen twee tipes nate in die rotsmassa (George et al, 1984) ni:

- 1) Primêre strukturele nate
- 2) Sekondêre verweerde nate

Die primêre naatstelle kan op die bodem van die oorloop waargeneem word. Twee van die naatstelle het byna 'n vertikale helling en sny mekaar loodreg om reghoekige rotsblokke te vorm. Die derde naatstel het 'n sub - horisontale helling en hierdie naatstel is verantwoordelik vir die meeste erosie. Al die naatstelle is aaneenlopend. Spannings verligting of vertering wat langs nate veroorsaak die sekondêre nate.

Oorloop

Die oorloop is in 'n nek in die regterflank geleë en bestaan uit 'n beton oorloopstruktuur met 'n wipskoep (Figuur 26). Konstruksie van die oorloop is in 1979 begin en in Junie 1982 voltooi. Price en Bester (1978) het voorgestel dat al die uitgraafbare (rippable) materiaal verwyder word in die oorloop. Gordyn sementering is ook voorgestel om deursyfering onder die oorloopstruktuur te verhoed.

Beplanning is gedoen met die veronderstelling dat erosietempo afhanklik is van skuringtempo. Erosie is egter ook afhanklik van baie ander faktore soos spasiering en oriëntasie van naatstelle, sterkte van naatvulmateriaal en ook verweringsgraad van die rots.

George (1984) het beraam dat 'n 1 in 20 jaar vloed (300 kumek) al die hoogs en matig verweerde rots sal verwyder. Hierdie erosie sou 'n vertikale front van middelmattig verweerde tilliet, 10 tot 15m hoog, onder die basis van die wipskoep en stroomaf van die oorloop veroorsaak. Verder is erosie van die onderliggende, effens verweerde rots, binne 5 - 10 jaar verwag. Hierdie erosie sou 'n totale front hoogte van 20m veroorsaak.

Die ontwerp van die oorloop struktuur is so verander dat dit 'n beton skort stroomaf van die oorloop struktuur besit. Die rots sal met hierdie ontwerp aan vloei skuring in teenstelling met impak skuring blootgestel word. Die water wat deur die wipskoep gelig word val op betonbekleding.

Erosie

Die water vloei in die rigting van die helling van die sub - horisontale naatstel wat die erosiepotensiaal verhoog. Die ander twee naatstelle sny mekaar loodreg wat die tilliet in blokke verdeel.

Die volgende naatstelle is identifiseer (George, 1984):

1. Helling 75 - 90° Rigting 75 - 105° of 255 - 285°
2. Helling 75 - 90° Rigting 340 - 202° of 160 - 200°
3. Helling 0 - 10° Rigting ewekansig (sub - horisontaal)

Die nate is aaneenlopend, matige ruheidsgraad en golwing en is matig gespaseerd.

Foto 47 dui die mate van erosie stroomaf van die oorloop en op die brugpilare aan.

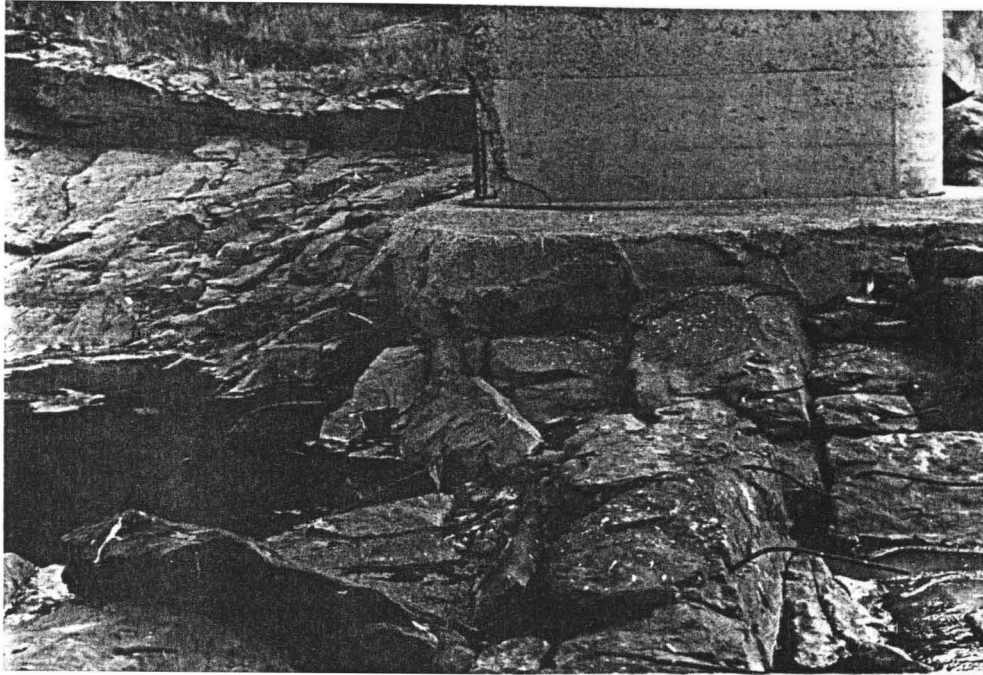


FOTO 47 : Erosie van brugpilare in oorloopkanaal.

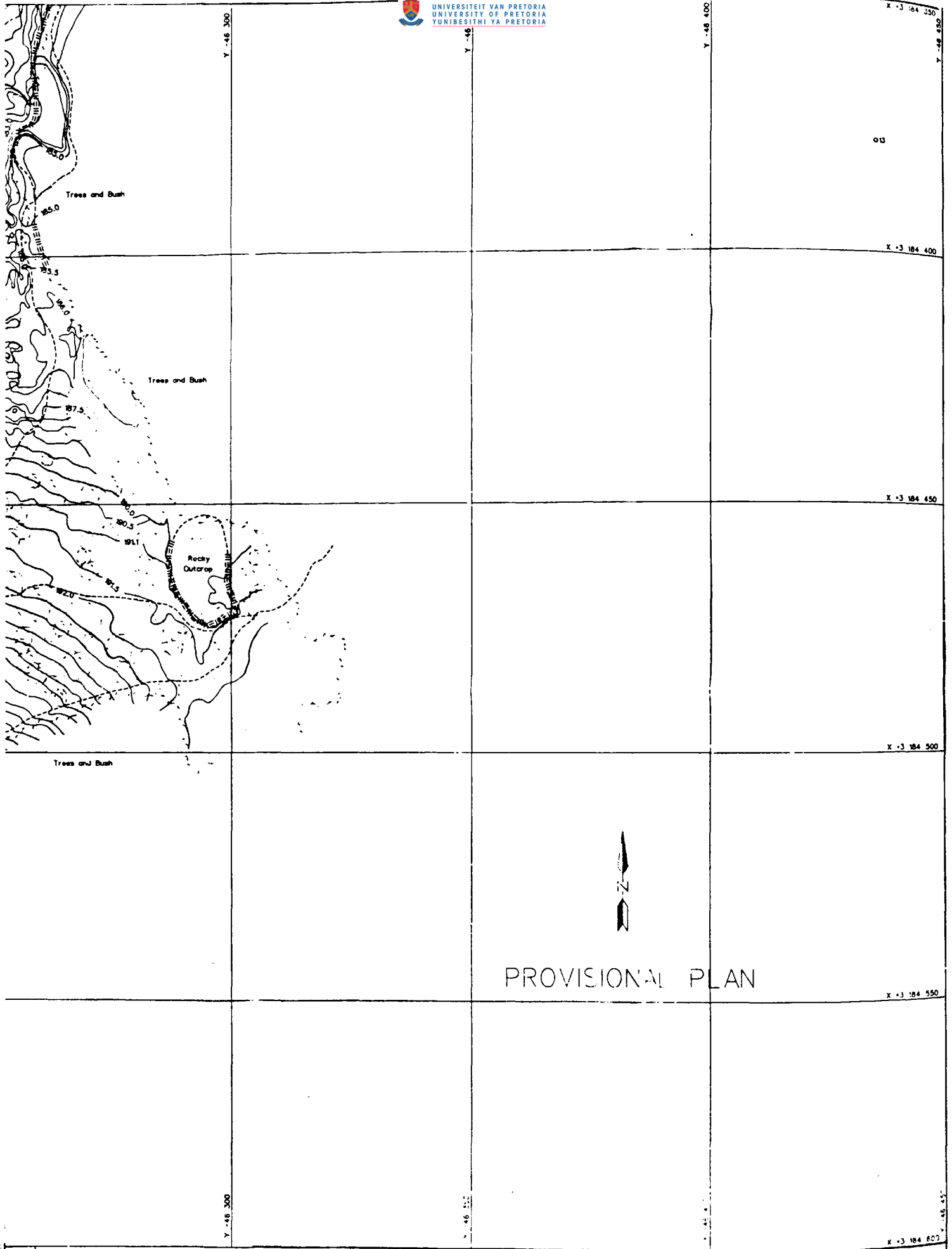
Meganisme van erosie met betrekking tot vulmateriaal

Die nate is gevul met montmorilloniet klei en varieer in wydte van 1 mm tot 75 mm. Die water kan dus die sagte vulmateriaal baie maklik uitspoel en die nate binnedring. Die water veroorsaak ook dat die klei in die nate swel en sodoende die rotsblok losmaak. Water vul ook die skoongespoelde nate en veroorsaak opligdruk. Hierdie twee faktore saam veroorsaak grootskaalse erosie.

Groot rotsblokke van $\pm 4,5 \text{ m}^3$, wat deur die water beweeg is, kan waargeneem word. Indien die foto's van 1991 met vroeëre foto's vergelyk word, kan die omvang van die erosie as gevolg van een groot vloed waargeneem word.

'n Gedetailleerde (1:500) topografiese kaart (Figuur 27 A en B) is van die gebied opgestel. Die oorspronklike 1:500 kaarte is verklein sodat dit in die verhandeling getoon kan word. Die volume materiaal verwyder is deur vergelyking van hierdie kaart met ouer kaarte bepaal. Figuur 28 is 'n lengtesnit deur die oorloop wat die erosiediepte asook die posisies van die erosiepunte aandui. Daar is met die hulp van Opmetingsdienste, Departement Waterwese en Bosbou bereken dat 46 151 m^3 materiaal, tot by die brug, verwyder is. Rotsblokke wat deur die water meegesleur is het ook erosie van die brugpilare veroorsaak (Foto 47).

Dit is duidelik dat grootskaalse erosie weer met die volgende vloed kan plaasvind. Die rotsblokke en naatvulmateriaal is verweer as gevolg van die nat en droog siklusse en is dus hoogs erodeerbaar.

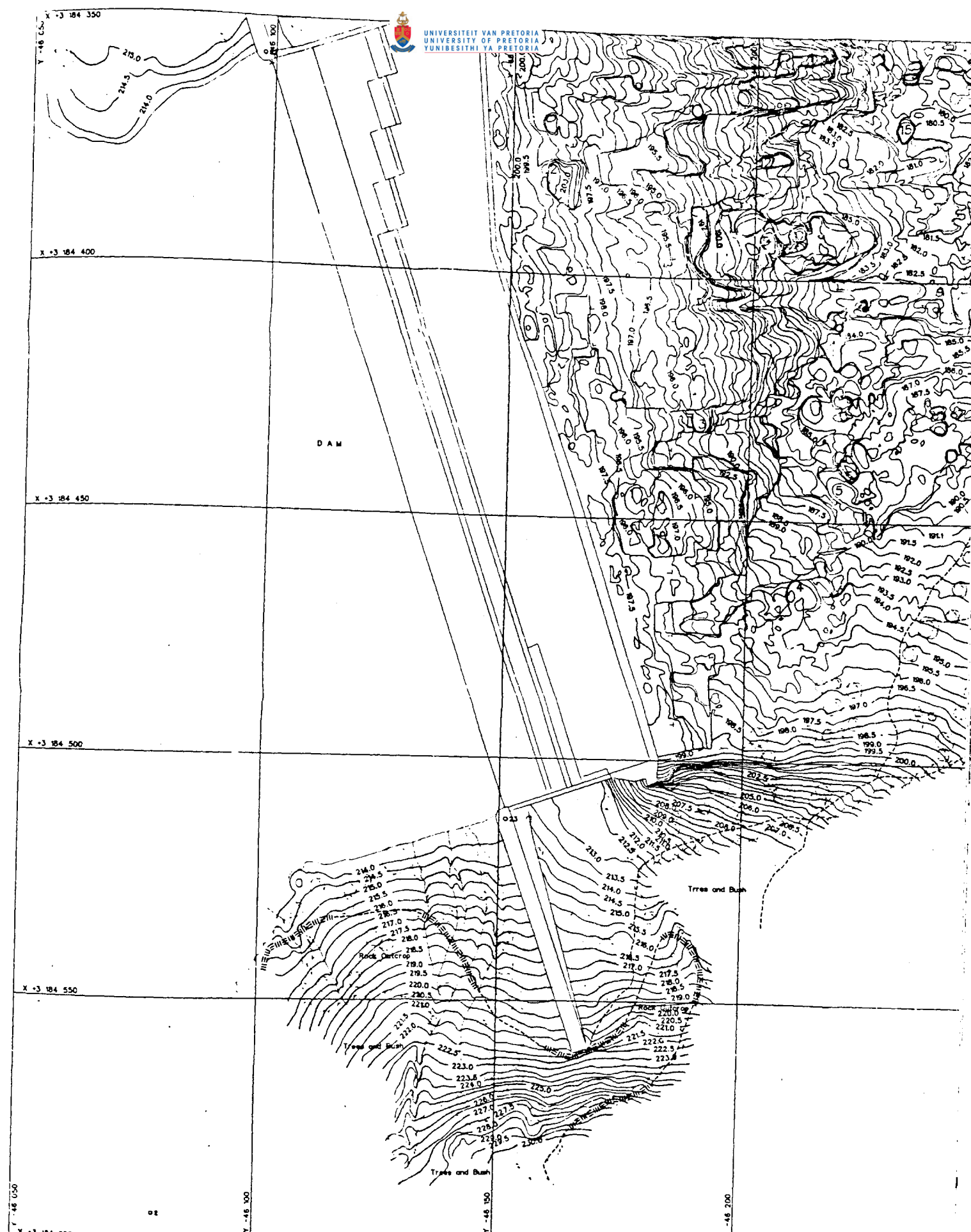


DIREKTORAAT OPMETINGSDIENSTE		DIRECTORATE SURVEY SERVICES	
PRIVAATSAR 3313 PRIVATE BAG PRETORIA 0001			
OPGHEWELT SURVEY		WAGETREK TRACED	
SAAMGESTEL COMPILED		TOPOGRAFIË NAGESKEM TOPOGRAPHY CHECKED	
FOTOGRAAF PHOTOGRAPH		KADASTRALE NAGESKEM CADASTRAL CHECKED	
Nr/No	HERSIENING/REVISION		HELEND DATE

REPUBLIEK VAN SUID-AFRIKA
DEPARTEMENT VAN WATERWES EN BOSBOU
DISTRIK
LUSTRIK



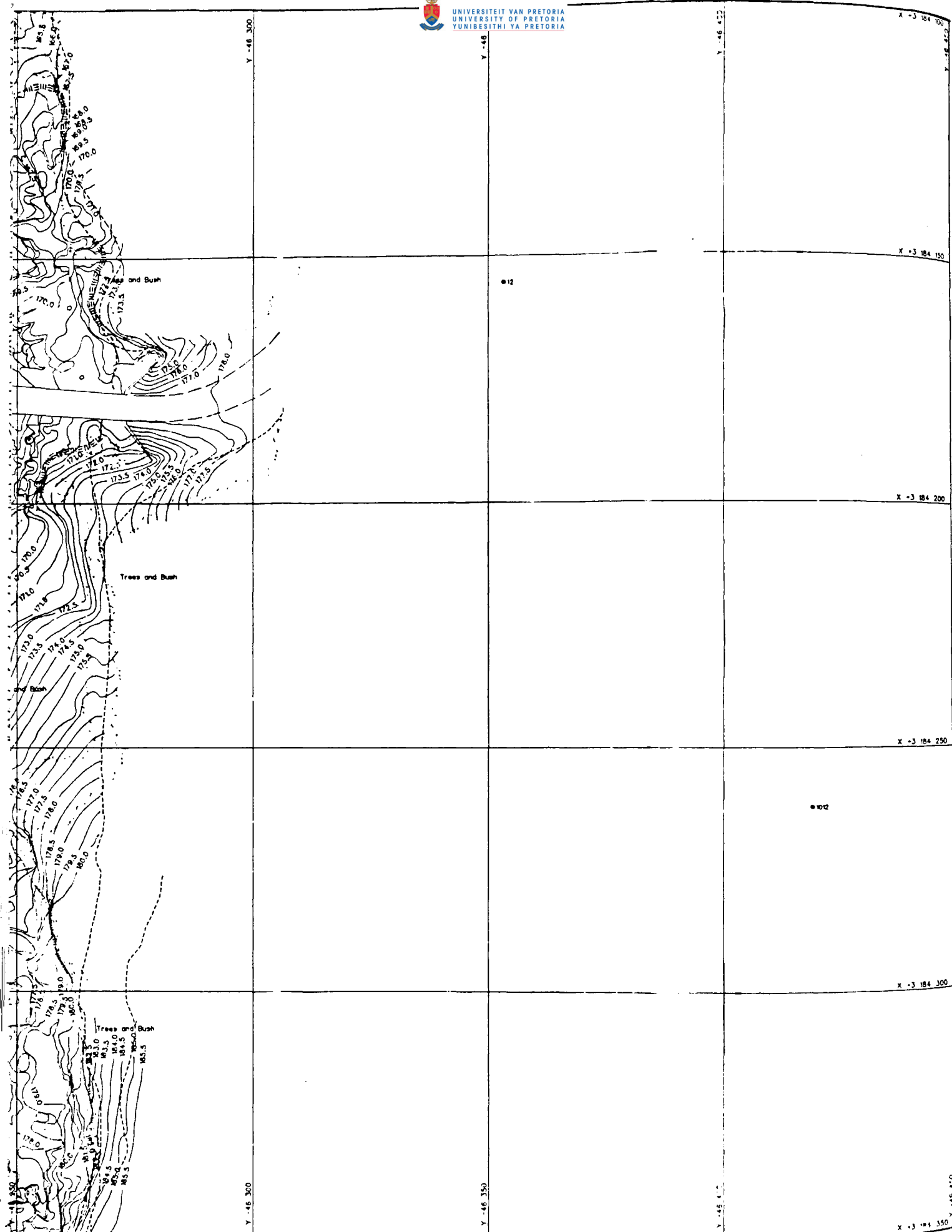
REPUBLIC OF SOUTH AFRICA
DEPARTMENT OF WATER AFFAIRS & FORESTRY
GOEDERTROUW DAM
FIGUUR 27A : TOPOGRAFIESE KAART
VAN OORLOOPKANAAL.
REG. NR./REG. NO.



KOORDINAATSTELSEL LU			
METERS BO STEPIESEL			
M.H. VANAF	Y	X	M.H.
STASIE			

CO-ORDINATE SYSTEM LU			
METERS ABOVE M.S.L.			
R.L. FROM	Y	X	R.L.
STATION			

VERTIKALE/SHEET LAYOUT	



DIREKTORAAT OPMETINGSDIENSTE DIRECTORATE SURVEY SERVICES

PRIVAATSAK X313 PRIVATE BAG
PRETORIA
0001

OPTEKENER E. MEYER	NACETREK TRACED
SAAMGESTEL COMPILED	TOPOGRAFIË NAGESK TOPOGRAPHY CHECKED
FOTOGRAFIE PHOTOGRAPHY	KADASTRAAL NAGESK CADASTRAL CHECKED

N ^o /No	HERSIENING/REVISION	DATUM DATE

REPUBLIEK VAN SUID-AFRIKA

DEPARTEMENT VAN WATERWES EN BOSBOU



REPUBLIC OF SOUTH AFRICA

DEPARTMENT OF WATER AFFAIRS / FORESTRY

GOFDETROUWDM

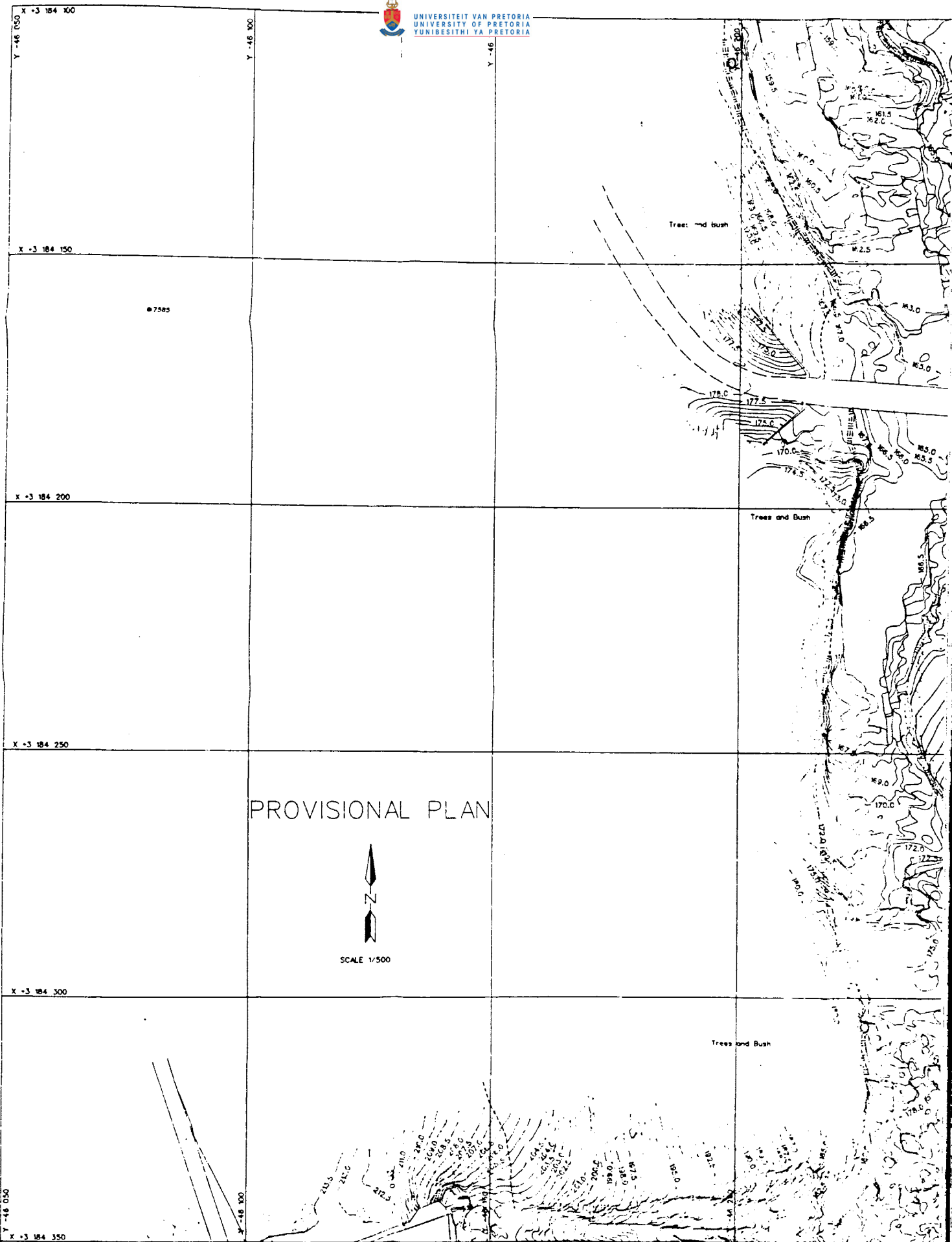
FIGUUR 27B TOPOGRAFIËSE KAART
VAN OORLOOPKANAAL

DISTRIK
DISTRICT
OPMETINGSDIENSTE
SURVEY SERVICES



1:50 000

REG. NO. REG. NO.



PROVISIONAL PLAN



SCALE 1/500

MM SANAT
KOORDINAATSTELSEL LO
METERS BO SEESPIL

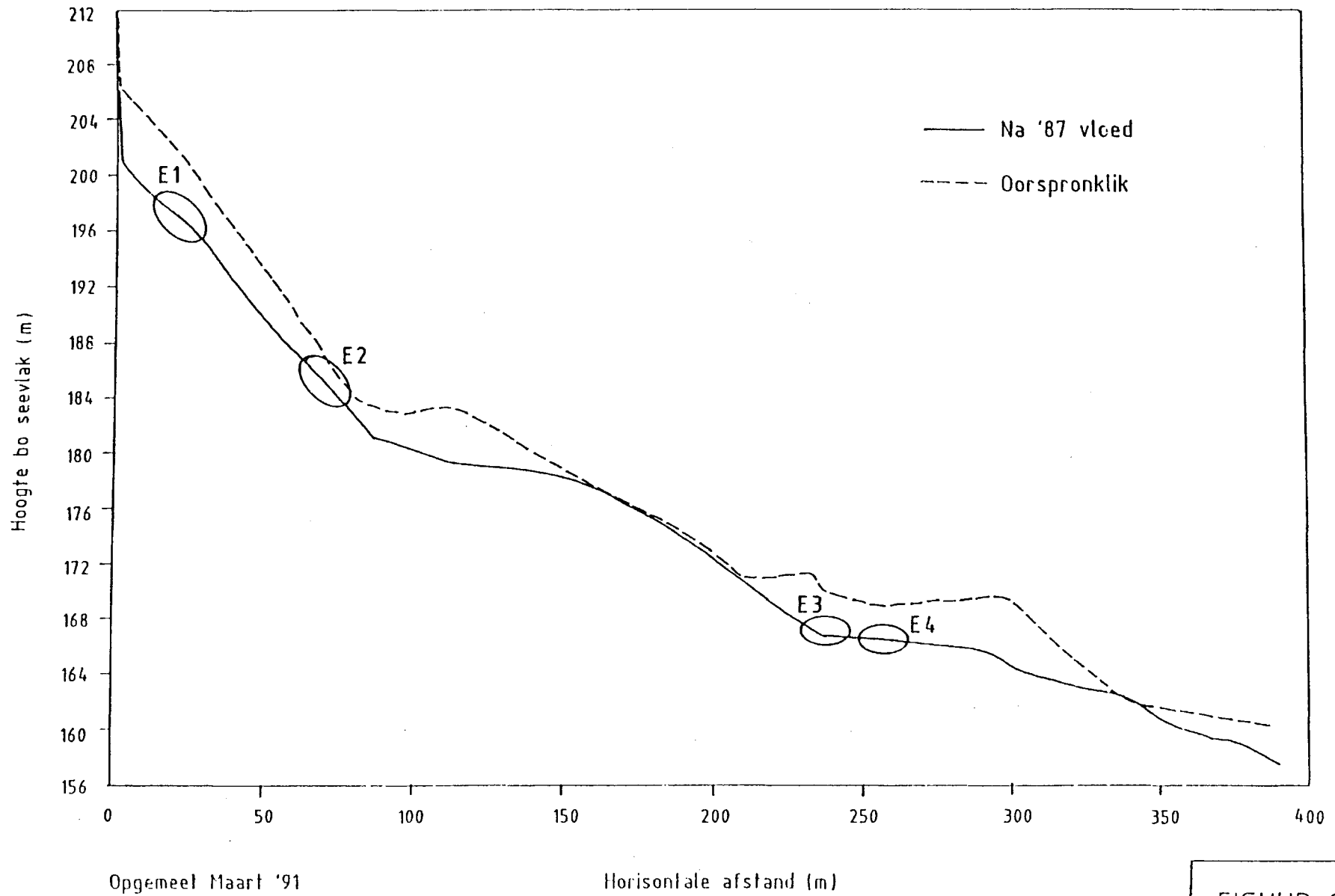
STASIE	Y	X	HH

R.L FROM
CO-ORDINATE SYSTEM LO
METERS ABONE M S I

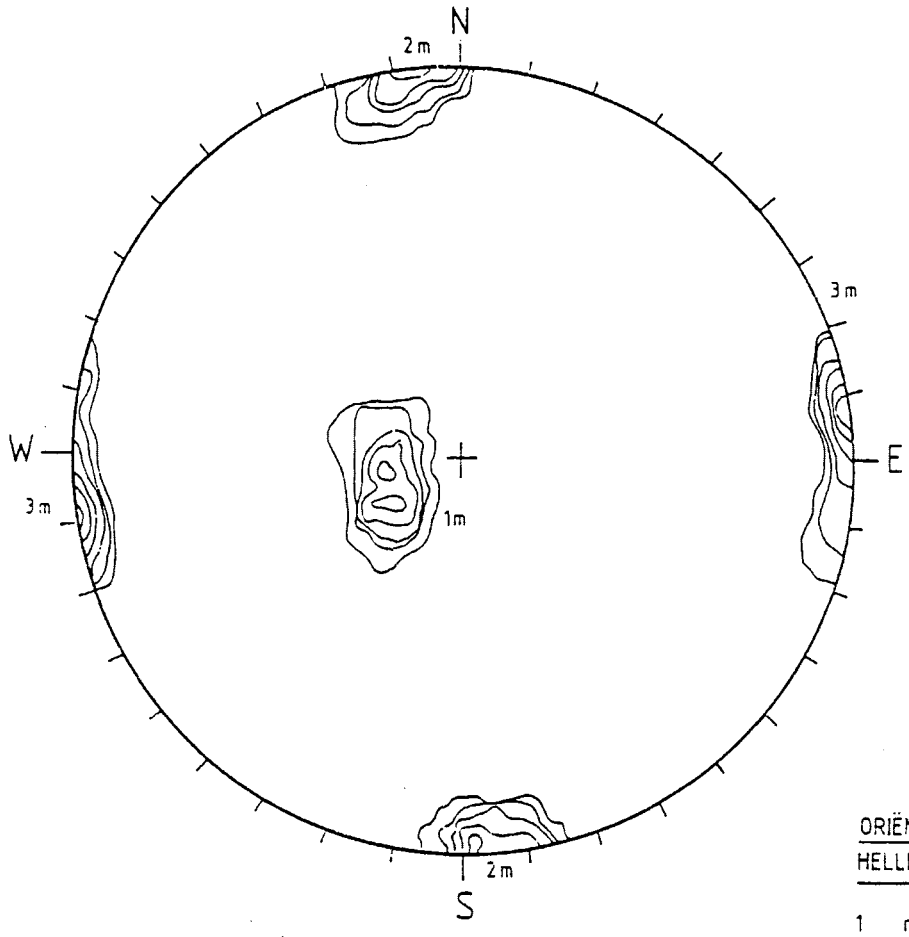
STATION	Y	X	RI

WATTEKOPASHELE TAWOLE

GOEDERTROUWDAM OORLOOP KANAAL



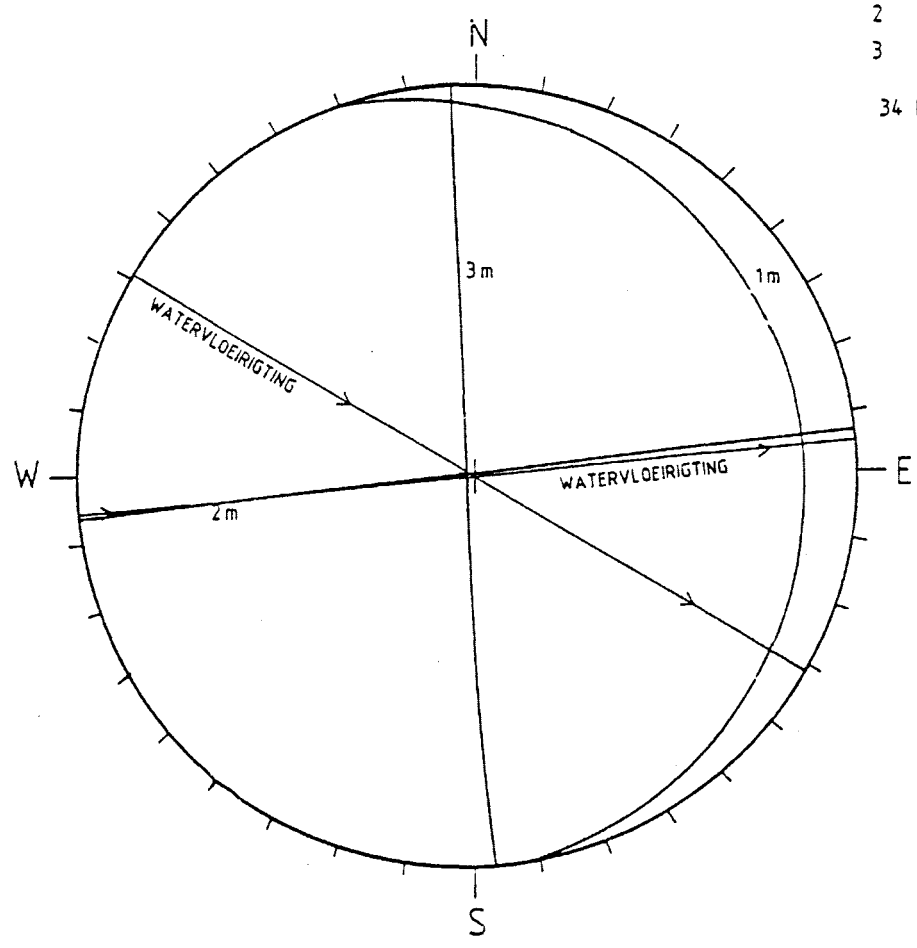
FIGUUR 28.



ORIËNTASIES
HELLING/HELRIJTING

- 1 m 15/075
- 2 m 90/353
- 3 m 89/267

34 POLES



PRIMÈRE NAATSTELLE 23 AUGUSTUS 1991

FIGUUR 29.

Data opname

Foto's en lugfoto's is ook van die oorloop geneem. 'n Volledige foto databank is opgestel. Saam met die foto databank is naatstelle gemerk, potensieël erodeerbare rotsblokke gemerk en opgemeet, naatoriëntasies bepaal en naatvulmateriaal vir XRD analise gestuur. Die naatstelle en rotsblokke is met wit verf gemerk sodat dit op 'n lugfoto sigbaar is.

Vier en dertig nate is opgemeet en op 'n Schmidt net geplot. Tabel 27 is 'n opsomming van die naatoriëntasies. Die hoofnaatrigtings asook die watervloei rigting word op Figuur 29 aangetoon. Die water vloe saam met naatstel 1 wat die erosiepotensiaal verder verhoog. Die watervloei rigting is 106 en 141 grade (die kanaal draai). Magnetiese deklinasie is 19,7 grade Wes van Noord.

TABEL 27 : Oriëntasies van diskontinuiteite by Goedertrouwdam

Nr.	Helling	Rigting	Nr.	Helling	Rigting
1	89	276	18	85	013
2	90	278	19	79	022
3	88	278	20	90	204
4	90	287	21	90	192
5	89	105	22	83	016
6	90	282	23	88	187
7	86	304	24	13	164
8	86	287	25	13	092
9	89	296	26	21	119
10	89	281	27	15	126
11	86	300	28	19	123
12	79	159	29	17	084
13	81	189	30	16	074
14	79	184	31	22	066
15	85	193	32	23	068
16	89	193	33	17	068
17	82	013	34	16	095

Beskrywing van Erosiesones

Drie erosiesones en vier erosiepunte in die erosiesones is identifiseer en beskryf.

Erosiesone 1 (E1 & E2)

Hierdie sone is stroomaf van die oorloopstruktuur tot waar die oorloopkanaal draai. Die erosiesone strek tot $\pm 100\text{m}$ stroomaf van die oorloopstruktuur. Twee erosiepunte (E1 en E2) kom in hierdie sone voor. Erosiepunt 1 toon matige erosie en erosiepunt 2 is by hoogs verweerde tilliet en die oorsaak van baie erosie.

Erosiesone 2 (E3 & E4)

Die erosiesone sterk van die draai in die kanaal tot by die brug wat oor die kanaal gaan. Erosiepunt 3 (E3) is op harde tilliet wat agtergebly het na die vloed. Dit is harde intakte rots wat geen tot min erosie toon. Erosiepunt 4 (E4) is hoogs verweerde tilliet en baie erosie het plaasgevind.

Erosiesone 3

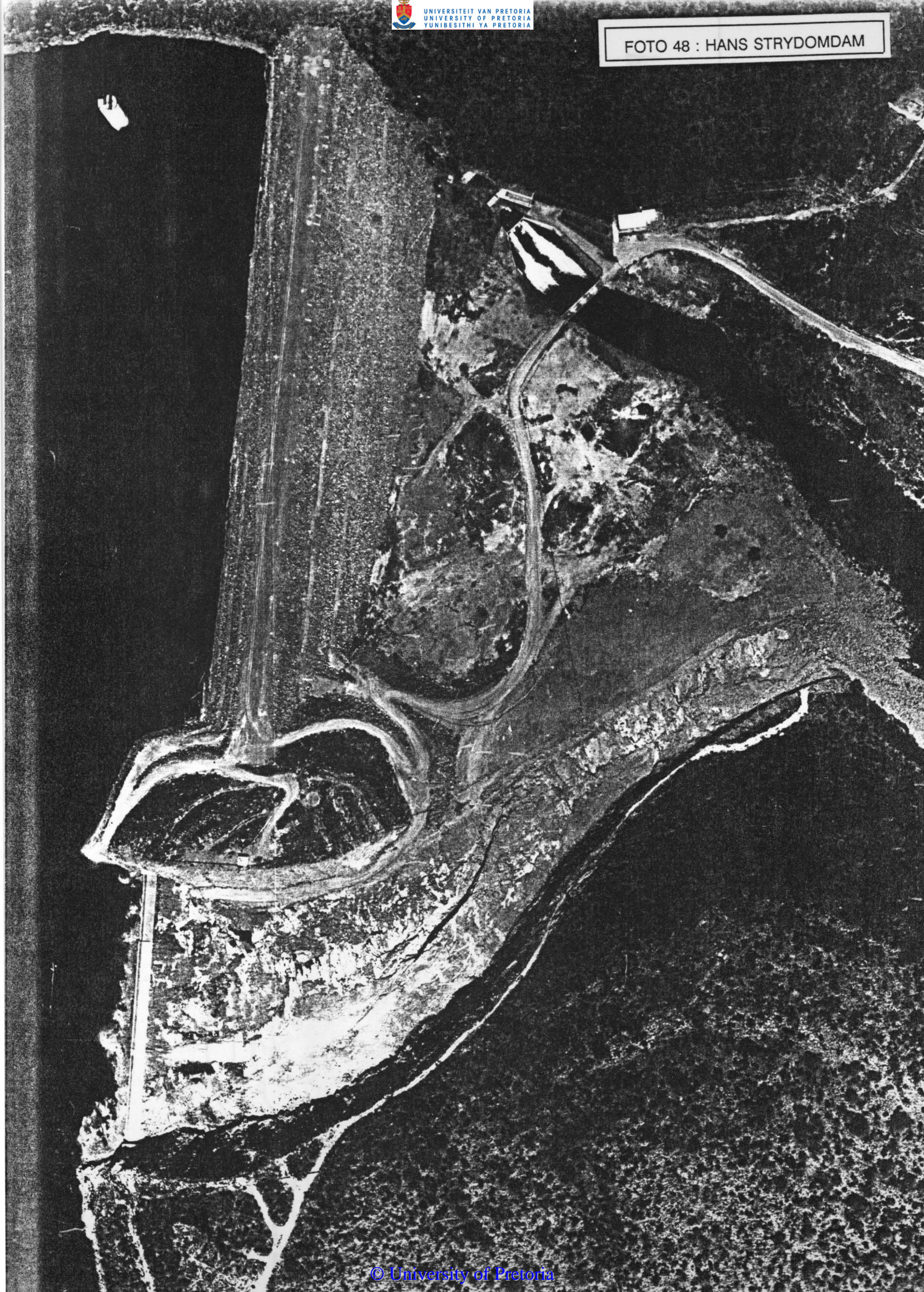
Hierdie sone is stroomaf van die brug tot waar die kanaal in die rivier vloei. Rotsblokke en erodeerde materiaal van erosiesones 1 en 2 kom hier voor. Rotsblokgroottes is hier gemeet en beskryf.

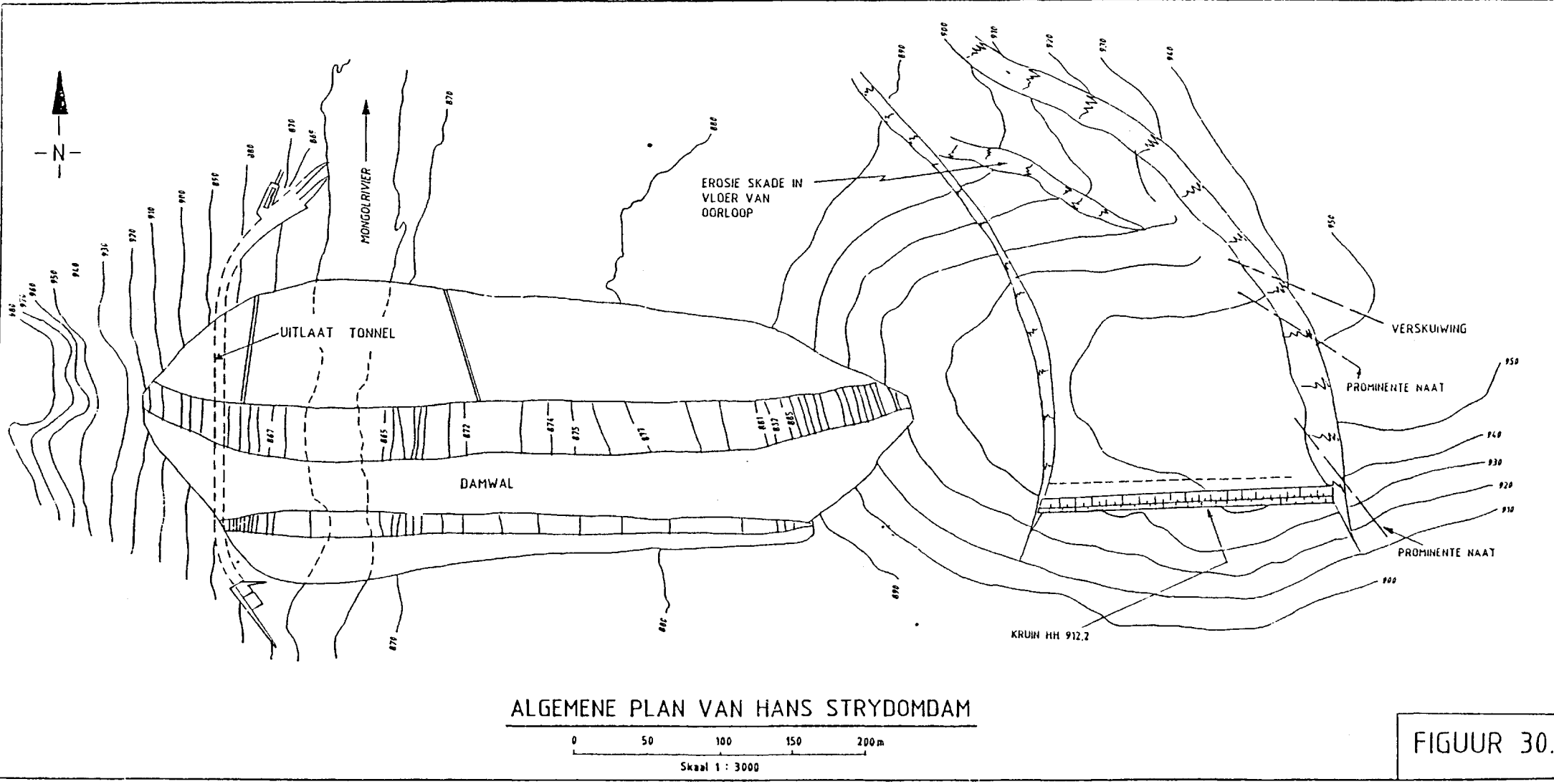
Rotsblokke wat wissel in grootte van 1,5 m³ tot 62 m³ is waargeneem in 'n gebied stroomaf van die brug. Dit dui aan dat die vloedwaters groot kragte nodig gehad het om hierdie rotsblokke te beweeg. Verskeie rotsblokke is opgemeet en hul posisie word op Figuur 27 A,B en C aangedui.

Tabel 28 is 'n opsomming van die rotsblokke wat opgemeet is stroomaf van die brug.

TABEL 28 : Rotsblokgroottes

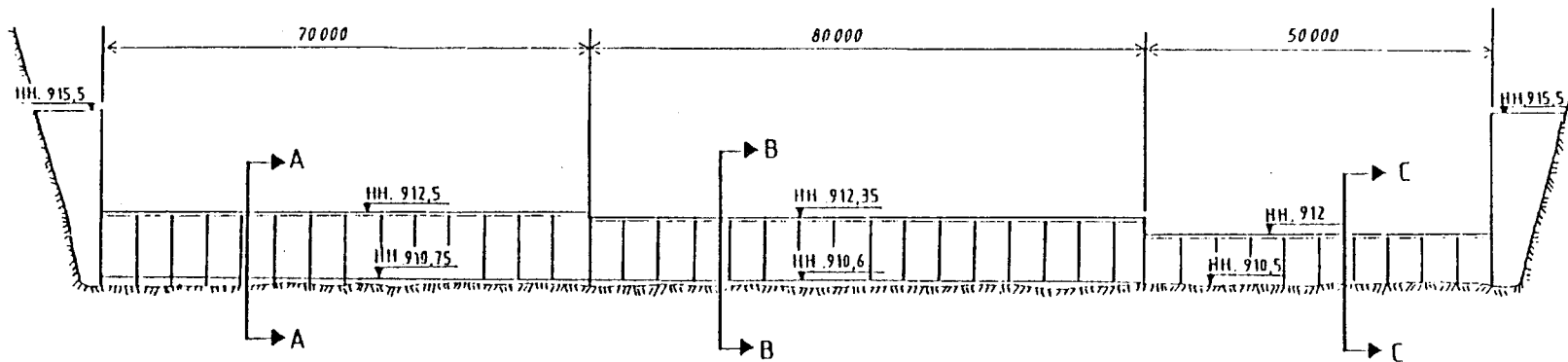
Blok nr.	Afmetings (cm)	Volume (m ³)	Blok nr.	Afmetings (cm)	Volume (m ³)
1	575*388*80	17.85	13	175*150*82	2.15
2	398*122*257	12.48	14	198*85*328	5.52
2	134*100*257	3.44	15	550*410*130	29.32
3	138*340*450	21.11	16	232*220*48	2.45
4	310*90*370	10.32	17	Geen	Geen
4	45*310*262	3.66	18	132*270*71	2.53
4	700*770*115	61.99	19	354*78*220	6.08
4	530*310*95	15.61	20	550*230*32	4.05
5	960*450*100	43.2	21	150*70*170	1.79
5	300*500*101	15.15	22	330*85*52	1.46
6	440*206*78	7.7	23	190*64*28	0.34
6	180*170*55	1.68	24	480*88*400	16.9
6	340*110*56	2.09	25	433*344*70	10.43
7	274*217*75	4.46	26	400*470*110	20.68
8	217*198*156	6.70	27	670*118*450	35.58
9	140*400*470	26.32	28	300*260*60	4.68
9	140*390*190	10.37	29	150*120*72	1.3
9	660*2630*1000	1736	30	127*52*38.5	0.25
10	530*700*170	63.07	31	155*106*132	2.17
11	440*260*110	12.58	32	133*64*50	0.43
12	140*270*220	8.32			





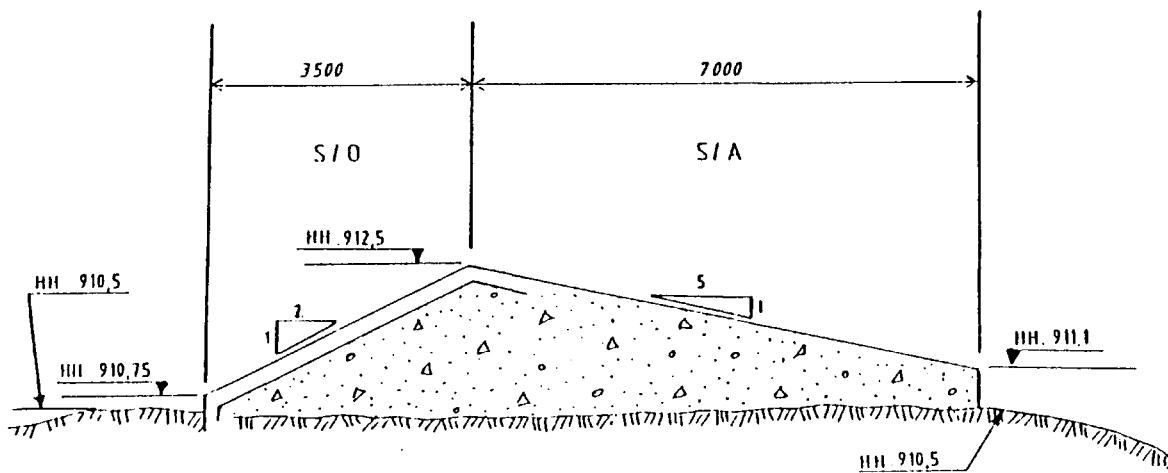
ALGEMENE PLAN VAN HANS STRYDOMDAM

FIGUUR 30.



STROOMOP ELEVASIE VAN OORLOOP

Horizontaal 1:1000 Vertikal 1:200
SKAAL



SNIT A-A

HANS STRYDOMDAM

Maks. uitvloeï : 82,30 m³/s (1981)
Kruinlengte (oorloop) : 200 m
Skaal : 1:100

FIGUUR 31.

5.3.8 Hans Strydomdam

Die Hans Strydomdam (Foto 48) is 40km suid van Ellisras in die Mogolrivier geleë. Konstruksie van dié rotsvuldam het in Januarie 1975 begin en is in Julie 1980 voltooi. Figuur 30 is 'n algemene plan van die dam en die kantoorloop aan die regterflank. Die dam is 530m lank, 57m hoog, het 'n sentraal hellende klei kern en 'n kanaal oorloopstruktuur. Op Figuur 31 kan die betonstruktuur wat die vol voorraad hoogte (VH) definieer gesien word. Snit A - A is deur hierdie struktuur geteken.

Die dam is geleë op die gesteentes van die Cleremont sandsteen Formasie en Sandriviersberg sandsteen Formasie, Kransberg Subgroep, Waterberg Groep. Die sandsteen het tussengelaagde skalie wat 10 - 100 mm dik is. In die kanaal oorloop is van die verweerde skalie deur watererosie uitgespoel. Die sandsteen is effens verweer. Die sandsteen is intensief genaat en is amper horisontaal gelaagd. Verskuiwings is algemeen in die oorloopkanaal en die hoofverskuiwingsone waar die meeste erosie plaasgevind het kan op Foto 49 waargeneem word. Ook is daar 'n aantal diabaasgange en lineamente in die omgewing van die damwal soos op die 1:250 000 geologiese kaart gesien kan word.

Lugfoto's van die damterrein voor en na konstruksie is bestudeer. Die nate en verskuiwings kan duidelik op die lugfoto's waargeneem word.

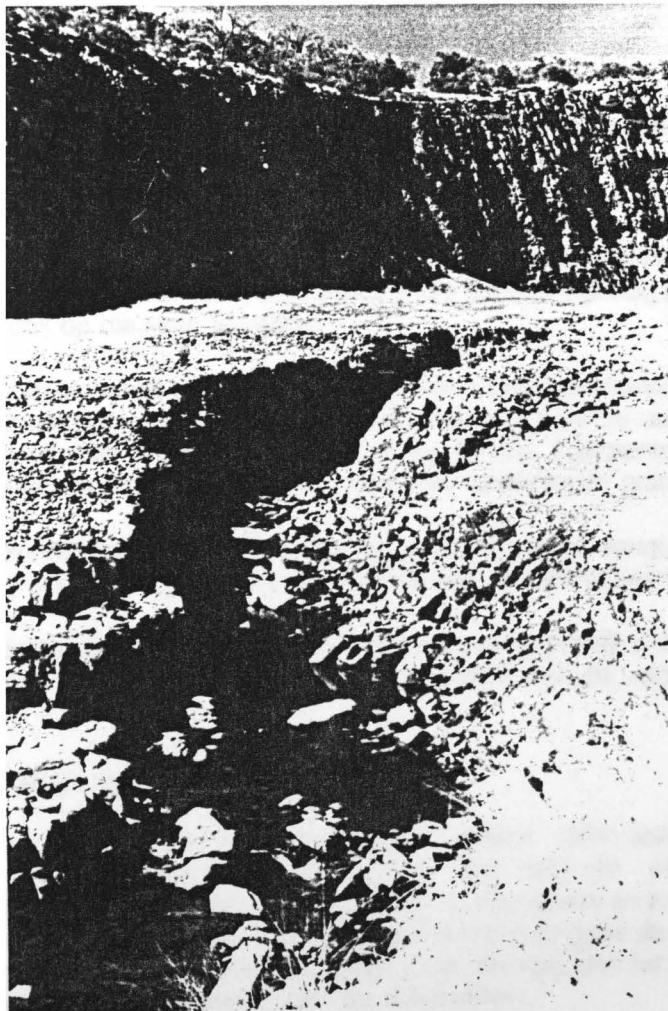


FOTO 49 : Verskuiwingsone in oorloopkanaal waar erosie plaasgevind het.

Tydens die veldbesoek is prominente naatstelle en verskuiwings wat ook op die lugfoto waarneembaar is, op die terrein identifiseer, genommer en met wit spuitverf gemerk. Verskillende groottes rotsblokke is ook op die terrein gemerk sodat deeglik rekord gehou kan word van waar die rotsblok posisies is. Die oorloop is ingenieursgeologies karteer sodat 'n duidelike beeld van die geologiese toestande asook die erosietoestande bestaan (Figuur 32 A, B en C).

Samestelling van die kaart

As basis vir die kaart is daar van die 1:1 000 kontoerkaart gebruik gemaak (Figuur 32 A). Boorgatposisies van boorwerk wat in 1972 uitgevoer is, voordat die kanaal oorloop uitgegrawe was, is op die kontoerkaart aangebring.

Twee kaarte is van die nate en verskuiwings en van die erosie in die oorloopkanaal geteken. Dié kaarte word die geologiese kaart en die erosiekaart onderskeidelik genoem (Figuur 32 B en C). Die oorspronklike 1:1 000 kaarte is verklein sodat dit in die verhandeling getoon kan word.

Geologiese kaart

Die kanaal is in 'n roosterpatroon opgedeel en die geologie soos dit in die veld herken is opgemaat en op 'n skaal van 1:1 000 geteken (Figuur 32 B). Dié kaart is as 'n oorleg op die kontoerkaart aangebring. Die prominente nate is van N1 tot N9 genommer. Die verskuiwings is as V1 en V2 genommer.

Erosiekaart

Op die terrein is die erosie baie deeglik bestudeer. Die gebied is opgedeel in erosiesones van minder en meer erosie. Die erosiesones is vanaf lugfoto's en deur terreinevaluasie identifiseer. Dié kaart is ook tot 'n skaal van 1:1 000 geteken (Figuur 32 C).

Die diskontinuiteite word op baie plekke deur los materiaal en rotsblokke bedek sodat hulle nie oral op terrein gevolg kan word nie. Daar is sones in die oorloop wat nog geen erosie ondergaan het nie. Dit word ook op die kaart aangedui.

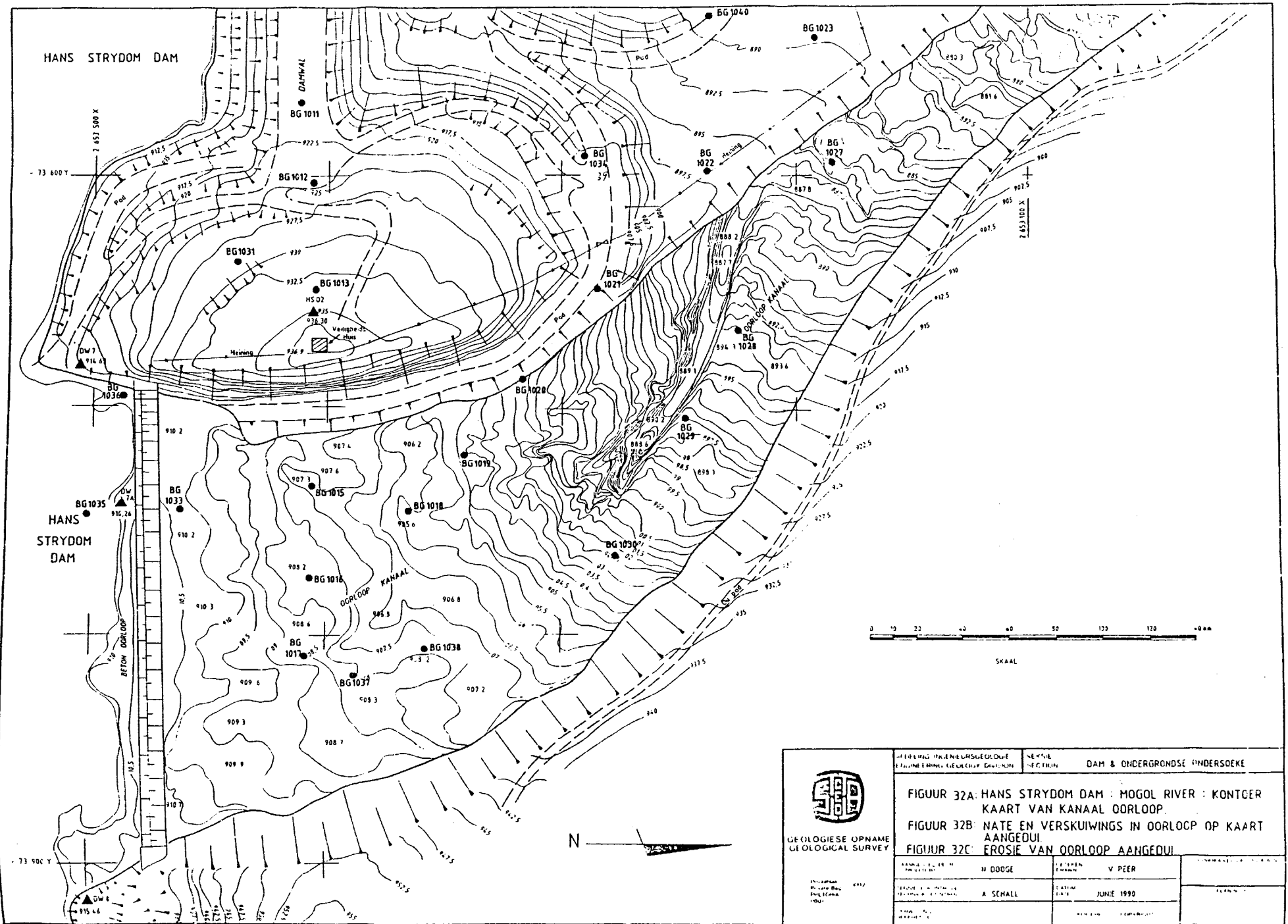
Waar die nate en verskuiwings mekaar sny word sones waarlangs intense erosie kan plaasvind, geskep (erosie konsentrasiepunte). Natuurlike knakpunte word deur die nate gevorm waar intense erosie kan plaasvind. Die intensiteit van die erosie by dié knakpunte is van faktore soos watersnelheid, gelaagdheid, rotsblok grootte, graad van verwering en gradiënt afhanklik.


'n Aantal erosie konsentrasiepunte is identifiseer en op die kaart aangedui as K1 tot K7. Die posisies en rigting waarin die foto's geneem is, word ook op hierdie kaart aangedui.

Daar moet in gedagte gehou word dat die erosie tot op hede primêr deur een kleinerige vloed gedurende 1981 veroorsaak is. Intensiewe erosie kan moontlik deur die volgende vloed veroorsaak word.

Ingenieursgeologiese oorwegings

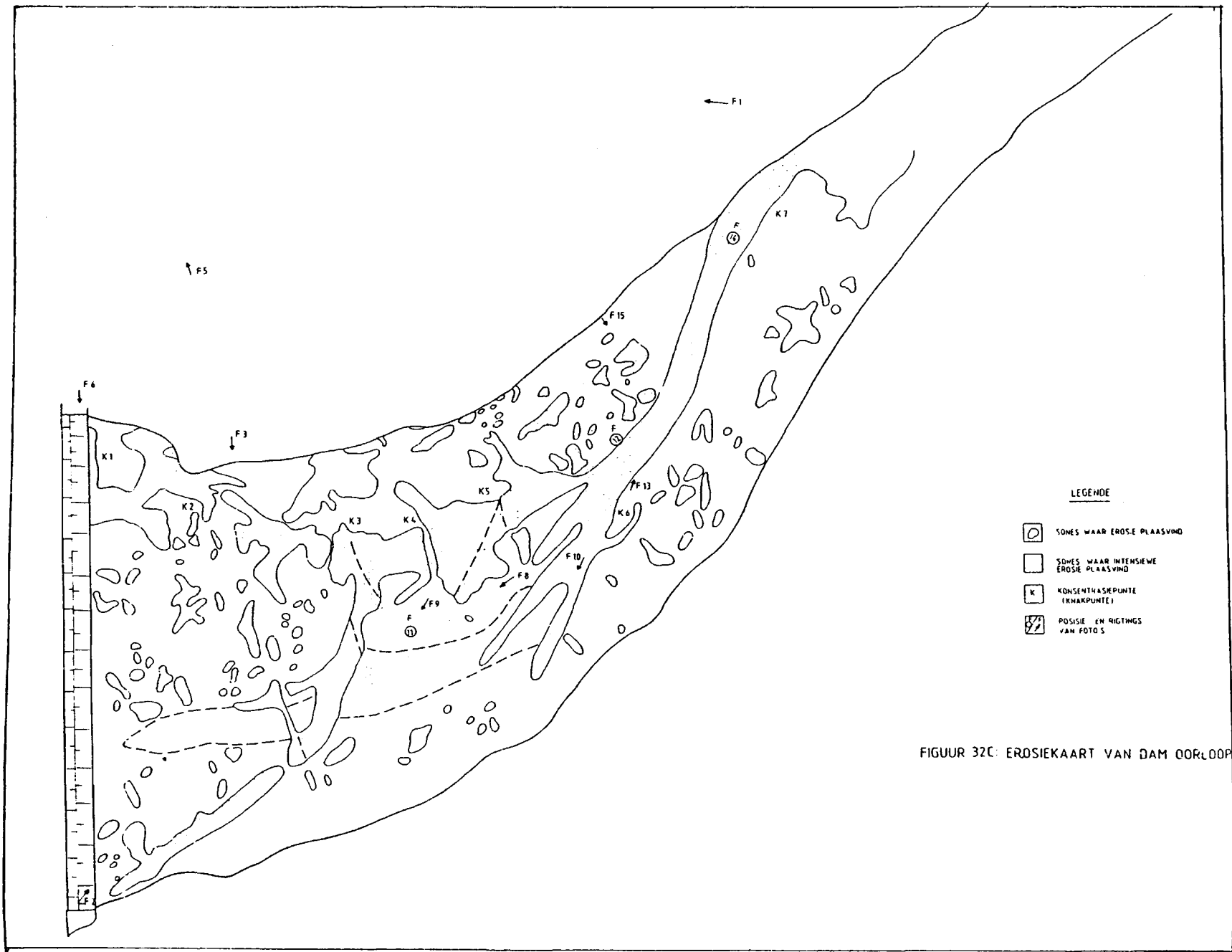
Die boorwerk wat in 1972 vir die oorloop ondersoek (Bester, 1974) aangepak is, is uitgevoer voordat uitgraving van die kanaal oorloop begin is. Uiter aard van saak is meeste van die gesteentes waarvan die boorkerne verteenwoordigend is, uitgegrawe en as rotsvul vir die damwal gebruik. Daar is egter enkele boorgate wat dieper as die uitgrawingsdiepte geboor is waarvan die kern nog verteenwoordigend is. Tabel 29 beskryf die boorgatnommer, diepte van boorkern oorgebly na uitgraving en 'n beskrywing van die boorgatkern.



 GEOLOGIESE OPNAME GEOLOGICAL SURVEY	VERENIGDE REPUBLIEK SUID-AFRIKA REPUBLIC OF SOUTH AFRICA	NATIONALE GEOLIESE DIENST NATIONAL GEOLGICAL SERVICE	NATIONALE GEOLIESE DIENST NATIONAL GEOLGICAL SERVICE	
	DEPARTMENT OF MINERAL RESOURCES AND ENERGY DEPARTMENT OF MINERAL RESOURCES AND ENERGY		DAM & ONDERGRONDSE ONDERSOEK DAM & UNDERGROUND INVESTIGATION	
	FIGUUR 32A: HANS STRYDOM DAM : MOGOL RIVER : KONTGER KAART VAN KANAAL OORLOOP FIGUUR 32B: NATE EN VERSKUIWINGS IN OORLOOP OP KAART AANGEDUI FIGUUR 32C: EROSIE VAN OORLOOP AANGEDUI			N DOOGE V PEER
	A. SCHALL	JUNIE 1990		



FIGUUR 32B NATE EN VERSKUIWINGS
IN OORLOOP



FIGUUR 32C: EROESIEKAART VAN DAM OORLOOP

TABEL 29 : Beskrywing van boorgatkern.

Boorgat nr.	Diepte (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.

Hierdie inligting is gebruik om vas te stel wat die toestand van die rots onder die huidige oppervlak is en of die intensiewe erosie by K7 voorspel kon word deur na die boorkerne te kyk.

Die oorblywende materiaal van die boorkerne, dit wil sê materiaal dieper as uitgrawingsdiepte, in boorgate 1028, 1029 en 1030 is beskryf as 'n effens verweerde, matig genate tot verbrokkelde materiaal. Dié boorgate is op die verskuivingssone, V1, geboor. Volgens die boorkerne was daar nog minstens 5 - 8 m van die materiaal onder uitgrawingsdiepte.

Die boonste 6 - 7 m daarvan is deur die 1981 vloed weg erodeer om 'n erosiesloot by K6 (Figuur 32 C) van 7m diep te gee. Boorgat 1033 is ook matig tot intens genaat. Knakpunterosie kan hier 'n groot invloed hê. Retrogressiewe erosie kan veroorsaak dat die beton oorloop swig.

Op Figuur 33 kan die mate van erosie deur die lengte van die oorloop waargeneem word. Die erosiepunte (E1 - E5) word ook aangedui.

'n Aantal puntlassterkte toetse is in 1974 op die sandsteen en skalie uitgevoer (Bester, 1974). Die volgende eenassige druksterkte waardes is verkry:

Sandsteen (lateraal) : 43,2 - 128,4 MPa

Sandsteen (aksiaal) : 93 - 100,25 MPa

Skalie (lateraal) : 7.2 - 18 MPa

Skalie (aksiaal) : 23,1 MPa

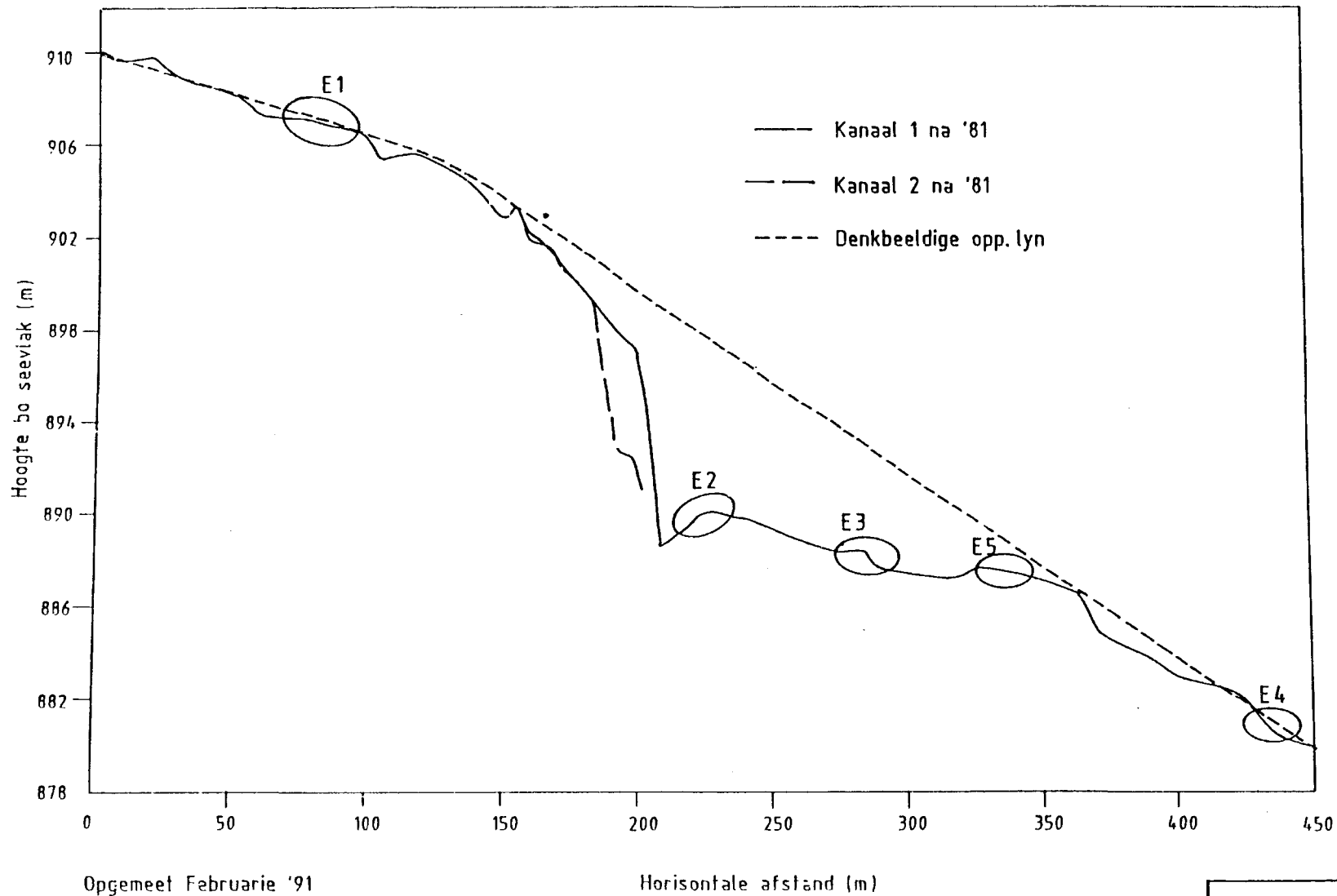
Uit die waardes kan gesien word dat skalie 'n lae breeksterkte besit. Deur Bieniawski *et al* (1976) se rotsmassaklassifikasie stelsel te gebruik het Bester (1972) die volgende gesteenteklasse gekry:

Sandsteen: Klasse II en III. Medium sterk tot sterk rots.

Skalie: Klas V. Baie swak rots.

Die sandsteen is intens genaat met 'n spasiëring van 300 - 1 000 mm. Daar is egter ook skuifskurnate wat 'n spasiëring van 50 - 100 mm toon.

HANS STRYDOMDAM KANAAL OORLOOP



FIGUUR 33.

Beskrywing van erosiesones

Twee erosiesones is onderskei en vyf erosiepunte waar die rots geklassifiseer is, is identifiseer. Meeste van die erosie het in die verskuiwingsone plaasgevind.

Erosiesone 1 (E1 & E4)

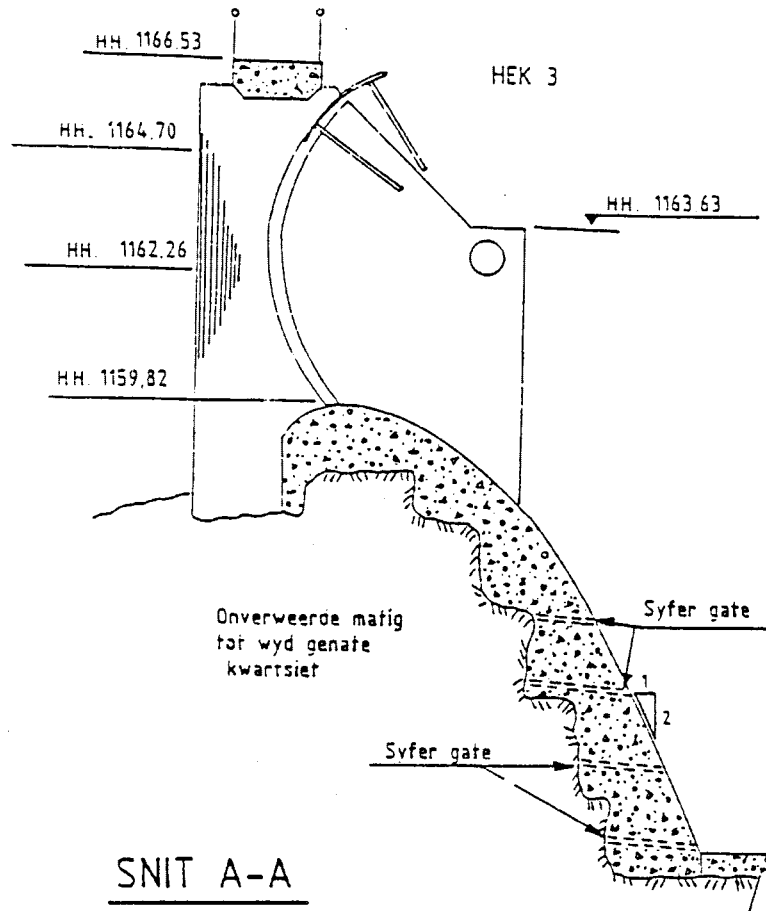
Erosiesone 1 is ongeveer die hele oorloopkanaal behalwe die verskuiwingsone waar erosie plaasgevind het. By erosiepunt 1 en 4 kom harde kwartsitiese sandsteen voor wat min tot geen erosie toon.

Erosiesone 2 (E2 & E3 & E5)

Erosiesone twee is die verskuiwingsone. Baie erosie het in hierdie sone plaasgevind as gevolg van die verbrotting van die materiaal. Al die erosiepunte in hierdie sone is so gekies dat dit die materiaal verteenwoordig wat erodeer het. Erosiepunt 2 is by die punt van die verskuiwingsone waar die erosie begin het.

Erosiepunt 3 is in die skuifseursone self. Die nate en laagvlakke breek die rots in reghoekige rotsblokke op. Die laagvlakke is oop (20 cm) en gevul met sagte materiaal wat maklik kan erodeer. Erosiepunt 5 is die dertritrus wat heel onder in die verskuiwingsone voorkom. By al die erosiepunte het baie erosie plaasgevind.





SNIT A-A

SKAAL 1:150

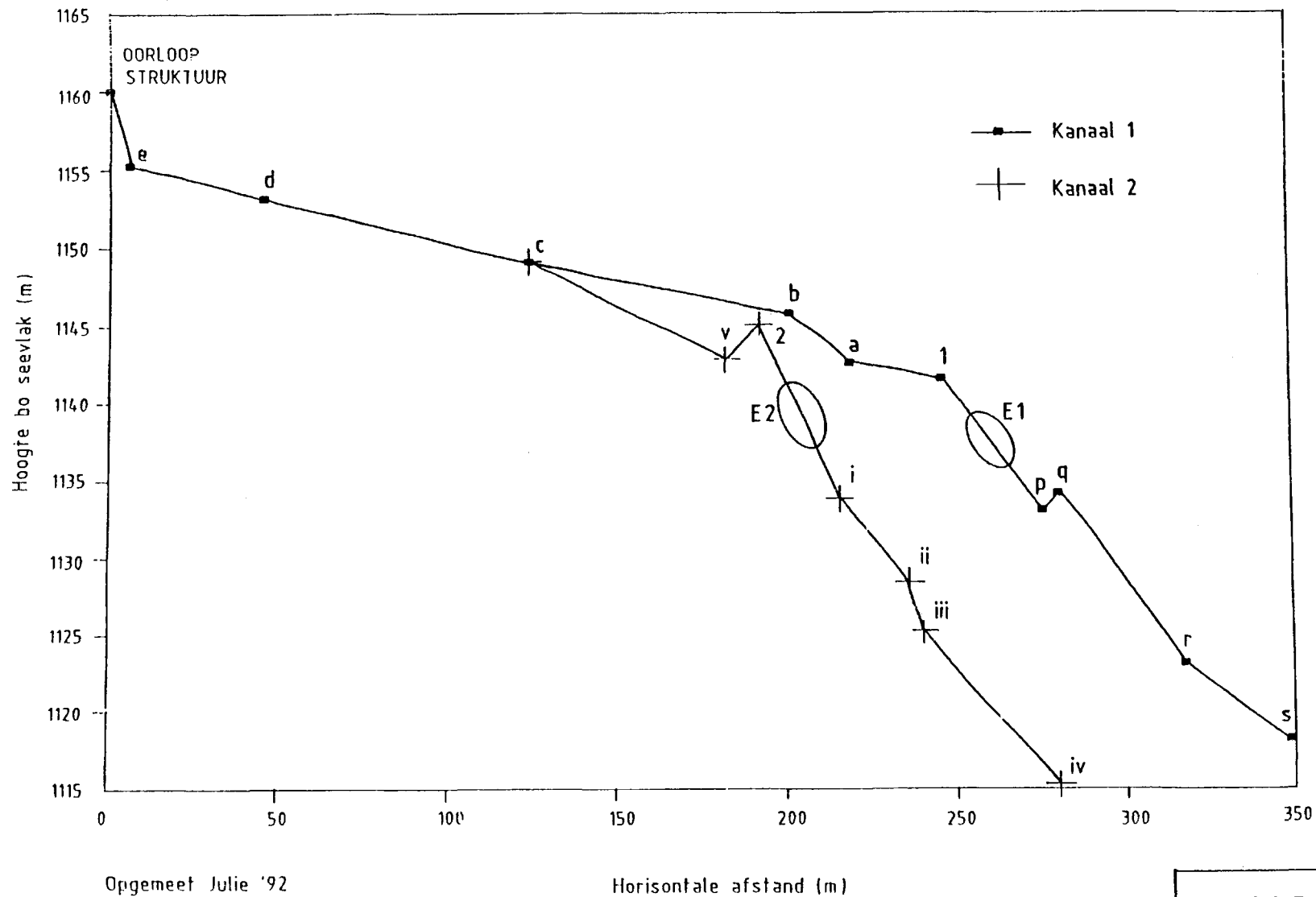
HARTEBEESSPOORTDAM

Maks. uitvloei : 1 046 m³/s (1944-voordat hekke aangebring is)
825 m³/s (1978)
Kruinlengte
(oorloop) : 126,6 m

DIE DAM IS IN 1970 VERHOOG M.B.V. 10 RADIALE HEKKE.

FIGUUR 35.

HARTEBEESSPOORTDAM OORLOOP KANAAL



FIGUUR 36.

5.3.9 Hartebeespoortdam

Die 59 m hoë beton boogdam is 37 km wes van Pretoria op die Krokodilrivier geleë (Foto 50). Figuur 34 is die algemene plan van die damwal en oorloop. Die kruinlengte van die dam is 140 m. Die geutorloop is 'n ogee tipe oorloop in die linkerflank van die wal. 'n Snit, Figuur 35, toon die profiel van die ogee oorloop aan. In 1971 is tien radiale hekke in die oorloop gebou om die dam se kapasiteit te verhoog en die kanaal vloer is gedeeltelik belyn.

Die linkerflank bestaan uit middelmatig tot wyd genate Magaliesberg Formasie kwartsiet. Die helling van die rots is gemiddeld 30° stroomaf. Die rots is van goeie kwaliteit. Metamorfose het die verskillende nate in die rots veroorsaak. Kwartsiet verweer makliker langs die nate en laagvlakke. Riffelmerke kom algemeen op die rots voor. Hierdie riffelmerke verhoog ruheid wat beweging van blokke weerstaan.

Die oorloop kanaal is gedeeltelik met beton belyn, maar waar die beton ophou het daar verder stroomaf 'n mate van erosie plaasgevind. Groot rotsblokke is uitgespoel langs die gelaagdheid. Die watervloei in twee kanale tydens 'n vloed. Die twee kanale word duidelik op die lengtesnit (Figuur 36) getoon. Die rots in kanaal 2, erosiepunt 2 (E2), is baie sterker as die rots in kanaal 1, erosiepunt 1 (E1). Twee erosiesones word onderskei omdat die water in twee natuurlike kanale vloei tydens 'n vloed.

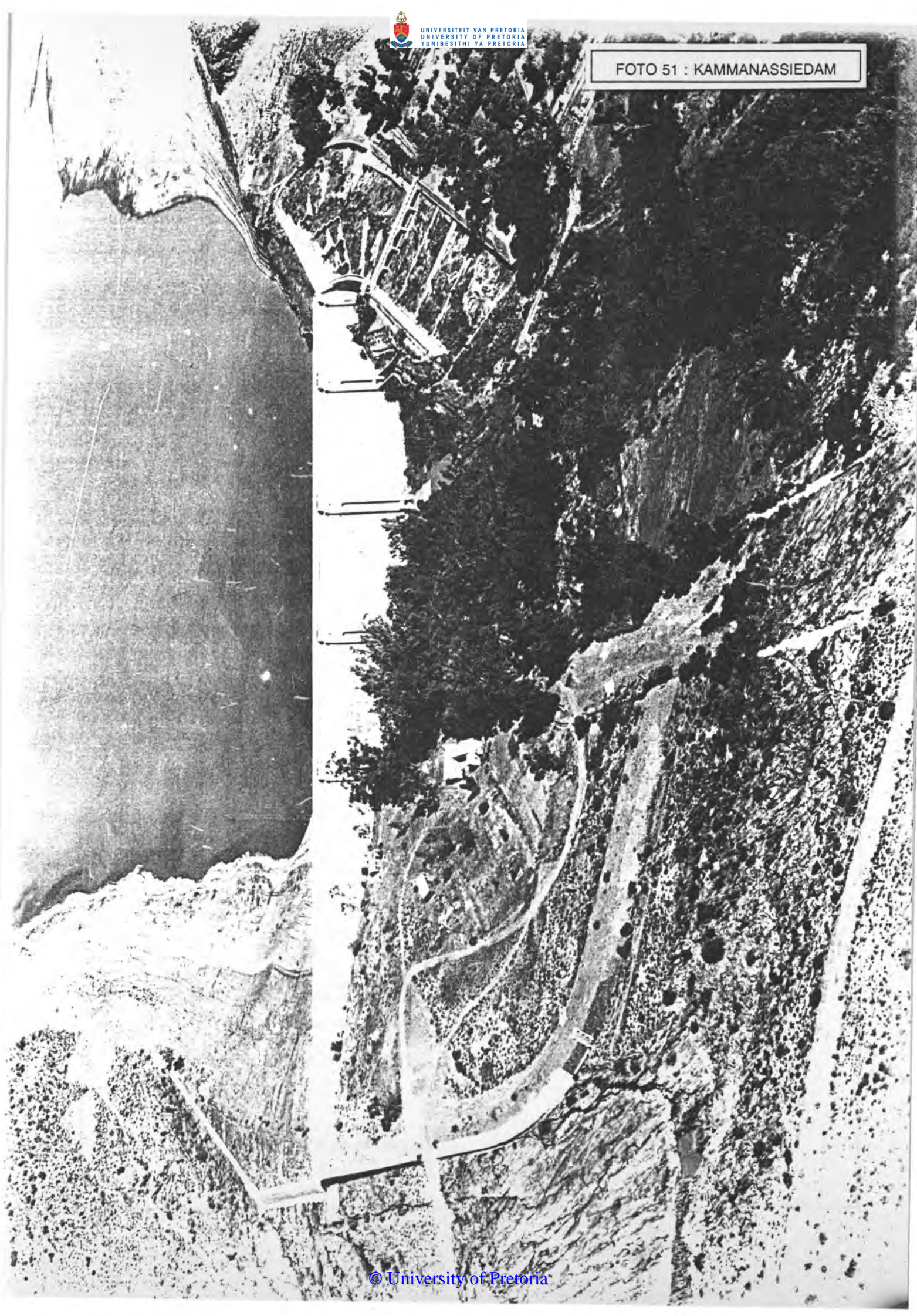
Erosiesone 1 (E1)

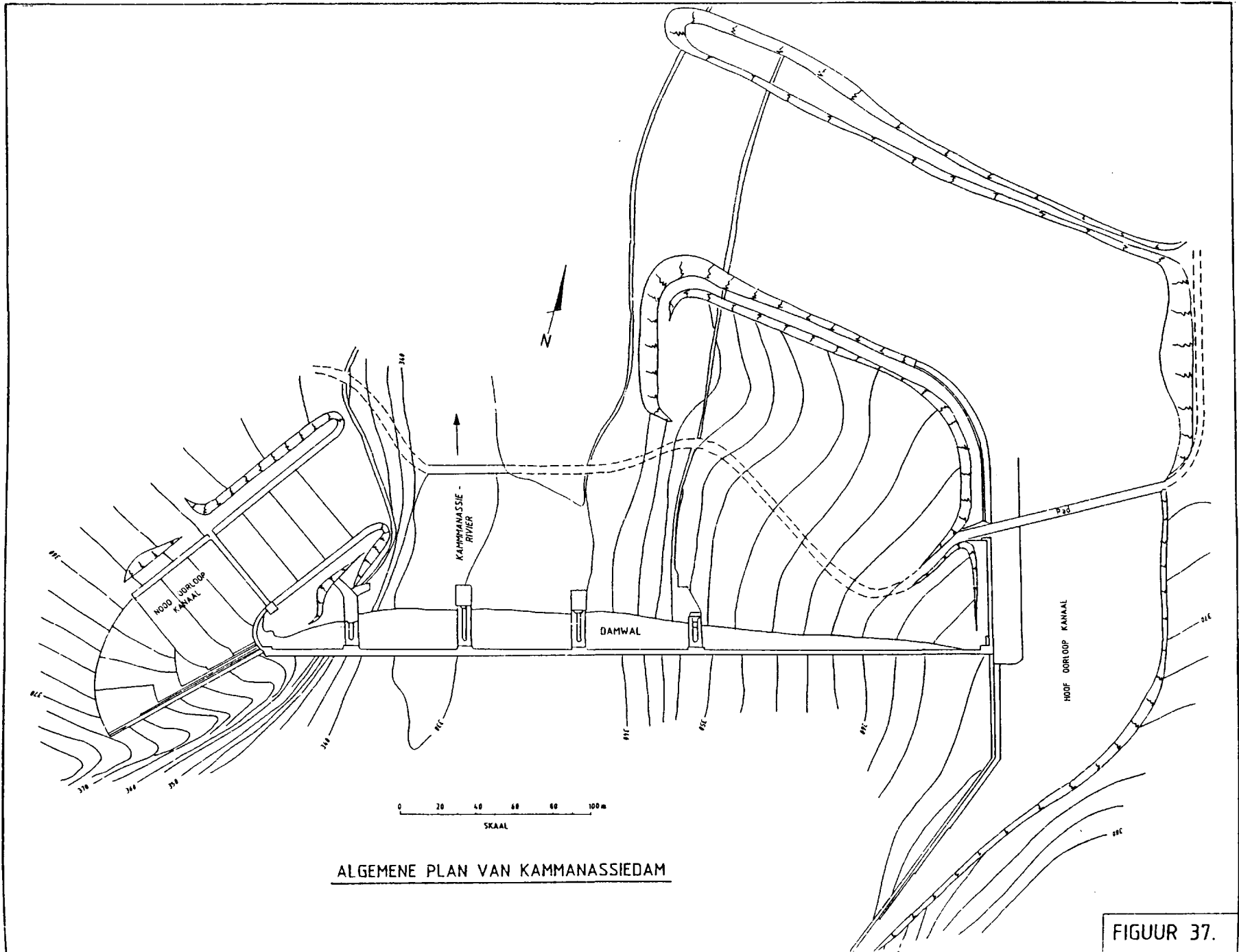
Hierdie sone is kanaal 1 op Figuur 36. Erosiepunt 1 is in hierdie sone. Harde kwartsitiese sandsteen het oorgebly nadat die boonste materiaal erodeer is. Die boonste erodeerbare materiaal is beskryf waar matige erosie plaasgevind het.

Erosiesone 2 (E2)

Hierdie sone is kanaal 2 op Figuur 36. Erosiepunt 2 kom hier voor. Die boonste materiaal wat erodeer het is beskryf deur te ekstrapoleer van materiaal wat oorgebly het, maar ook erodeerbaar is.

FOTO 51 : KAMMANASSIEDAM





FIGUUR 37.

5.3.10 Kamanassiedam

Die Kamanassiedam (Foto 51) is ongeveer 25 km oos - suidoos van Oudtshoorn in die Kamanassierivier geleë. Die water word vir besproeiingsdoeleindes, stroomaf van die damwal, aangewend. Die dam is in 1923 voltooi en is die eiendom van die Kamanassie Besproeiingsraad. Figuur 37 dui die algemene plan van die damwal en oorloopkanaal aan.

Die dam is op 15 Julie 1990 besoek waartydens die regterflank oorloop kanaal gefotografeer en beskryf is. Foto 52 is van die punt van die oorloopstruktuur stroomaf geneem waar min tot geen erosie voorkom. Foto 53 is van die pad in die oorloopkanaal stroomaf waar baie erosie voorkom geneem.

Die dam is geleë op die gesteentes van die Ceres Subgroep, Bokkeveld Groep, Kaap Supergroep. Die damwal self is op skalie en sliksteen van die Tra-Tra Formasie, Ceres Subgroep gebou. Die hoof oorloop kanaal is geleë op hierdie gesteentes asook op kwartssandsteen van die Boplaas Formasie, Ceres Subgroep, Bokkeveld Groep.

Die gesteentes in die gebied is intensief genaat. Die nate is glad en aaneenlopend. Geen of min vulmateriaal kom in die nate voor nie. Die gelaagdheid van die gesteente hel ongeveer 10°-20° stroomaf.

Beskrywing van erosiesones

Vier erosiesones is identifiseer en beskryf. Hiernaas volg 'n kort opsomming van die erosiesones.

Erosiesone 1 (E1)

Die area strek vanaf die beton oorloopstruktuur tot ongeveer 100 m stroomaf. Die gesteente is kwartssandsteen met skalie ook teenwoordig. Die rotsblokgröötte varieer en ernstige erosie het nog nie plaasgevind nie. Die rotsblokvorms is semi-kubies en piramidaal. Die rots is in sommige plekke verbrokkel as gevolg van willekeurige nate. Die gemiddelde gradiënt is 5° stroomaf. By erosiepunt 1 is die rots hard maar intensief genaat en min erosie het plaasgevind.



FOTO 52 : Stroomaf beeld van oorloopkanaal waar min tot geen erosie plaasgevind het.



FOTO 53 : Onderste punt van oorloopkanaal waar erosie plaasgevind het.

Erosiesone 2 (E2)

Die area strek van E1 tot 200 m stroomaf. Die gebied het groter rotsblokke as in sone 1 en ook 'n gemiddelde gradiënt van 5° wat 'n lae vloeisnelheid verteenwoordig. Die kanaal is ± 50 m breed en 2,5 m diep. Hier het meer erosie as in sone 1 plaasgevind. Erosiepunt 2 is op harde intakte rots waar min tot geen erosie plaasgevind het.

Erosiesone 3 (E3)

Die gebied strek tot 250 m stroomaf. Grootskaalse erosie het hier plaasgevind. Die rots is hoogs verweer met oop nate en los rotsblokke en die water vloei saam met die gelaagdheid wat 'n groter erosiepotensiaal verteenwoordig. Erosiepunt 3 is in hierdie sone identifiseer.

Die steil gradiënt van $\pm 30^\circ$ veroorsaak 'n hoë vloeisnelheid wat ook 'n groter erosiepotensiaal tot gevolg het, veral waar die water teen die rots bots. Die gesteente in die sone is ook intensief genaat, en die nate is baie wyd gespaseer.

Die volgende Schmidt-hamer waardes (SHW) is vir die gesteente op die terrein verkry:

TABEL 30 : Schmidt-hamer waardes

Grade (vertikaal 0°)	SHW
0°	52
	56
	50
	56
	58
45°	52
	52
	59
	55
90°	55
	50
	54
	50
Gemiddelde SHW	53,77 (hoog)

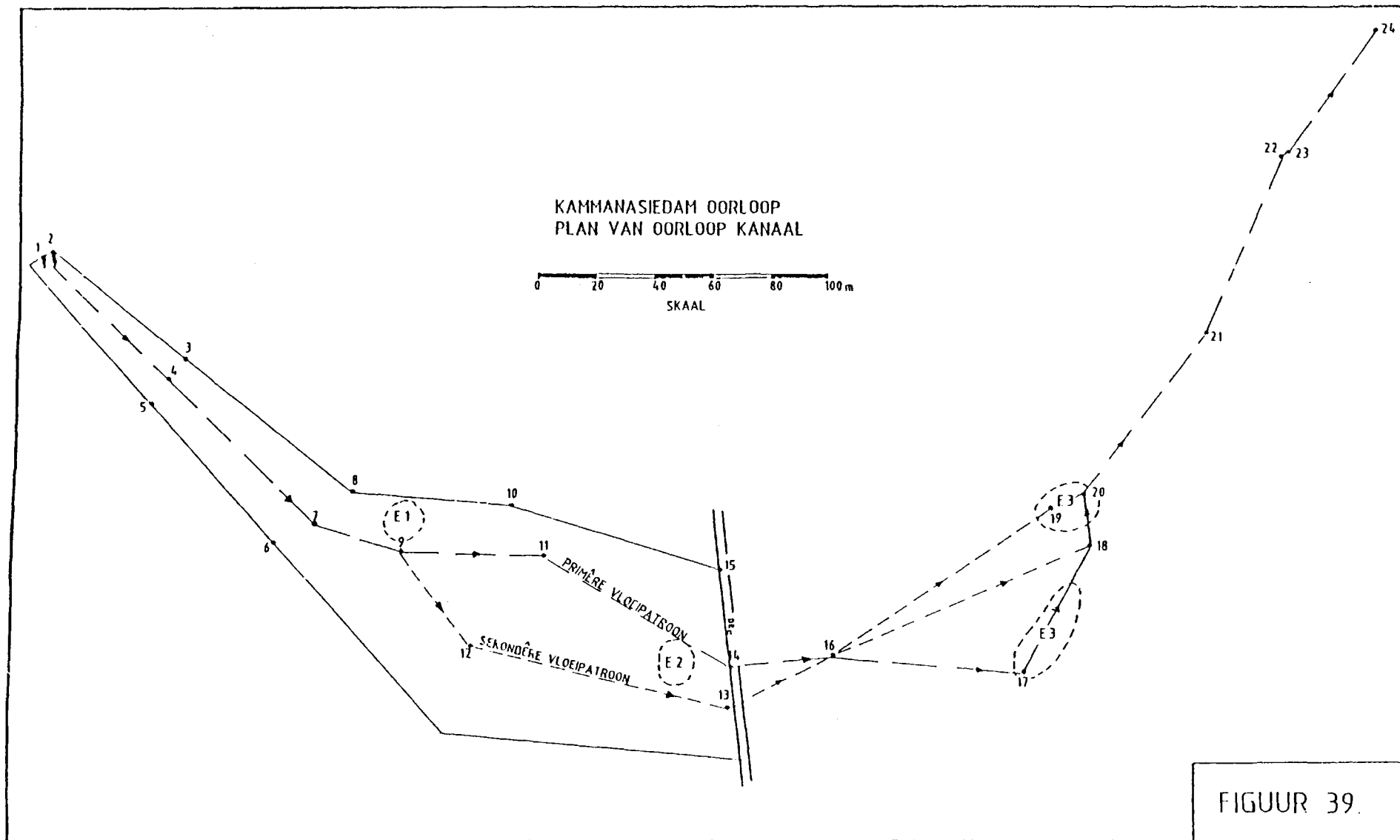
Erosiesone 4

Na erosiesone 3 en 400 m stroomaf van die oorloopstruktuur is groot rotsblokke teenwoordig wat die erodeerde materiaal vanaf die ander erosiesones is.

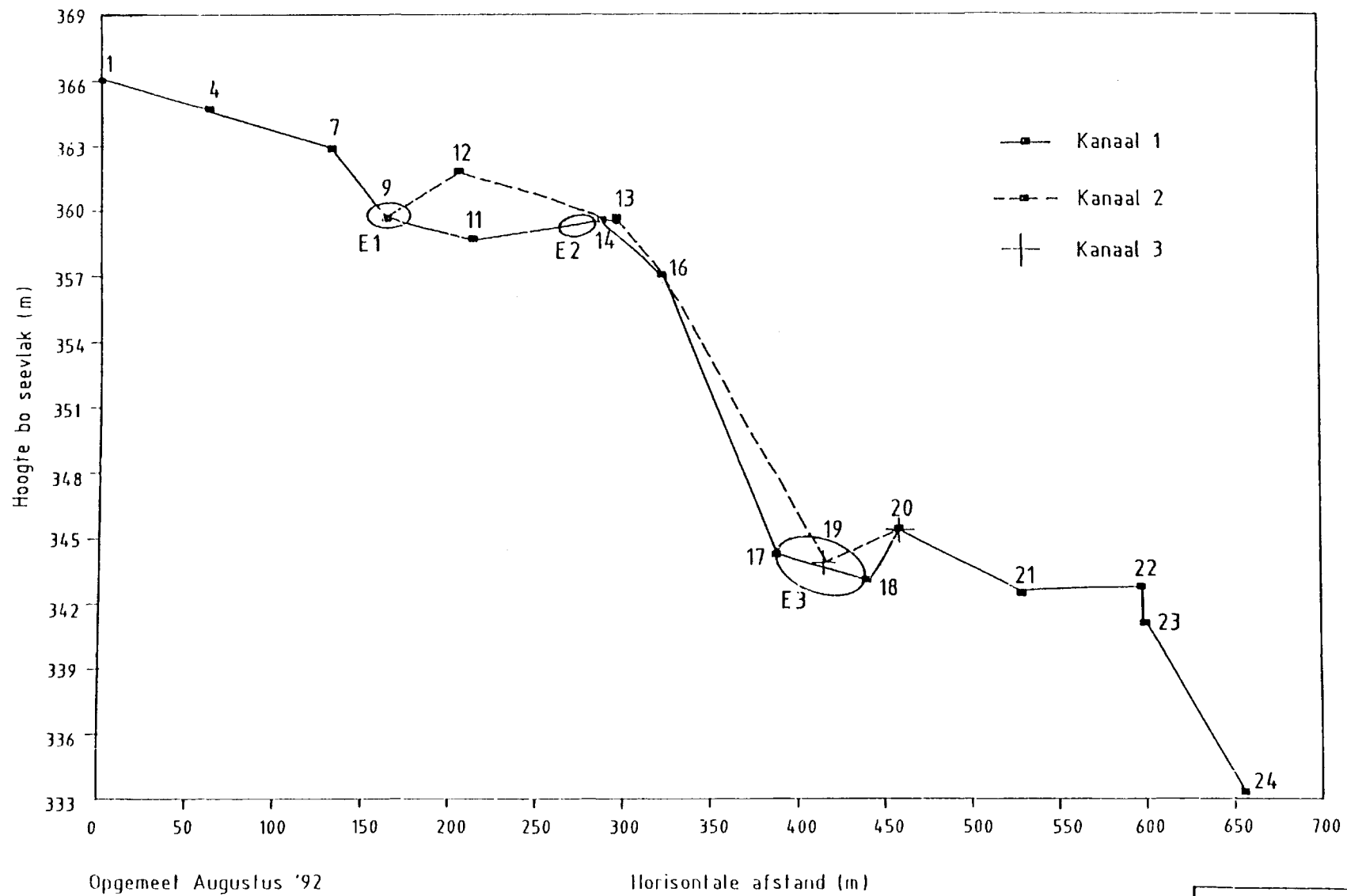
Erosie vind nie by erosiesone 1 plaas nie vanweë die lae gradiënt en watersnelheid. Namate die gradiënt en watersnelheid toeneem, vind meer erosie plaas. Groot rotsblokke is deur die water in erosiesone 3 beweeg. Die oriëntasie van die gelaagdheid en nate is 'n primêre funksie van erosiepotensiaal.

Die diskontinuiteite breek die gesteente in rotsblokke van verskillende groottes op wat dan deur die wateraksie losgemaak en verder vervoer word. Dit kan slegs gebeur as die wateraksie die rotsblokke kan losmaak soos bv. vulmateriaal uit die nate te was, sodat die rotsblok minder ondersteuning besit en meer vryheidsgrade het.

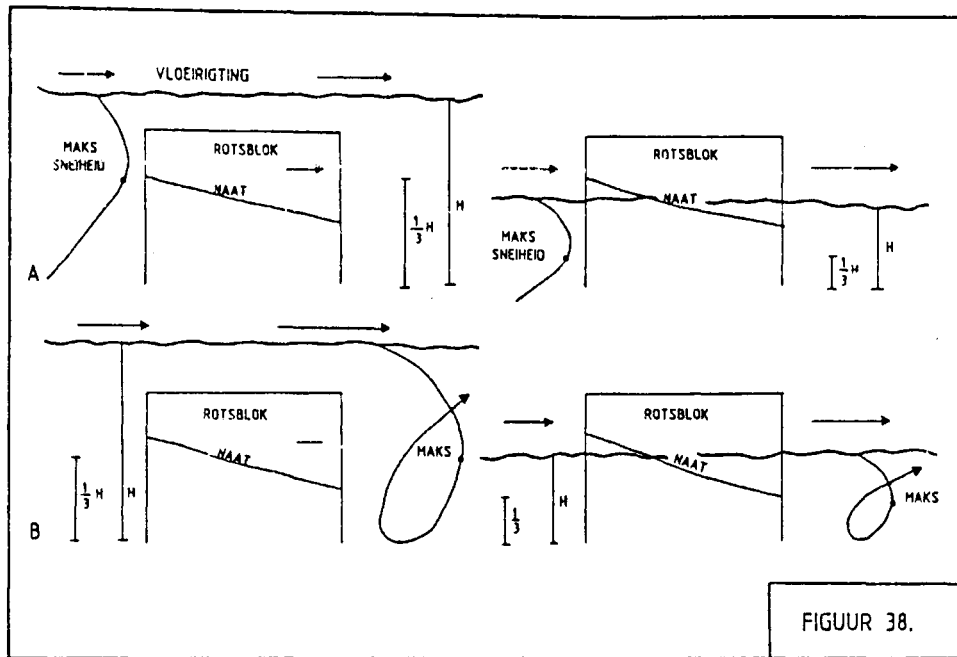
Die hoogte van die water wat oor die kanaal vloei, speel ook 'n fundamentele rol met betrekking tot erosie. Die maksimum druk vind by 'n derde van die waterhoogte (h) plaas. As 'n naat op 'n derde van die waterhoogte voorkom soos op Figuur 38 aangedui word sal die rotsblok makliker kan erodeer.



KAMMANASSIEDAM OORLOOP KANAAL

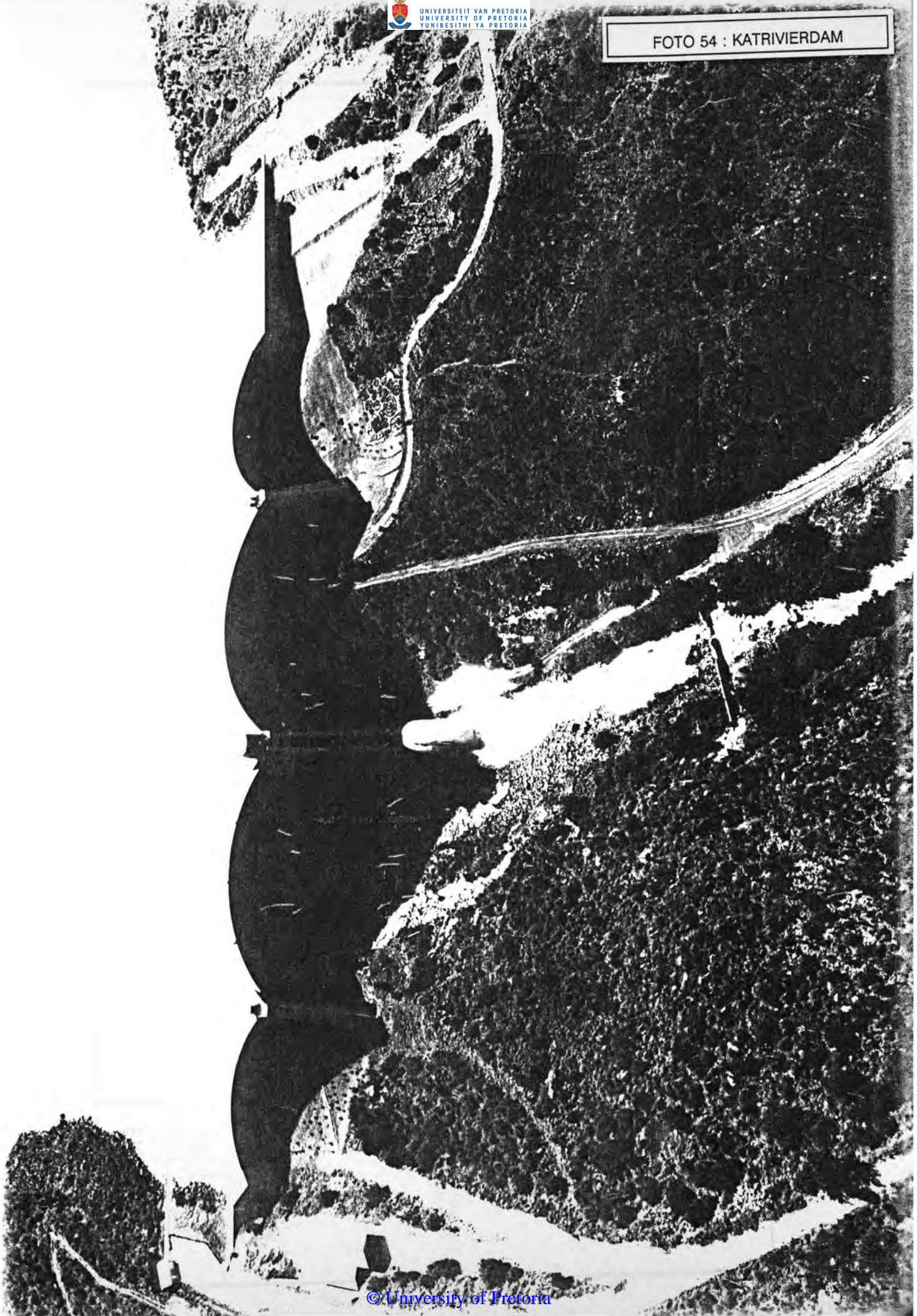


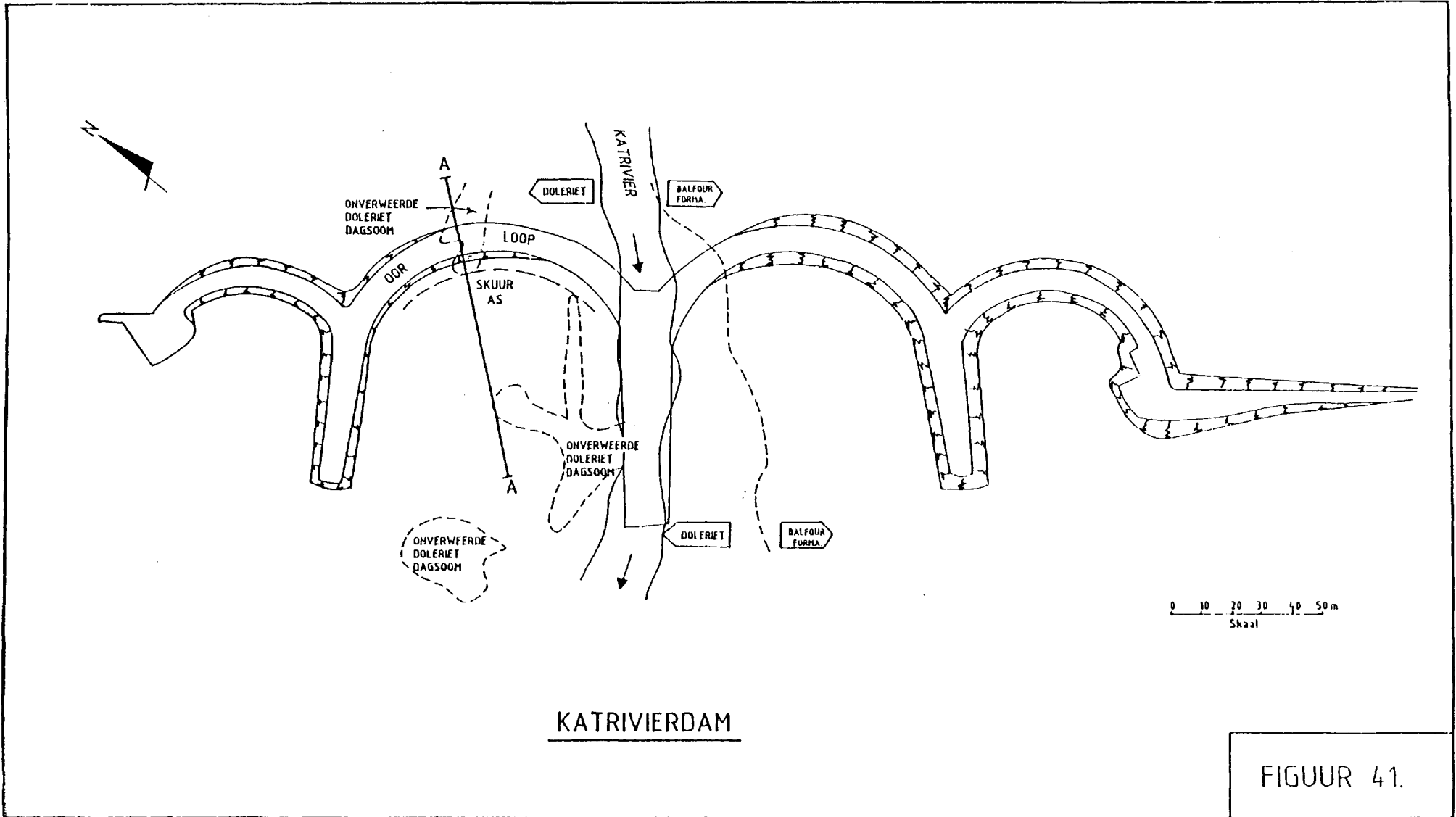
FIGUUR 40.



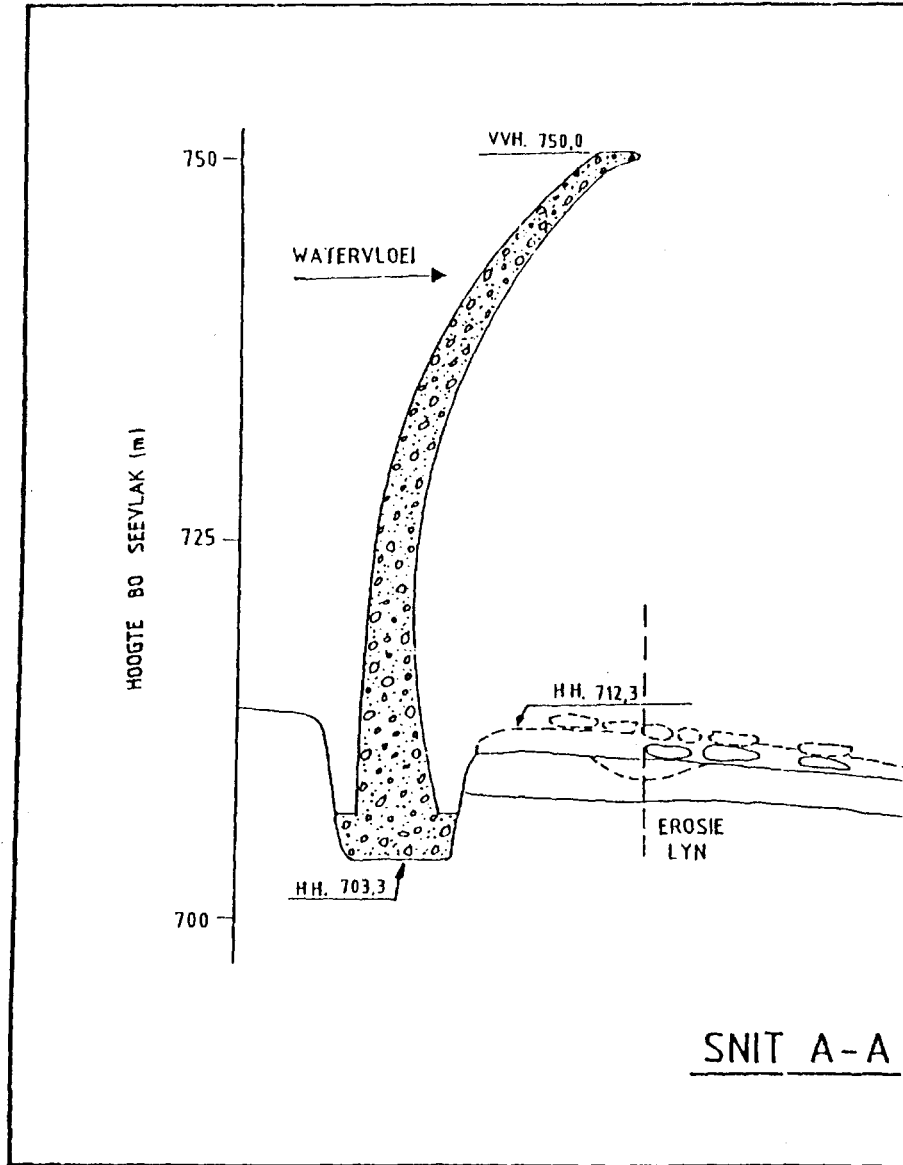
FIGUUR 38 : Diepte van watervloei oor rots.

Figuur 39 is die plan van waar watervloei in die oorloopkanaal plaasvind. Figuur 40 is die lengtesnit langs hierdie lyn sodat die profiel en hoeveelheid erosie waargeneem kan word.





FIGUUR 41.

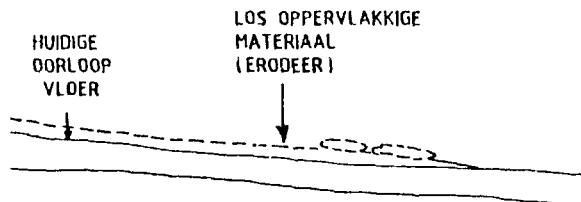


KATRIVIERDAM

Maks. uitvloeï : 114,76 m³/s (1985)

Kruinlengte
(oorloop) : 120m

Skaal : 1:500



FIGUUR 42.

5.3.11 Katrivierdam

Katrivierdam is 'n meervoudige boogdam wat 5 km suid - wes van Seymour op die Katrivier geleë is (Foto 54). Die dam is in 1969 voltooi om besproeiingswater aan die Katriviervallei te voorsien. Die wal bestaan uit vier boë en drie stutmure (Figuur 41). Die maksimum hoogte bo fondamentvlak is 55,63 m. Die regterflankse hoof - boog dien as oorloop. Die water val op 'n onbelynde doleriet skort. Figuur 42 is 'n snit deur die oorloopgedeelte.

Die fondament en die skort gesteente bestaan uit doleriet wat deel uitmaak van 'n doleriet indringing in die slijksteen van die Balfour Formasie (Foto 55). Mindere sandsteen en moddersteen dagsome kom ook in die gebied voor.

Die erosiepotensiaal van die doleriet in die oorloop gedeelte is van belang veral omdat die basis breedte van die boog net 4,9 m is. Sekere blokke het al beweeg veral na 'n vloed in 1976. Daar is nog los verweerde blokke in die oorloop maar die rots is meesa! sterk en intak.

Los verweerde materiaal kom tussen rotsblokke voor as gevolg van sferoïdale vertering. Meeste van hierdie materiaal saam met die los rotsblokke is uitgespoel of erodeer. Sommige van hierdie blokke het ook losgebreek van die rotsankers en lê verder stroomaf. Behalwe vir hierdie verweerde materiaal is die rots intak.

Twee erosiepunte is in die skort identifiseer. Erosiepunt 1 is ongeveer 14 m stroomaf van die wal. Hier kom los oppervlak materiaal voor en sferoïdale vertering vind plaas. Matige erosie het plaasgevind. Erosiepunt 2 is 50 m stroomaf van die wal. Intakte rots kom hier voor en min erosie het plaasgevind.



FOTO 55 : Skort van Katrivierdam waarop water van die oorloop val.

5.3.12 Klipfonteindam

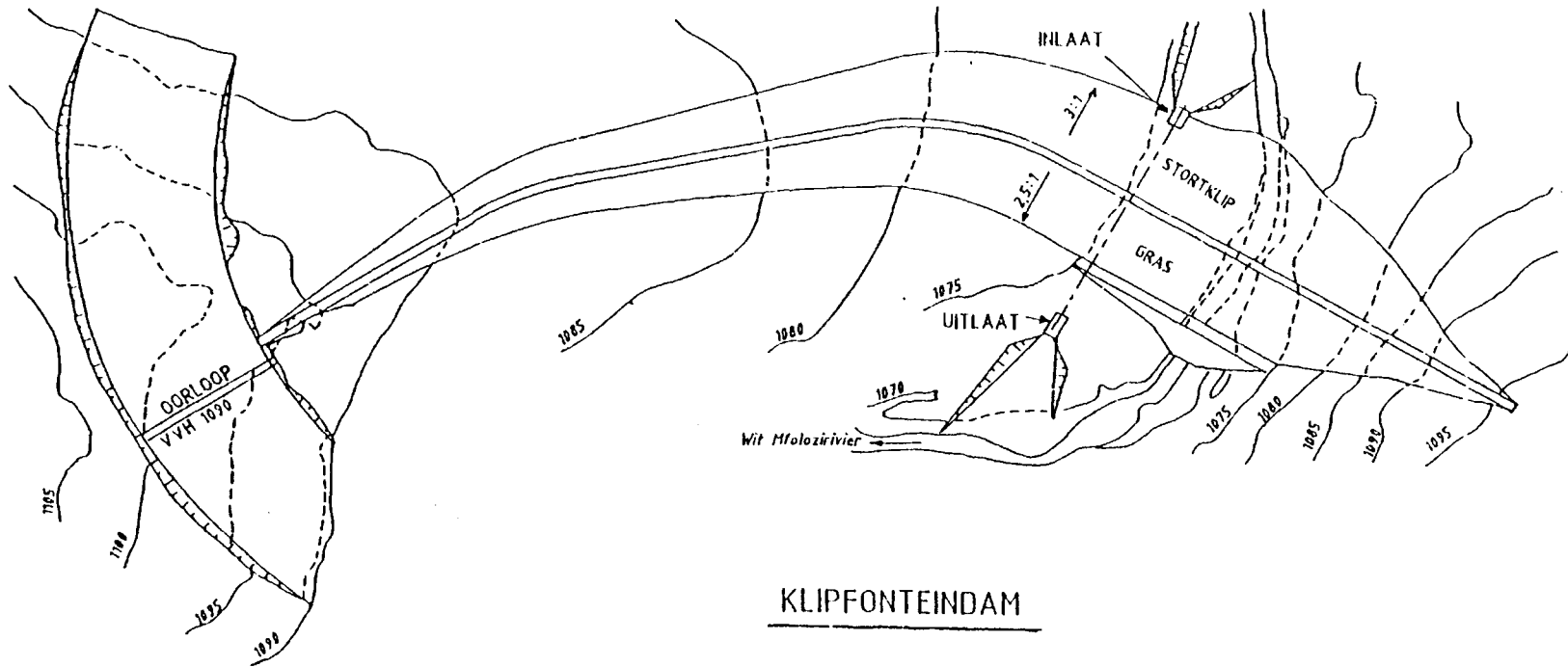
Klipfonteindam is 10 km suid van Vryheid in Noord Natal in die Wit Mfolozirivier geleë (Foto 56). Dié dam is 'n gronvuldam met 'n onbeheerde kanaal oorloop langs die regterflank (Foto 57) en is in 1983 voltooi. Figuur 43 is die algemene plan van die dam en oorloop.



FOTO 56 : Klipfonteindam



FOTO 57 : Oorloopkanaal teen regterflank



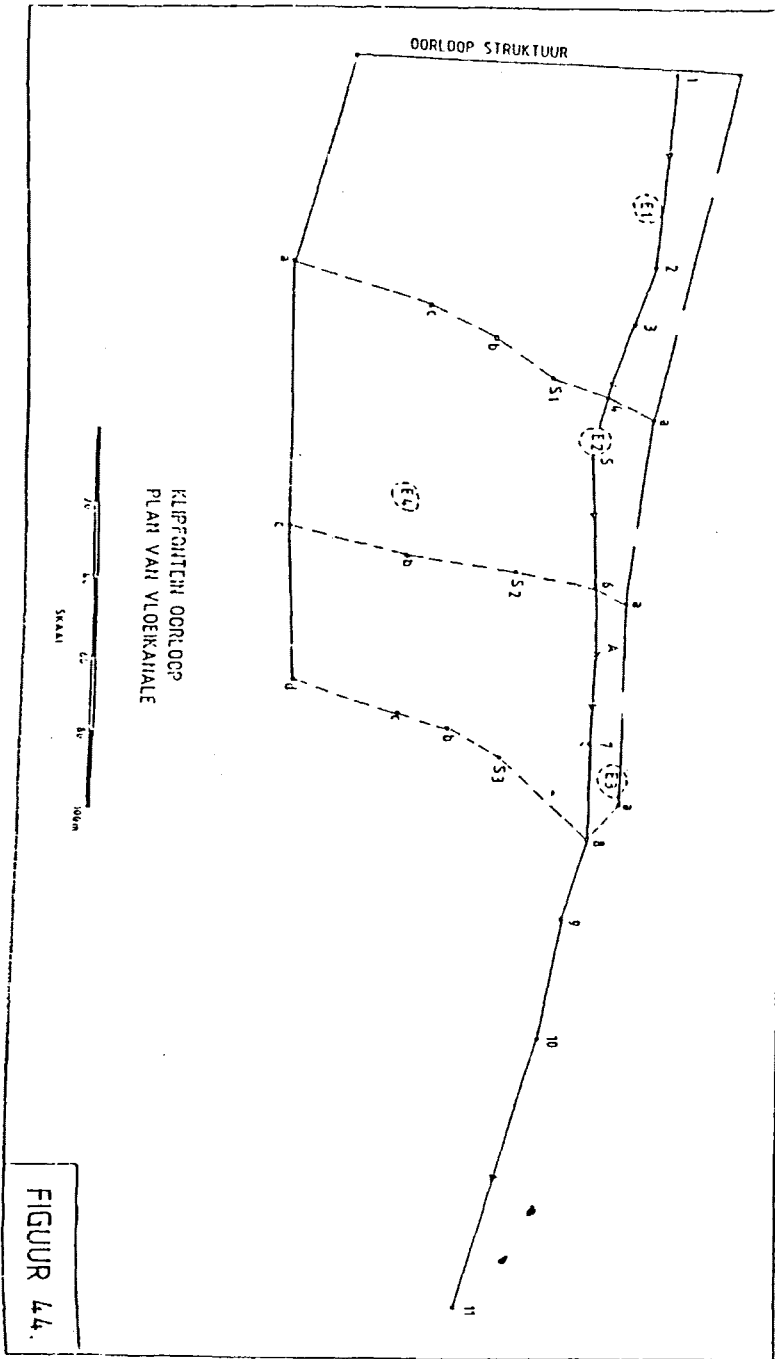
KLIPFONTEINDAM

Maks. uitvloeï : $1090 \text{ m}^3/\text{s}$ (1984)

Kruullengte
(oorloop) : 101 m

Skaal : 1:5 000

FIGUUR 43.



FIGUR 44

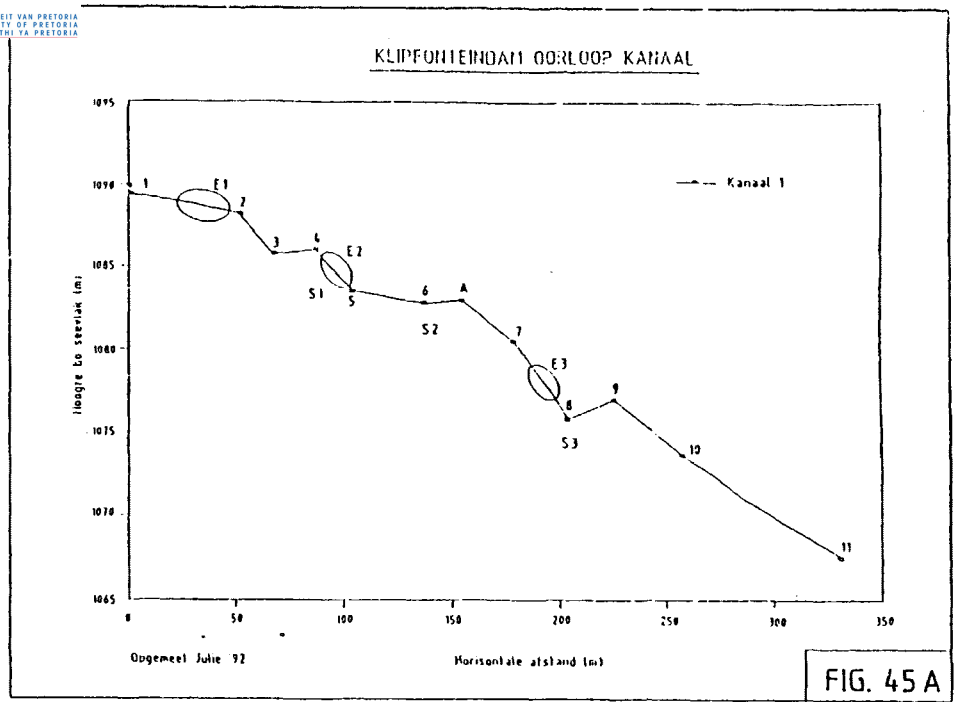


FIG. 45 A

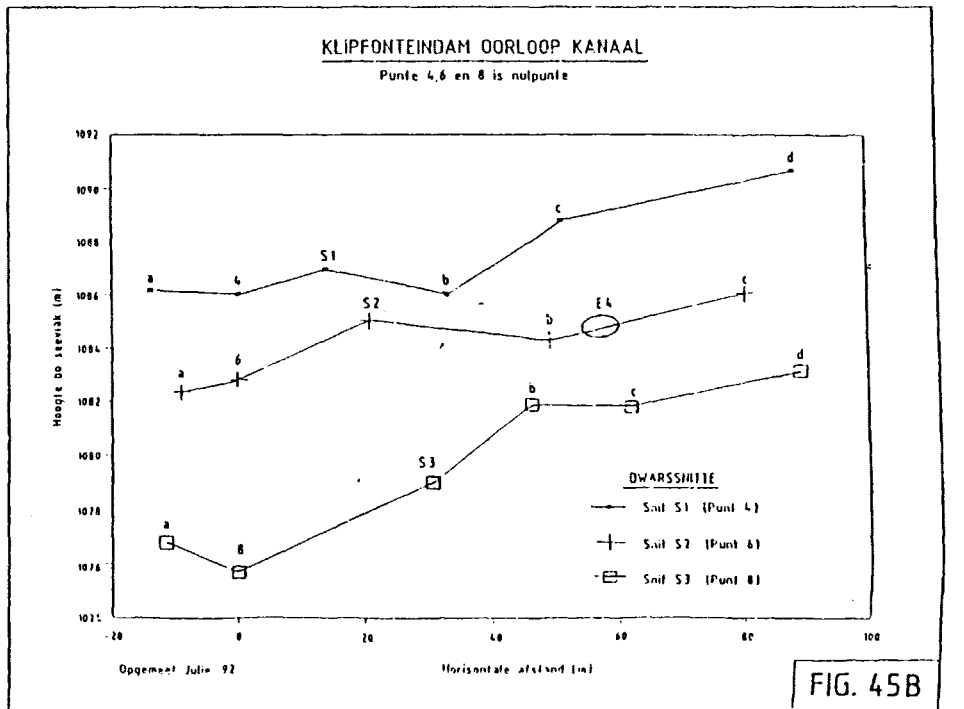


FIG. 45 B

Die sandsteen en skalie van die Ecce Groep, Karoo Opeenvolging, is op graniet afgeset en deur doleriet ingedring. Hierdie doleriet en graniet vorm die vloer van die kanaal oorloop. Die doleriet is hoofsaaklik onverweerd tot effens verweerd met hoogs verweerde sones. Die genaetheid van die doleriet in die kanaal is onreëlmatig, golwend, nie aaneenlopend en digte nate met ru oppervlakte.

'n Aantal naatstelle kan identifiseer word (Davis, 1990):

1. Stel sub - horisontale nate met 'n helling tussen 5 en 20 grade, maar in geen spesifieke rigting nie. Hierdie nate is matig gespaseer (0.5 m tot 1 m) nie aaneenlopend nie, ru en dig.
2. Twee stelle sub - vertikale nate met varieërende oriëntasie kan identifiseer word. Naatspaseëring wissel tussen 5 cm en 3 m (dig tot baie wyd gespaseer).

'n Intakte, ineengeslote (sleutelblokke) rotsmassa is die gevolg van onreëlmatige genaetheid. By sommige plekke kom sferoidale verwerking voor van doleriet wat die rots baie swak maak.

Die oorloop is opgemeet (Figuur 44) sodat 'n lengtesnit en dwarsnitte van die oorloop opgestel kon word (Figuur 45 A en B).

Beskrywing van erosiesones

Drie erosiesones is identifiseer in die oorloopkanaal. Vier erosiepunte is in die sones beskryf.

Erosiesone 1 (E1)

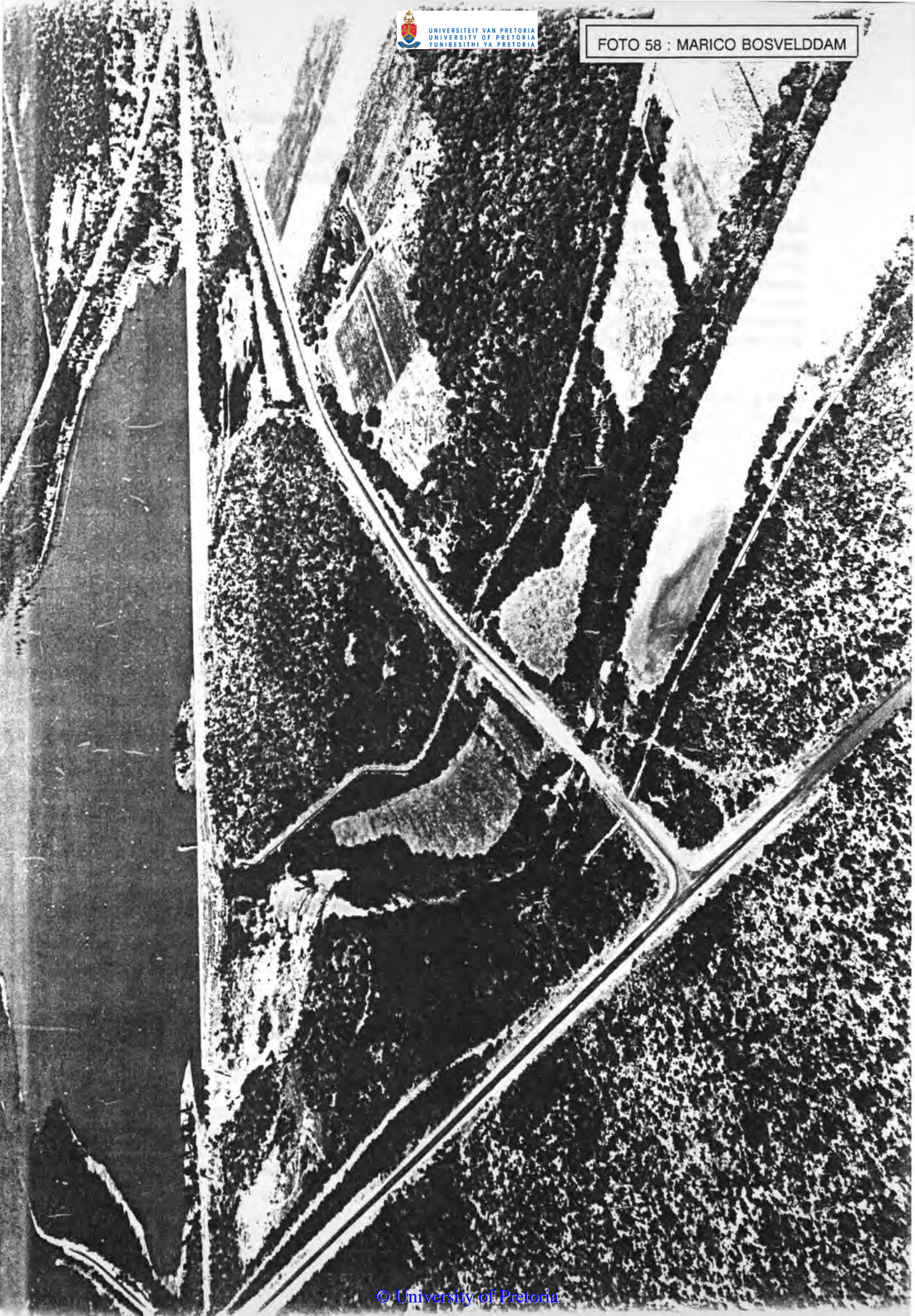
Hierdie sone is stroomaf van die oorloopstruktuur tot ongeveer 80 m verder stroomaf. Erosiepunt 1 is 32 m stroomaf langs die vloeylyn af (Figuur 44). Geen definitiewe nate kom in die doleriet voor nie, maar wel willekeurige nate. Min tot geen erosie het hier plaasgevind.

Erosiesone 2 (E2 & E3)

Hierdie sone is van waar erosiesone 1 eindig tot 200 m stroomaf van die oorloopstruktuur. Erosiepunt 2 en 3 kom in hierdie sone voor. By erosiepunt 2 is verweerde doleriet en sferoidale verwerking vind plaas. Matige erosie het hier plaasgevind. Die doleriet by erosiepunt 3 is ook verweerd en baie erosie het hier plaasgevind as gevolg van die steil helling van die kanaalvloer.

Erosiesone 3 (E4)

Erosiesone drie is teen die regterflank van die oorloopkanaal. Die rots by erosiepunt 4 is hard en skietmerke kan waargeneem word op die rots. Min erosie het hier plaasgevind.



5.3.13 Marico Bosvelddam

Die Marico - Bosvelddam (Foto 58) 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 lang, reguit grondvulwal met 'n maksimum hoogte bo grondvlak van ongeveer 25.0 m en 'n oorloop in die regterflank (Figuur 46). Die oorloop het by voltooiing bestaan uit 'n 166 m lank betonmuur. Figuur 47 is 'n snit deur hierdie betonmuur. Dit het egter kort na voltooiing weggespoel (ondergrawe) en grootskaalse erosie het stroomaf van die oorloop in die hoogs verweerde diabaas gang plaasgevind. Die erosie het tydens 'n vloed in 1937 verder gegroei en 'n sloot in die rigting van die dam gevorm. Die vloed van 1937 was van dieselfde grootte orde as die vloed van 1976. Geen data bestaan van die vloed in 1937 en daarom is die data van die vloed in 1976 gebruik.

'n Boogwal is aan die bo - punt van die sloot, in lyn met die hoofwal gebou, om erosie tot in die damkom te verhoed (Foto 59). Die 14 m hoë boogwal is tussen 1937 en 1945 gebou. Dit het later aan die lig gekom dat die oorloop, tussen die hoofwal en boogwal, nie voldoende is nie, en is dit verander na die huidige saagtandoorloop.



FOTO 59 : Erosie stroomaf van boogseksie in oorloopkanaal.

Die dam is geleë op gesteentes van die Pretoria Groep, Transvaal Opeenvolging wat bestaan uit wit tot gelerige, medium korrelrige kwartsiet. Die rots het teen 4 - 5 grade stroomaf (noord). Harde lae van 0.6 - 2.0 m dikte kom soms bo - op sagte hoogs verweerde lae voor. Die hoof erosiesloot is in sagte hoogs verweerde diabaas. Die diabaasgang het vermoedelik parallel aan die hoofnaatstel ingedring.

Die rots stroomaf van die oorloop is baie dig genate, matig tot hoogs verweerde kwartsiet. Sommige van die horisontale lae is so verweerd dat dit met die hand gebreek kan word. Die vertikale nate in die rots veroorsaak omvalswigting. Die laer gedeelte van die oorloop, waar dit by die erosiesloot aansluit, is trapsgewys met beton bedek om verdere erosie te voorkom (Foto 60).

MARICO BOSVELDDAM

(Ou en Nuwe Strukture 1945 is Oorloop Verander)

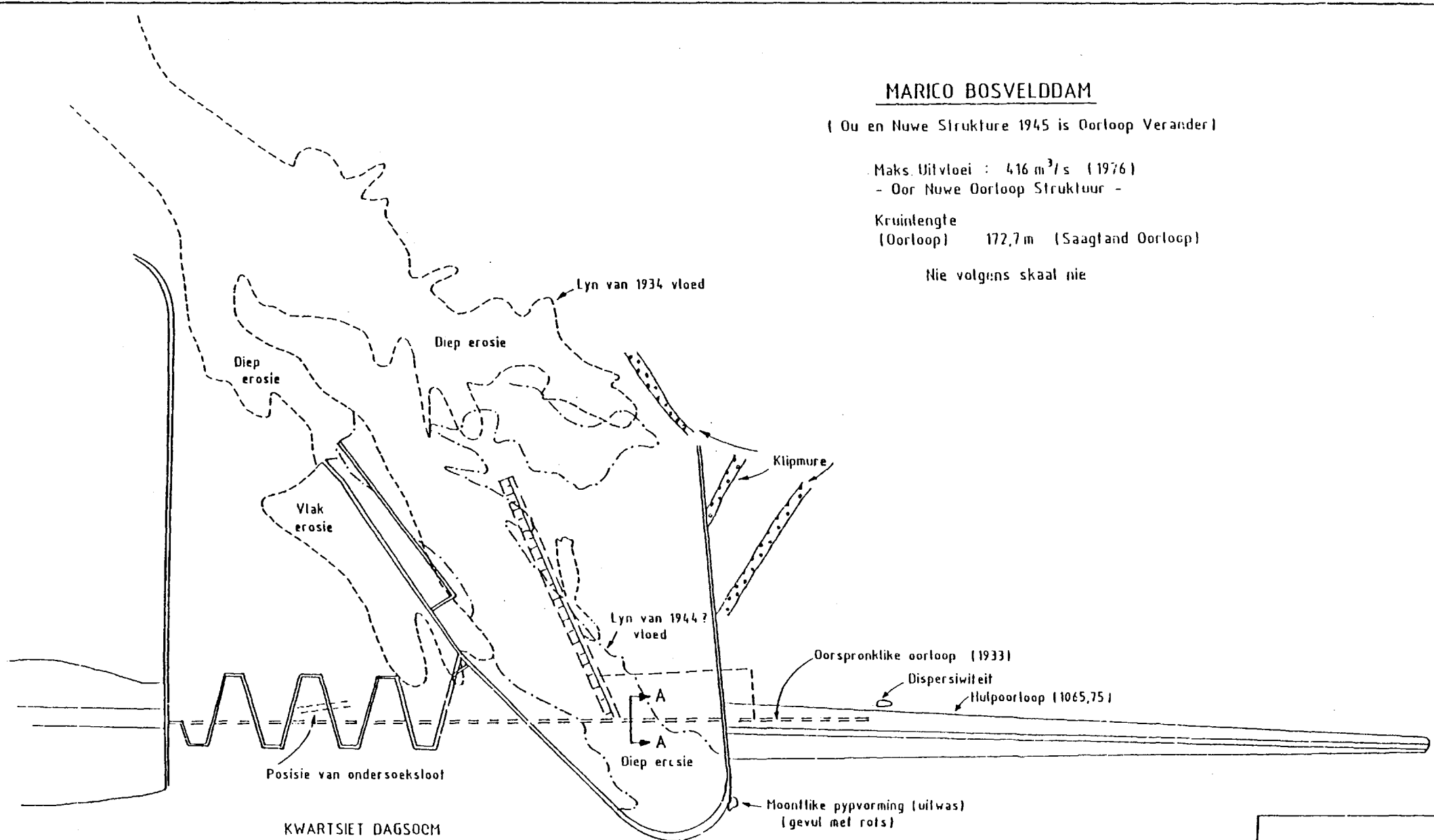
Maks. Uitvloeï : 416 m³/s (1976)

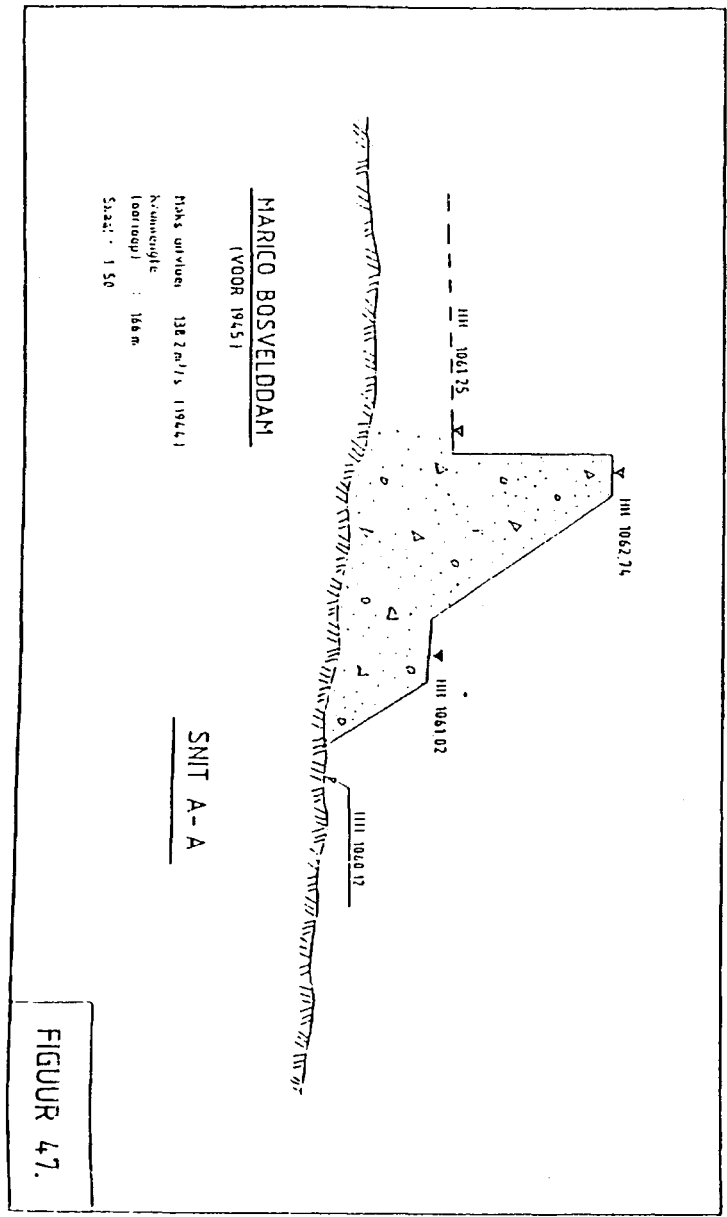
- Oor Nuwe Oorloop Struktuur -

Kruintengte

(Oorloop) 172,7 m (Saagland Oorloop)

Nie volgens skaal nie





FIGUR 47.

MARICO BOSVELDDAM

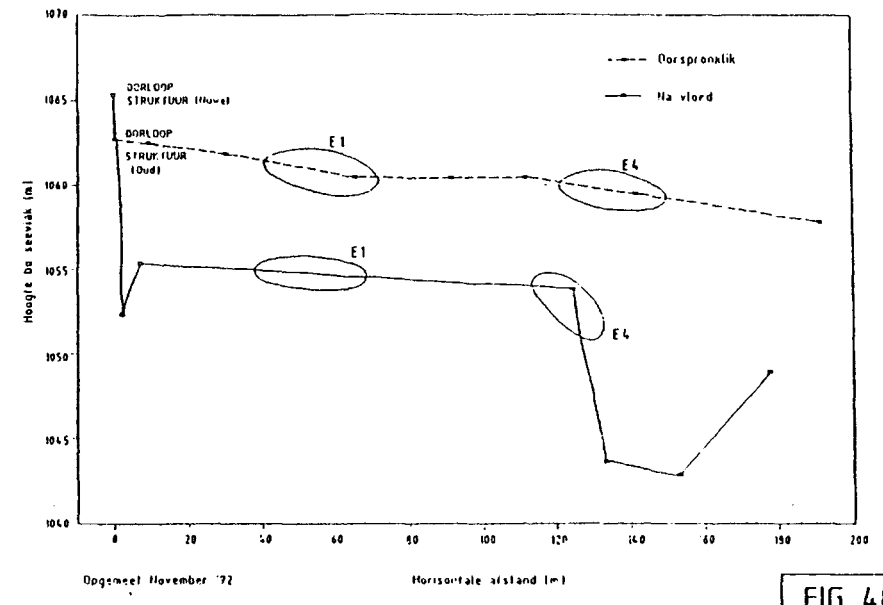


FIG. 48

MARICO BOSVELDDAM

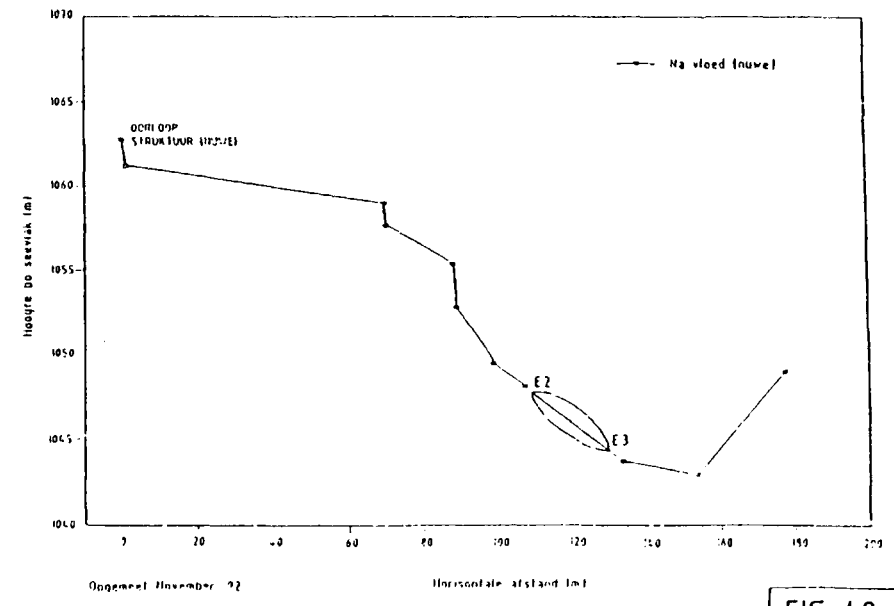


FIG. 49



FOTO 60 : Diabaasgang in oorloopkanaal waar erosie plaasgevind het.

Die oorloop is opgemeet en 'n lengtesnit langs die kanaal is geteken (Figuur 48). Dit kan met die oorspronklike oppervlak lyn vergelyk word om die mate van erosie waar te neem. Vier erosiepunte is identifiseer. Figuur 49 is 'n profiel langs die belynde, trapsgewyse oorloop.

Indien die verweerde diabaas of die baie nou genate, matig verweerde kwartsiet aan 'n vloed blootgestel word, sal dit verder erodeer.

Beskrywing van erosiesones

Twee erosiesones en vier erosiepunte is identifiseer en beskryf.

Erosiesone 1 (E1 & E4)

Erosiesone 1 is in die onbelynde kanaal waar grootskaalse erosie plaasgevind het (Figuur 48). Erosiepunte 1 en 4 kom in hierdie sone voor. Erosiepunte 1 is 100 m stroomaf van die boogwal. Die kwartsiet hel stroomaf en die gelaagdheid is goed ontwikkel. Baie erosie het hier plaasgevind. Erosiepunte 4 is die hoogs verweerde diabaas aan die einde van die kanaal waar baie erosie plaasgevind het.

Erosiesone 2 (E2 & E3)

Erosiesone 2 is waar die belynde en onbelynde kanaal bymekaarkom. Erosiepunte 2 en 3 kom in hierdie sone voor (Figuur 49). By erosiepunte 2 het matige erosie plaasgevind en min tot geen erosie by erosiepunte 3. Die kwartsiet by erosiepunte 2 is meer genaat as by erosiepunte 3 waar die rots meer massief is.

5.3.14 Mzikidam

Hierdie dam is op 13 September 1991 besoek. Hierdie dam is nie baie groot nie en dien as drinkwater vir wild. Die grondvul damwal is ongeveer 200m lank en besit 'n kanaal oorloop langs die linkerflank van die damwal (Foto 61).



FOTO 61 : Oorloopkanaal van Mzikidam na vloed.

Die oorloopkanaal is in die Nxwala Formasie van die Kompleks Bumbeni gebou. Hierdie formasie bestaan uit klastiese tuf (SACS, 1980). Die tuf is gesementeer tot 'n harde rots met 'n groot korrelgrootte. Daar bestaan swak sones soos waar sementering van die tuf nie so goed plaasgevind het nie. Dit is in hierdie sones waar dramatiese erosie plaasvind. Die erosie in die kanaal is slegs na een vloed. Erosie het ook by die toon van die damwal plaasgevind omdat die kanaal oorloop die water na die toon rig.

Erosie in die kanaal het langs 'n lineament van verswakte materiaal plaasgevind. Hierdie lineament kan ook in die linkerflank teen die wal gevolg word. 'n X - straal diffraksie analise is van hierdie materiaal in die swak sone uitgevoer en die volgende resultate is verkry:

1. Kwarts	86%
2. Mikroklien	13%
3. Kaoliniet	1%

Die materiaal wat erodeer is baie bros en swak. Die materiaal word baie maklik met 'n geologiese hamer losgekrap. Geen definitiewe naatstel kan in die kanaal waargeneem word nie. Daar kan egter 'n effense gelaagdheid waargeneem word.

Willekeurige nate kom algemeen voor. Die lineament waar erosie plaasvind kom op 'n kontak van goeie materiaal en swak materiaal voor. Die swak materiaal is dispersief en kan dus maklik erodeer.

Meganisme van erosie

Waar die erodeerbare lineament 'n ander erodeerbare sone kruis vind erosie plaas. Hierdie kruispunte word erosiekonsentrasiepunte genoem.

Die meganisme is dieselfde as by Hans Strydomdam. Twee swak sones kruis mekaar en hierdie kruispunt vorm 'n erosie konsentrasie punt waar erosie begin. Die erosie begin dan terugvreet om retrogressiewe erosie te vorm. Die twee swak sones in hierdie kanaal is die lineament (kontak) en die vlak hellende gelaagdheid. Groot skaalse erosie het by die kruispunt en langs die lineament plaasgevind. Retrogressiewe erosie het stroomop van die kruispunt plaasgevind. Die boonste 20mm van die kanaal is goeie materiaal. Sodra die water deur hierdie goeie "skil" erodeer word die swak materiaal onder ontbloot en erodeer baie vinniger.

Erosiesones

Twee erosiepunte is by Mzikidam identifiseer en beskryf. Die hele kanaal is een erosiesone. Erosiepunt 1 is 20 m stroomaf van die oorloopkruin naby die diep verweerde sone. Die materiaal is baie swak en word maklik losgeskraap met 'n geologiese hamer. Baie erosie het hier plaasgevind. Erosiepunt 2 is 2 m stroomaf van die oorloopkruin. Die materiaal hier is sterker as by erosiepunt 1. Matige erosie het hier plaasgevind.

Waar nate en diskontinuiteite op die oppervlak voorkom moet dit gevul of gelyk gemaak word sodat water dit nie kan binnedring nie. Groot skaalse erosie word nie deur blote skuuraksie van water oor die oppervlak veroorsaak nie. Sodra water krake en nate binnedring vind ophigdruk plaas wat groot skaalse erosie veroorsaak. Sogenaamde "dental work" moet dus op die nate uitgevoer word om te verhoed dat die water die nate en diskontinuiteite binnedring. Die oorloop kanaal is reggemaak en Foto 62 is die resultaat van hierdie regmakende aksie.



FOTO 62 : Oorloopkanaal nadat erosie reggemaak is.



5.3.15 Prinsrivierdam

Prinsrivierdam is in die Prinsrivier en 48 km wes van Ladismith en 35 km suidwes van Laingsburg geleë. Die lugfoto (Foto 63) is geneem voordat die nek oorloop verhoog is. Die damwal bestaan uit 'n 37 m hoë rotsvulwal met 'n stroomop beton membraan. Daar is 'n aparte V - vormige swaartekrag oorloopstruktuur by 'n lae nek aan die suidekant van die damkom. Die maksimum hoogte van die oorloopstruktuur is 14 m.

Die oorloop, voor verhoging (Figuur 50), het gedurende 'n vloed op 25/01/81 oorgeloop en grootskaalse erosie veroorsaak. 'n Trog oorloop met ogee tipe wal (Foto 64) is daarna gebou en vasgeanker sodat dit nie weer sal wegspoel nie. Figuur 51 A is 'n plan van die nuwe trog oorloop en Figuur 51 B is 'n snit deur hierdie ogee oorloop.

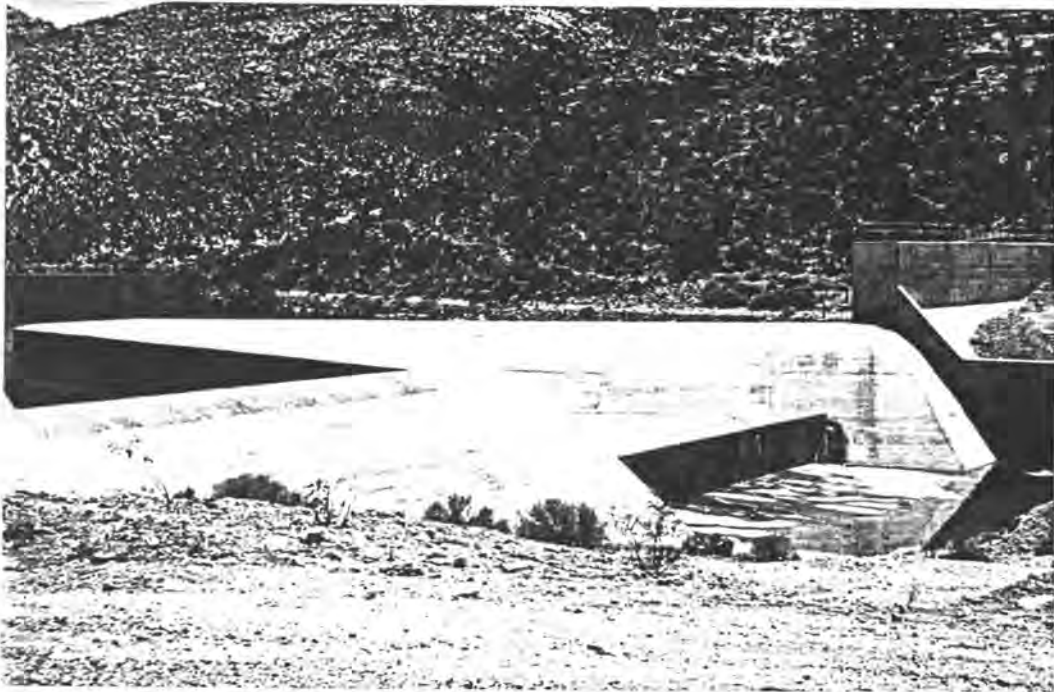
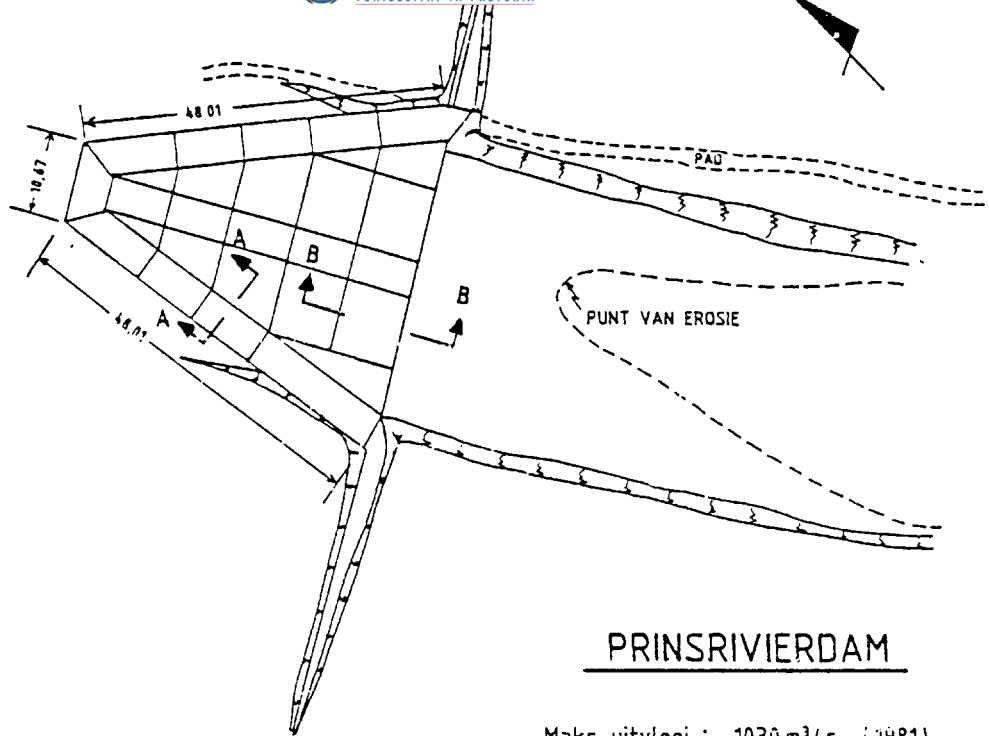


FOTO 64 : Huidige ogee oorloop by Prinsrivierdam.

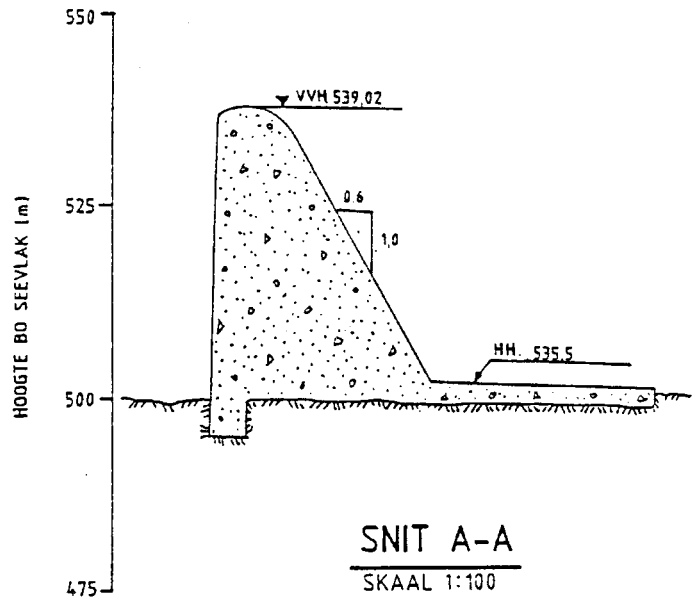
Die gesteentes in die oorloop bestaan uit kwartsiet, sandsteen, slijksteen en skalie van die Tafelberg Groep, Kaap Supergroep. Die gebied vorm deel van die Kaapse plooiestreek en die rots is gevolglik hoogs geplooi en gebreek. Die oorloop is tussen twee parallelle kwartsiet rante geleë met slijksteen, skalie en alluvium wat die valleivioer vorm.

Die rots in die linkerflank hel na die flank. In die regterflank hel die lae na die regterflank wat aandui dat dit moontlik 'n antiklien kan wees. Ook is daar 'n moontlike verskuiwing wat deur die sentrale deel van die antiklien loop. Die hoogs verbroke en genate rots in die oorloop is deel van die verskuiwingsone. Die foliasie van die gesteentes is loodreg op die gelaagdheid wat veroorsaak dat die gesteente in blokke opbreek. Figuur 52 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 verbroke gesteente.

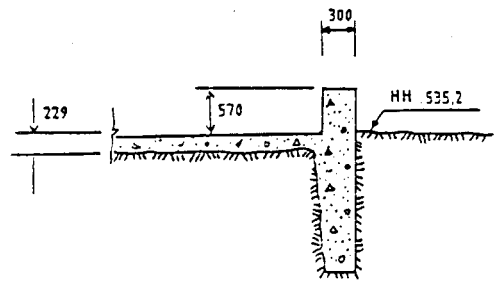


PRINSRIVIERDAM

Maks. uitvloei : 1030 m³/s (1981)
 Kruinlengte (oorloop) : 106,7m
 Skaal : 1:1000
 DAMWAL VERHOOG IN SEPTEMBER 1992

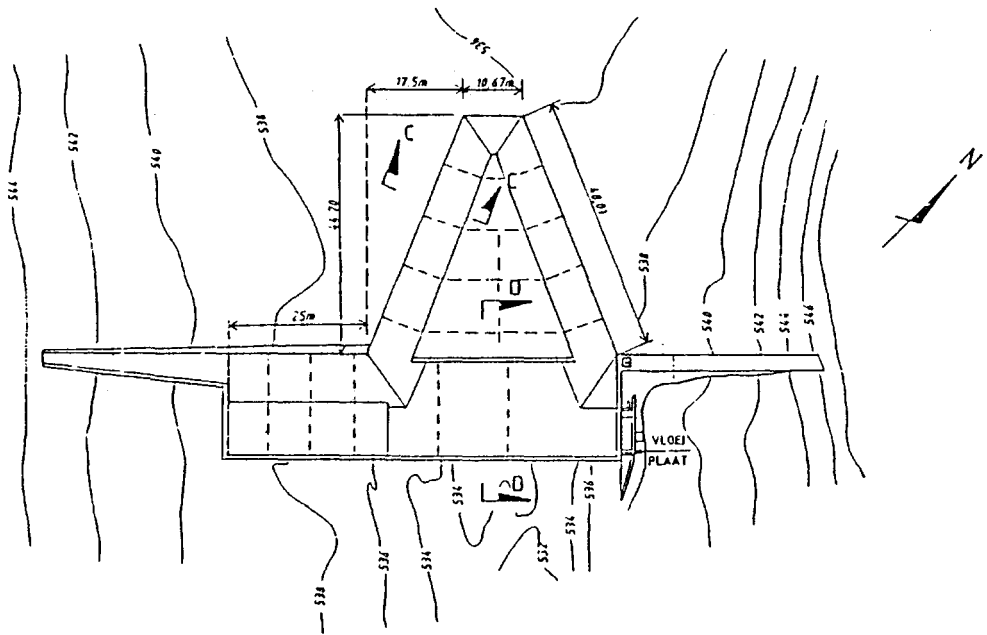


SNIT A-A
SKAAL 1:100



SNIT B-B
SKAAL 1:100

FIGUUR 50.

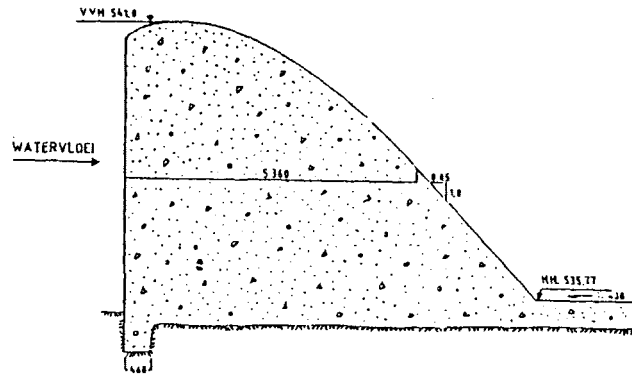


PRINSRIVIERDAM

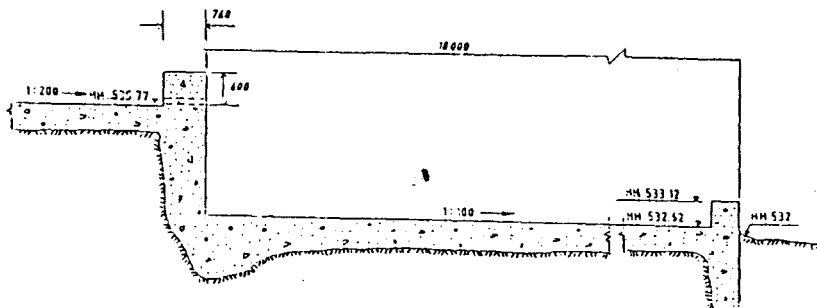
Maks. uitvloei :
(na verhoging 1982)
Kruinlengte
(oorloop) : 131,7m
Skaal : 1:1000

FIGUUR 51A.

PRINSRIVIERDAM
NA VERHOOGING VAN WAL IN 1982

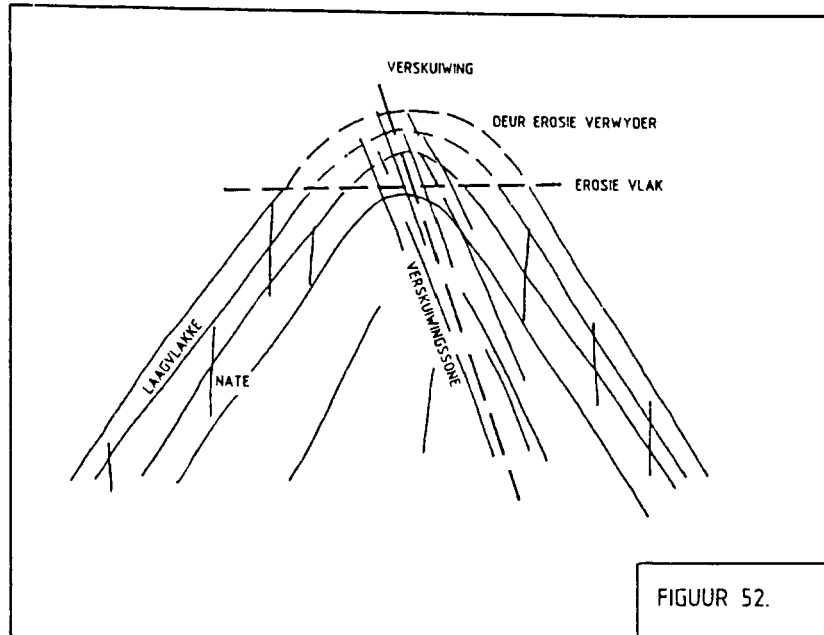


SNIT C-C
SKAAL 1:100



SNIT D-D
SKAAL 1:100

FIGUUR 51B.



FIGUUR 52 : Skematiese voorstelling van antiklien en verskuivingsone.

Agt en sewentig naatoriëntasies is opgemeet en op 'n Schmidt net geplot. Die water loop in 'n rigting 116 grade oor die gesteente. Figuur 53 is 'n stereografiese projeksie van die verskillende naatrigtings met die vloëirigting van die water ook aangedui.

Beskrywing van Erosiesones

Die oorloopkanaal is in twee erosiesones opgedeel en drie erosiepunte is beskryf. Die gesteente in die gebied is uniform daarom is slegs twee erosiesones onderskei. Die kanaal is opgemeet en Figuur 54 is 'n algemene plan van die kanaal waarlangs die water vloei. Figuur 55 is 'n lengtesnit van hierdie plan.

Erosiesone 1 (E1 & E2)

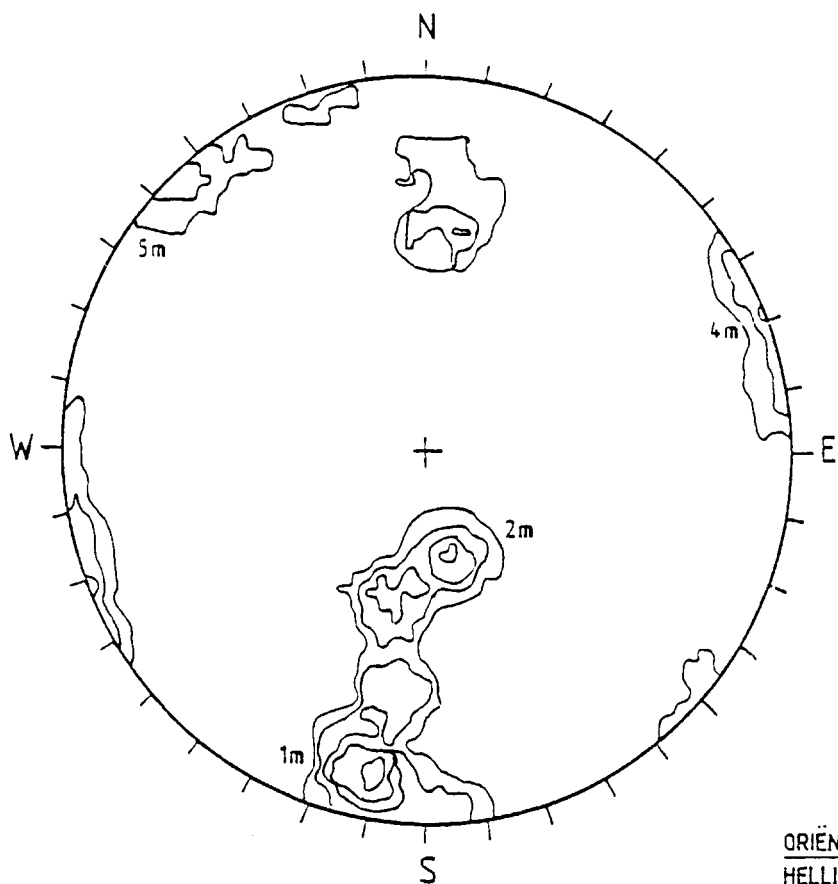
Erosiesone 1 strek tot ongeveer 150 m stroomaf van die punt van die oorloopstruktuur. Erosiepunte 1 en 2 kom in hierdie gebied voor. Erosiepunt 1 is ongeveer 10 m stroomaf van oorloop. Die rots is swak en verbrokkeling het plaasgevind. Matige erosie het plaasgevind. Erosiepunt 2 is ongeveer 120 m stroomaf van die oorloopstruktuur en matige erosie het plaasgevind. Foto 65 dui die erosieskade by 'n punt in erosiesone 1 aan.

Erosiesone 2 (E3)

Hierdie sone is 150 m stroomaf van die oorloopstruktuur waar die helling van die kanaal steil is (Figuur 55). By erosiepunt 3 het baie erosie van die sagte moddersteen/sliksteen plaasgevind.

Rotsblokgroottes in die erosiesones:

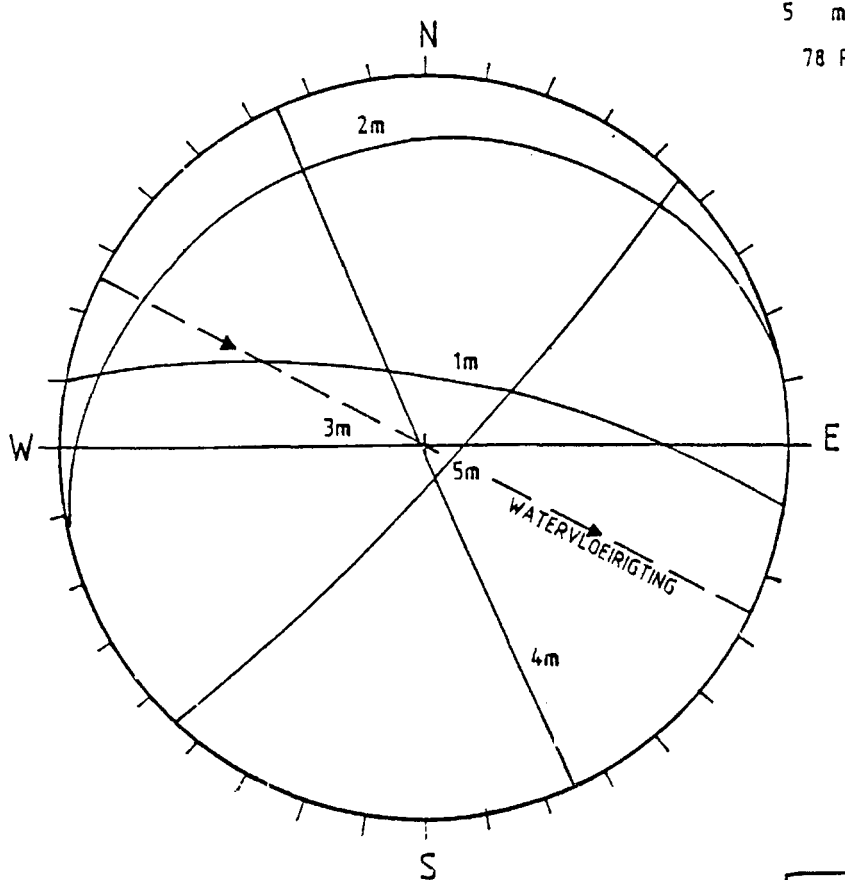
Erosiesone 1: 10 - 60 cm	semi kubies
Erosiesone 1: 10 - 30 cm	semi kubies
Erosiesone 2: 30 - 50 cm	kubies
Erosiesone 2: 50 - 100 cm	kubies



ORIËNTASIES
HELLING/HELRIJTING

- 1 m 76/010
- 2 m 22/347
- 3 m 90/180
- 4 m 89/245
- 5 m 85/135

78 POLES



PRIMÊRE NAATSTELLE

FIGUUR 53.

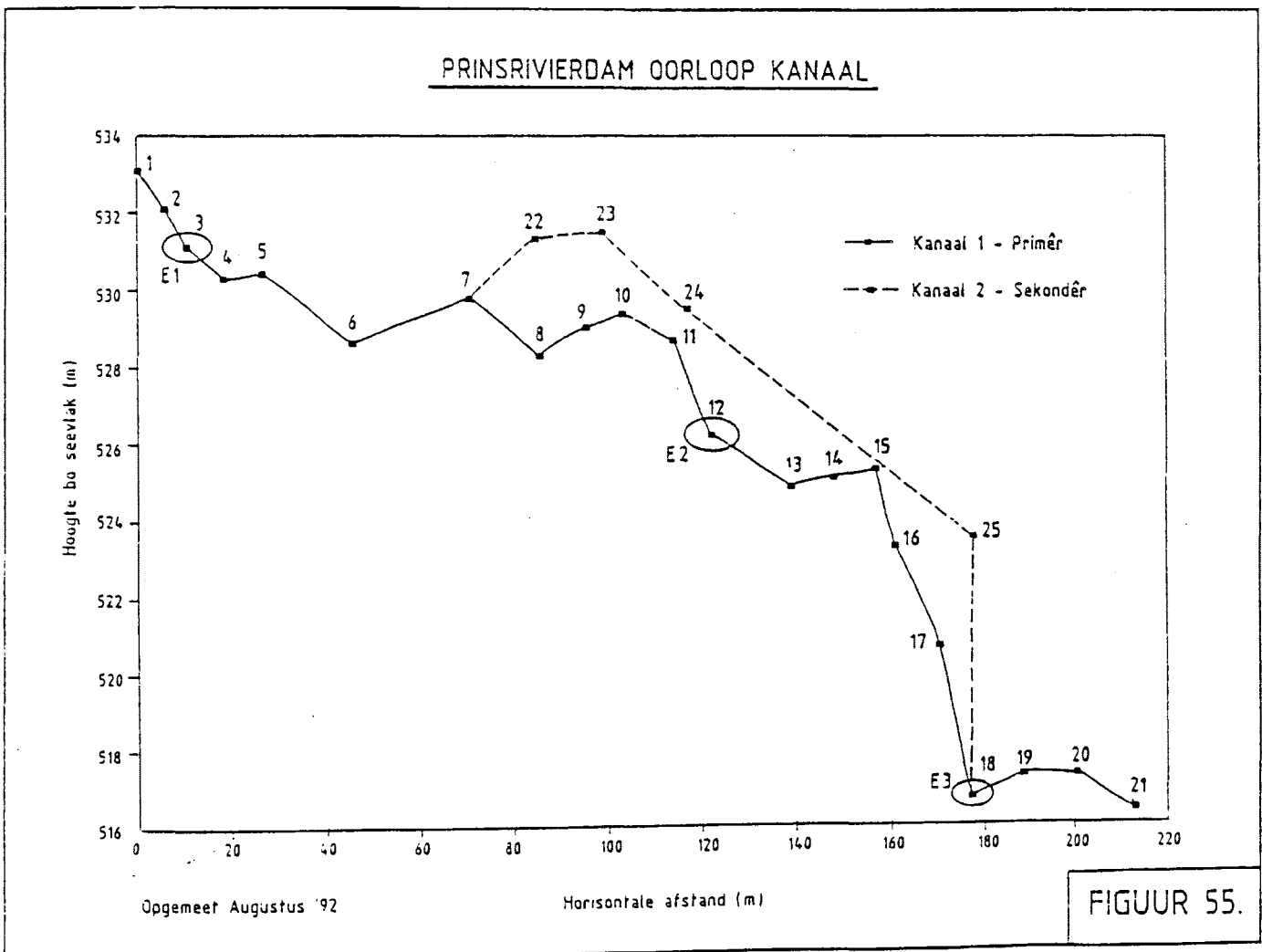
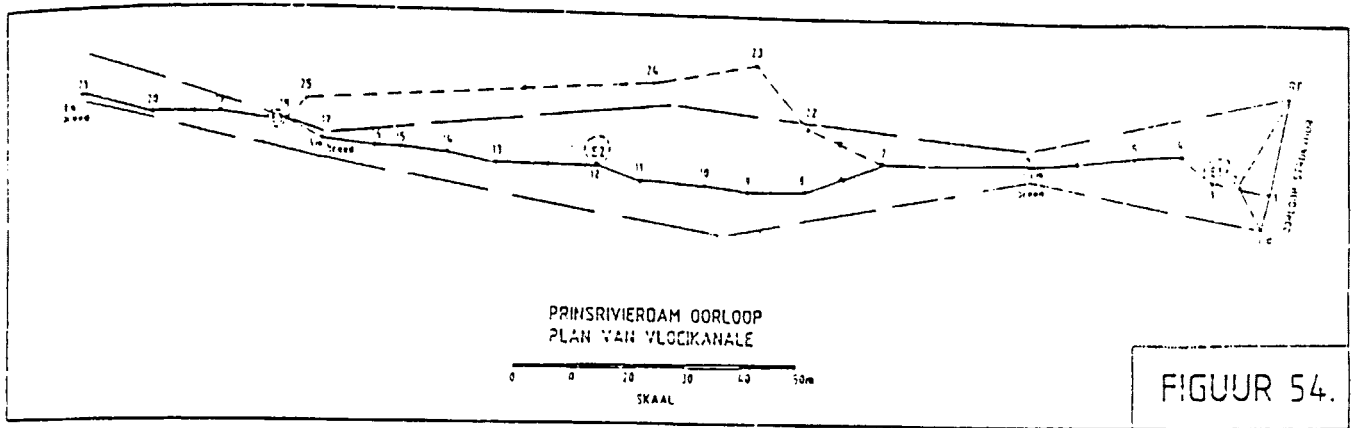




FOTO 65 : Erosieskade in oorloopkanaal van Prinsrivierdam.

Die volgende Schmidt-hamer waardes (SHW) is in erosiesone 1 en 2 gekry.

TABEL 31 : Schmidt hamer waardes

Erosiesone 1		Erosiesone 2	
Grade (vert.0°)	SHW	Grade (vert.0°)	SHW
0°	30	0°	21
	32		24
	30		22
	22		24
	26		22
	30		24
90°	26		20
	32	90°	28
	30		40
45	32	45°	36
	26		38
	26		32
Gem. SHW	28,5	Gem.SHW	27,6

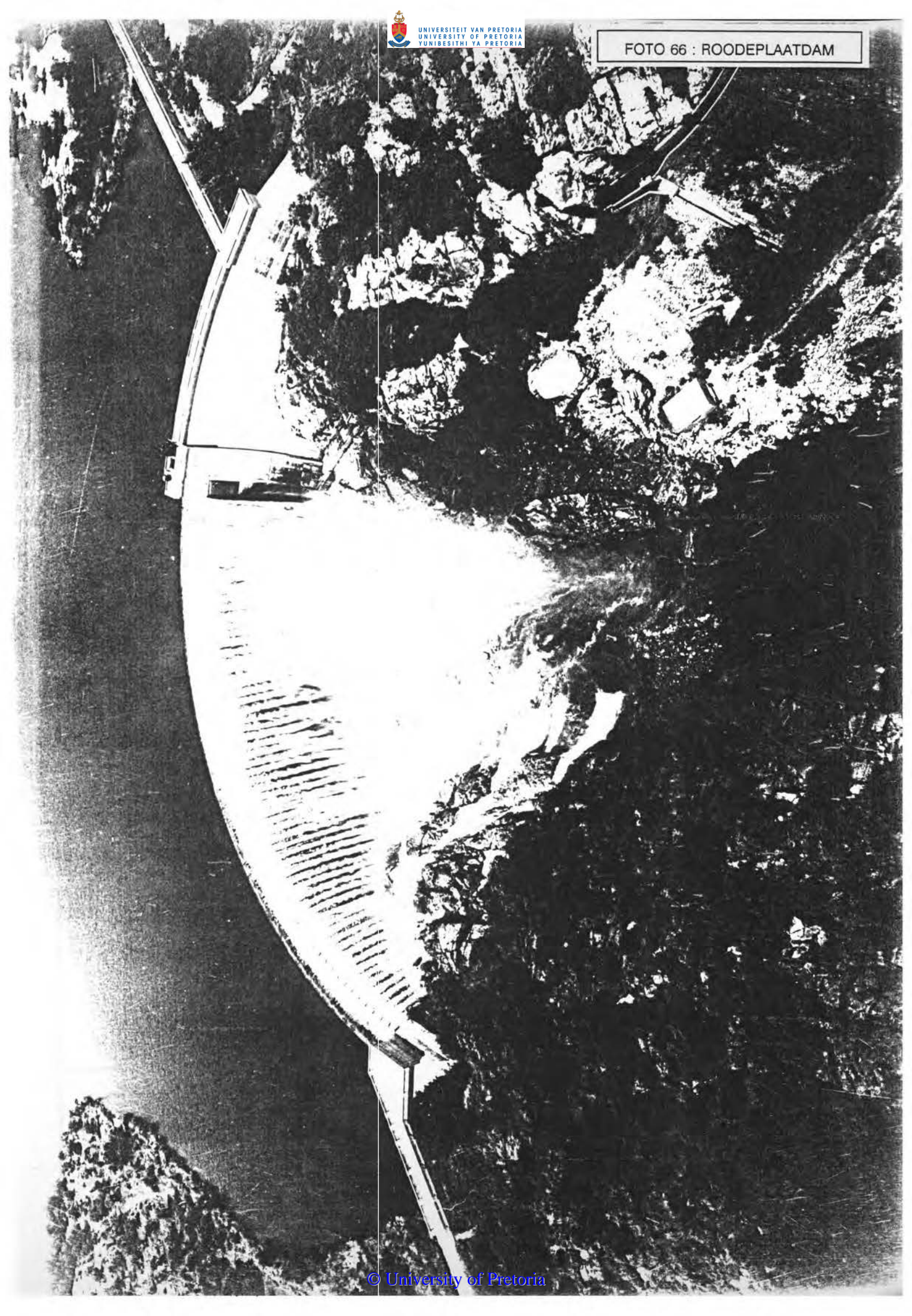
Ingenieursgeologiese aspekte

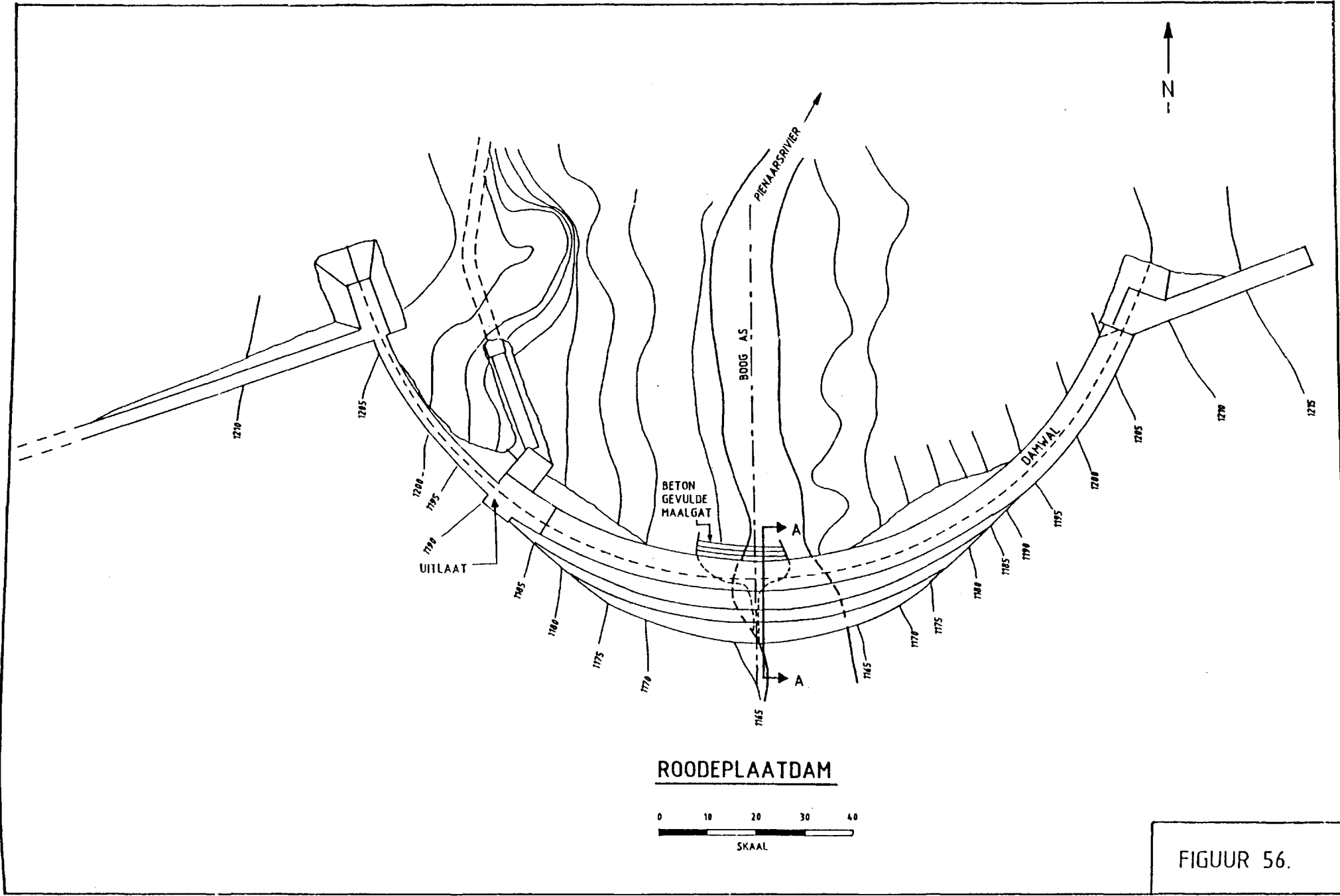
Die Schmidt-hamer waarde van 28 is relatief laag. Vanaf die stereoplot (Figuur 53) kan twee stelle laagvlakke en drie primêre naatstelle identifiseer word. Die laagvlakke en naatstelle hel teen 60 tot 80 grade terwyl een prominente laagvlak teen 20 tot 30° in 'n noord oostelike rigting hel. Die water vloei naastenby parallel aan hierdie laagvlak. Die nate is meesal dig gespasieer met vulmateriaal wat tot 20 cm dik is. Die rots is meesal matig verweer. Naatvulmateriaal en laagvlakke het verkleuring ondergaan en in sommige plekke is 'n breë band van sagte vulmateriaal teenwoordig. Die vulmateriaal is baie sag en word maklik uitgespoel. Die vulmateriaal kan met 'n geologiese hamer uitgeskraap word.

Die vloeisnelheid van die water neem geleidelik toe en het 'n maksimum by die oorgang van erosiesone 1 na erosiesone 2.

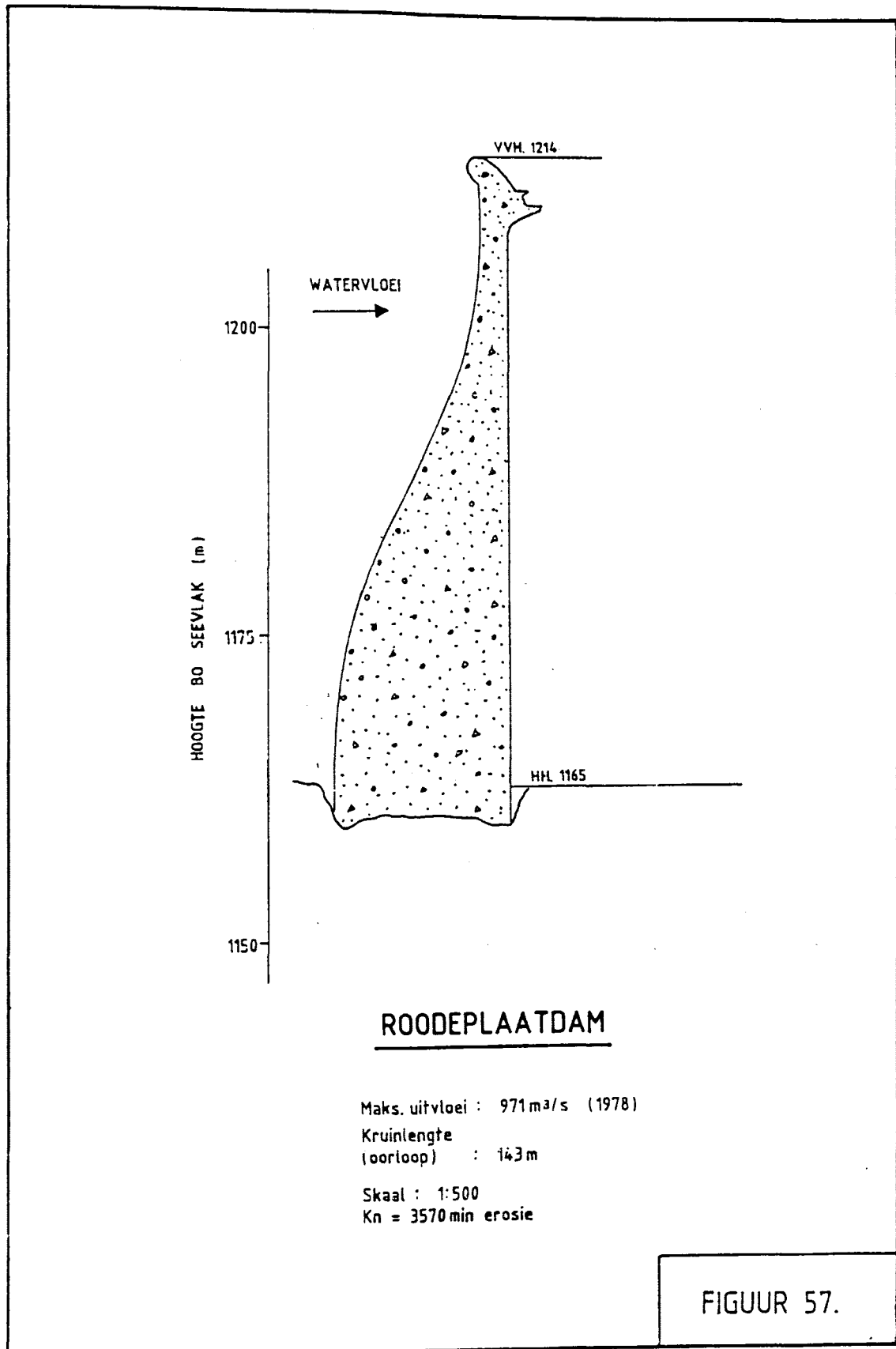
Die gesteentes het laagvlakke wat 20 - 30° grade hel en parallel ten opsigte van die water loop. Die vertikale nate breek die gesteente in rotsblokke op. Rotsblokgroottes varieer tussen 10 - 100 cm in deursnee. Baie willekeurige nate (sekondêre nate) kom ook voor wat die rots nog verder opbreek.

Uitkalwing van die rots vind plaas. Die rots wat geen ondersteuning het nie (vryheidsgraad (VG) ≥ 2) word eerste deur die water verwyder. Die sterkte van die blok op die front is afhanklik van die sementeringssterkte van die nate en die sterkte van die vulmateriaal by laagvlakke. Soos die rotsblok op die front uitbeweeg, word die daaropvolgende rotsblok aan waterkrag blootgestel. Dié rotsblok word ook mettertyd verwyder. So vind retrogressiewe erosie plaas (Foto 65).





FIGUUR 56.



5.3.16 Roodeplaatdam

Roodeplaatdam (Foto 66) is 18 km noord - oos van Pretoria op die Pienaarsrivier geleë. Die boogdam met vryval oorloop is in 1959 voltooi (Figuur 56). Die kruinlengte van die boog is 195 m en die vryval gedeelte is 143 m lank. Die swaartekrag gedeelte teen die regterflank is 22 m lank. Die hoogte bo fondamentvlak is 59 m (Figuur 57). Geen beton skort vir erosie beskerming van die rots by die toon van die dam is aangebring nie.

Die geologie in hierdie omgewing is gekompliseerd en 'n groot verskeidenheid van sedimentêre, vulkaniese en intrusiewe gesteentes kom in hierdie gebied voor. Die rots in die skort is hoofsaaklik felsiet van die Leeufontein Intrusiewe Kompleks. Drie naatstelle is identifiseer. Van die nate is baie gegolf wat meebring dat die rots wat dagsoom gerond lyk. Verwering van die nate is tot 2 m van die oppervlak beperk. Dieper word die nate dig en oop nate is skaars.

Erosie van die felsiet sal baie moeilik plaasvind (Foto 67). Twee erosiepunte is identifiseer en beskryf. Erosiepunt 1 is waar geen erosie plaasgevind het van die harde felsiet. Erosiepunt 2 is by 'n swak sone waar matige erosie plaasgevind het.



FOTO 67 : Harde rots in oorloop by Roodeplaatdam

5.3.17 Tuinroetedam

Die Tuinroetedam is 3 km oos van George op die Bergplaas pad in die Swartrivier geleë (Foto 68). Die 39 m hoë grondvuldam is in 1979 voltooi en het 'n onbeheerde ogee tipe kanaal oorloop langs die regterflank (Foto 69). 'n Keermuur is ± 100 m stroomaf van die betonstruktuur gebou om retrogressiewe erosie te verhoed. Figuur 58 is die algemene plan van die damwal en oorloop. Figuur 59 is 'n snit deur die oorloopgedeelte.



FOTO 68 : Tuinroetedam.

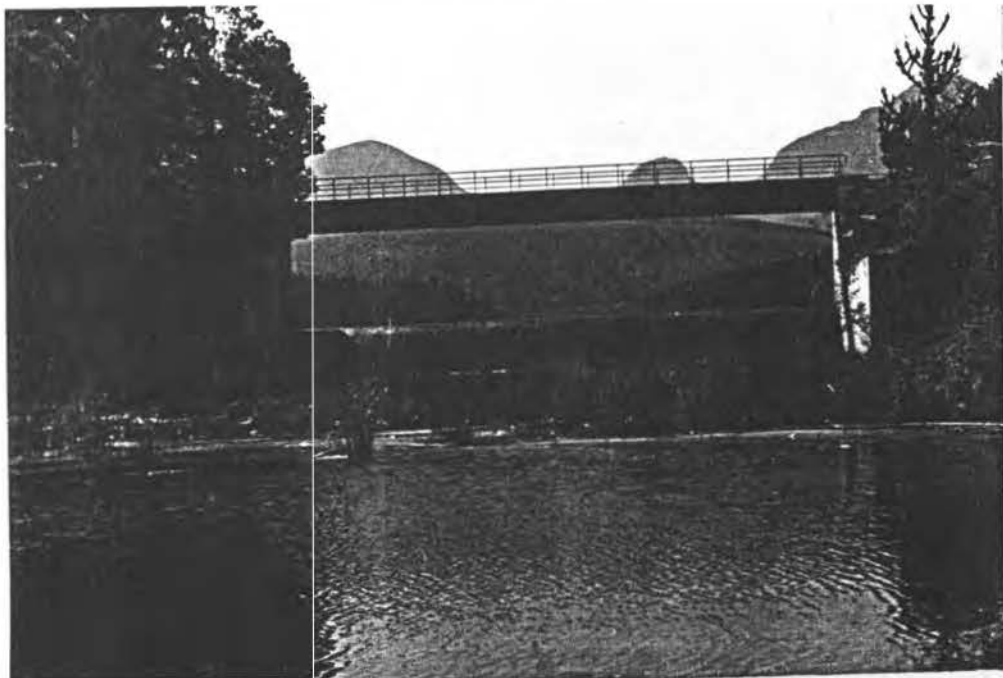
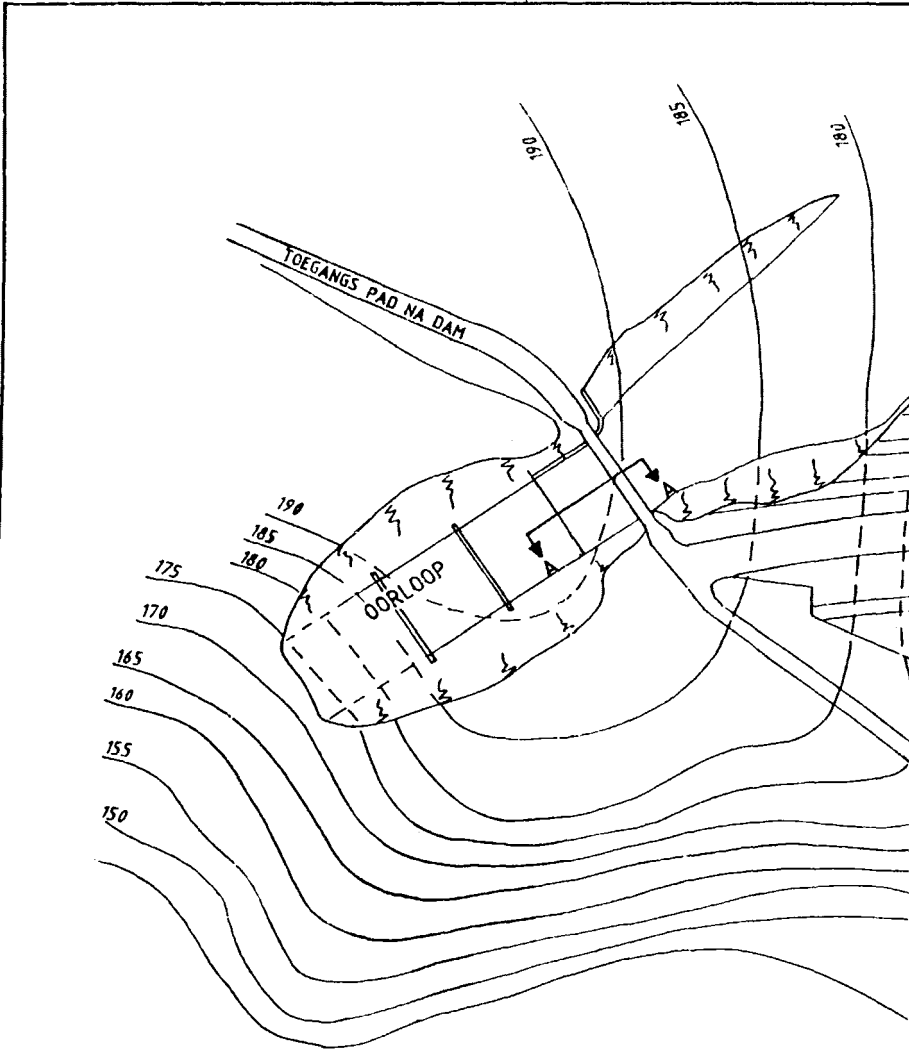


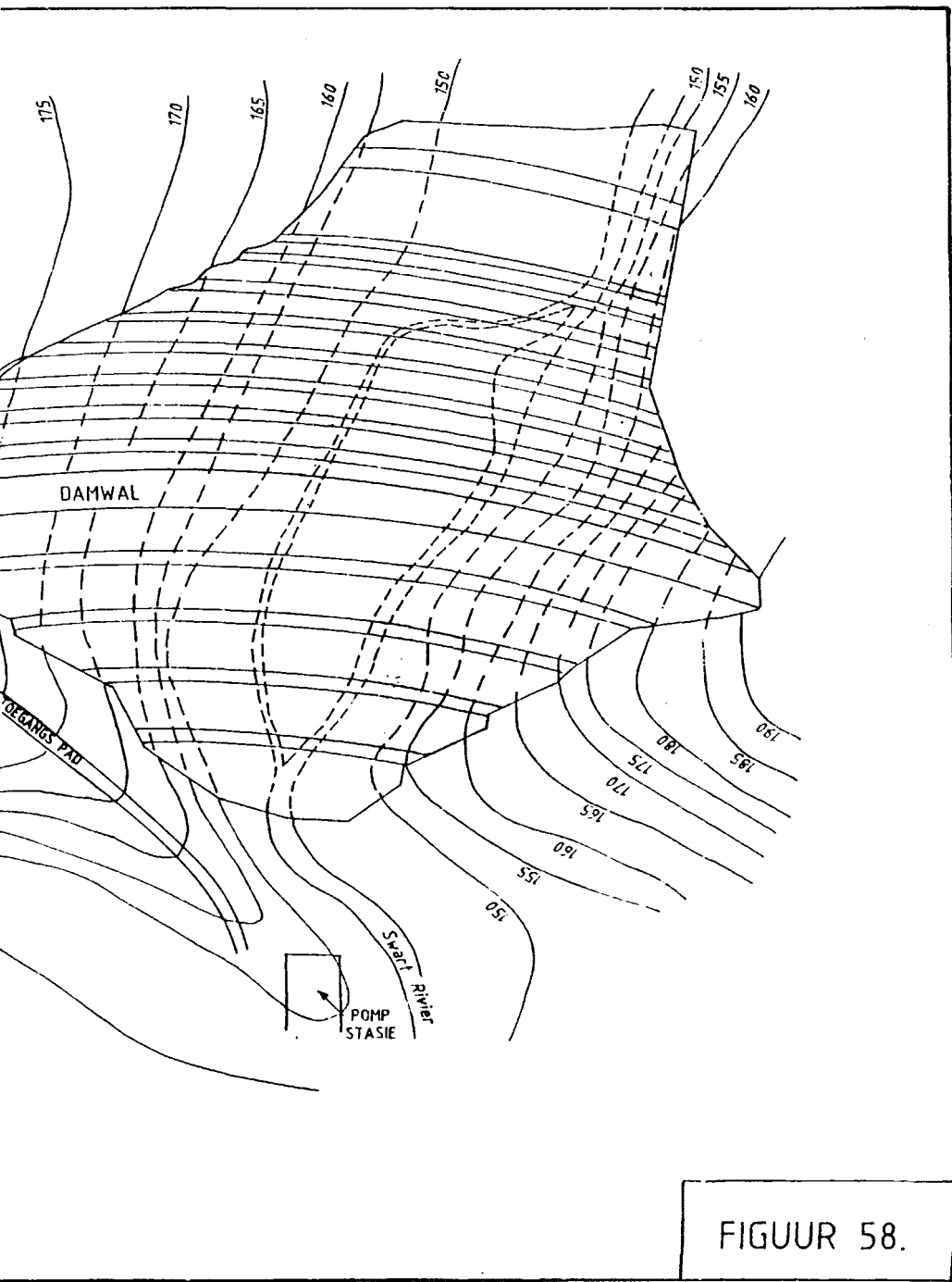
FOTO 69 : Stroomop aansig van ogee oorloop teen regterflank.



TUINROETEDAM

SKAAL 1:2000

ALGEMENE PLAN VAN DAM EN OORLOOP



FIGUUR 58.

Die dam is op die gesteentes van die Kaaimans Formasie geleë. Stroomaf van die damwal is daar intrusiewe graniet gneis. Die darnkom is geleë op kwarts skis van die Silwerrivier Lid en andalusiet skis van die Saasveld Lid, Kaaimans Formasie. Die oorloop kanaal is gebou in andalusiet skis en of mika skis van die Saasveld Lid, Kaaimans Formasie (SACS, 1980).

Die gelaagdheid van die andalusiet skis is loodreg ten opsigte van die watervloei en hel ongeveer 70° stroomaf. Nadat die boonste laag van 1.5 m weggespoel het, het die erosie gestabiliseer op 'n harde skis band (Foto 70).

Beskrywing van Erosiesones

Drie erosiesones is identifiseer en beskryf. Figuur 60 is 'n lengtesnit deur die onbelynde kanaal. Een erosiepunt (E1) is identifiseer in erosiesone twee.

Erosiesone 1

Die gebied strek tot ± 100 m stroomaf van die beton oorloopstruktuur. Die area sluit die keermuur in. Erosie het al in sone 1 op klein skaal plaasgevind. Die gelaagdheid van die rots is loodreg ten opsigte van die watervloei rigting. Die gelaagdheid hel ook ongeveer 70° stroomaf. Die skis is nie 'n baie sterk materiaal nie en kom maklik los as die hamer se punt loodreg op die gelaagdheid geskraap word maar die gelaagdheid is baie styf.

Erosiesone 2 (E1)

Die gebied is die steil hellende gebied net na sone 1. Erosie vind langs die laagvlakke plaas om die steil hellende kran (45°) te vorm. Retrogressiewe erosie vind plaas as gevolg van die oriëntasie van die laagvlakke en ook as gevolg van die hoë vloeisnelheid hier. Die water het die laagvlakke binnegedring, dit losgemaak en erosie veroorsaak. Die erosie het daarna stabiliseer en geen verdere erosie word in hierdie sone verwag nie. Erosiepunt 1 is so gekies dat dit die ou materiaal wat erodeer het verteenwoordig. Die boonste 1,5 m het erodeer (Foto 70).

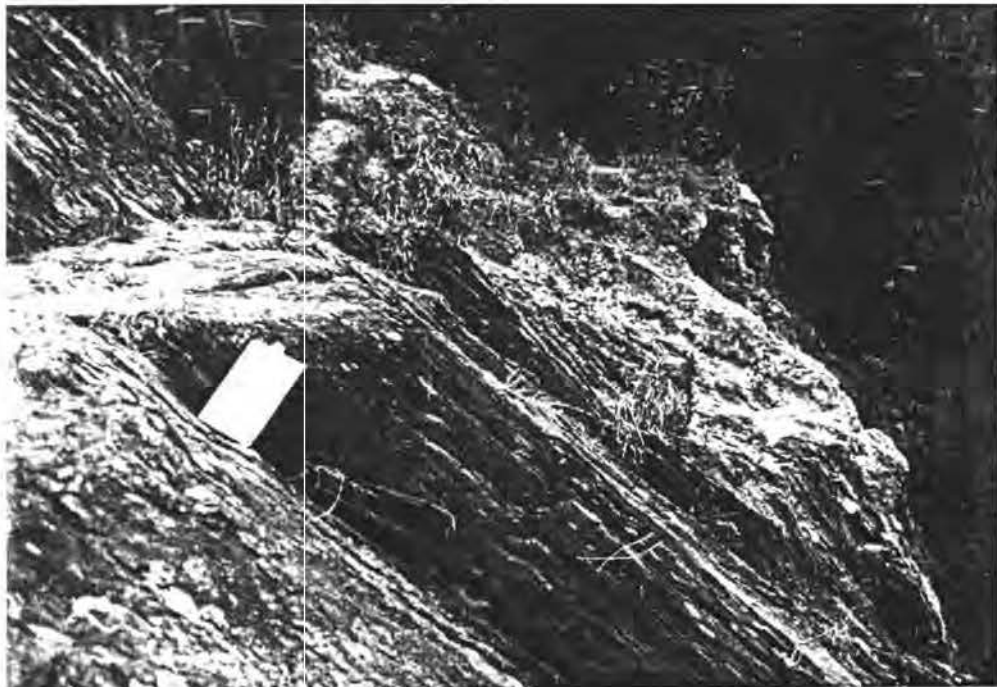
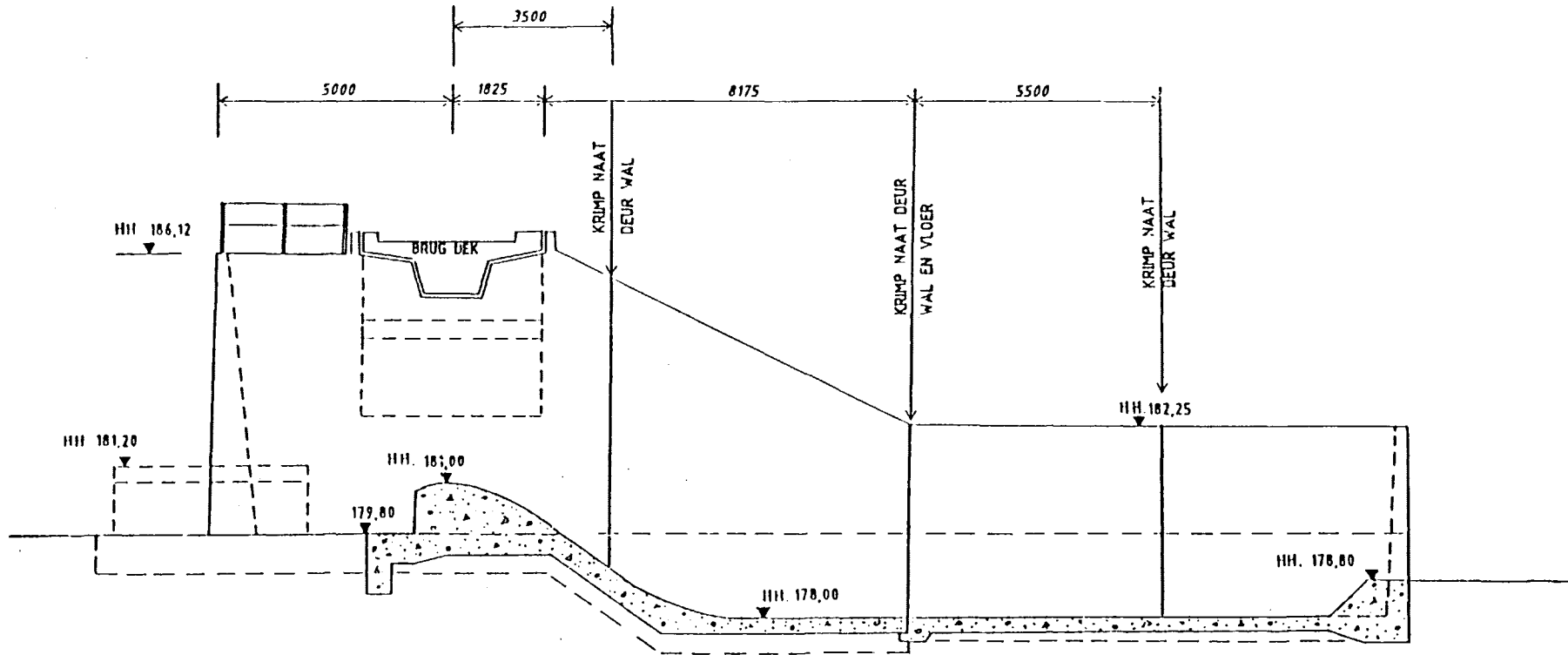


FOTO 70 : Erosie van boonste oppervlak materiaal in oorloopkanaal.



TUINROETEDAM

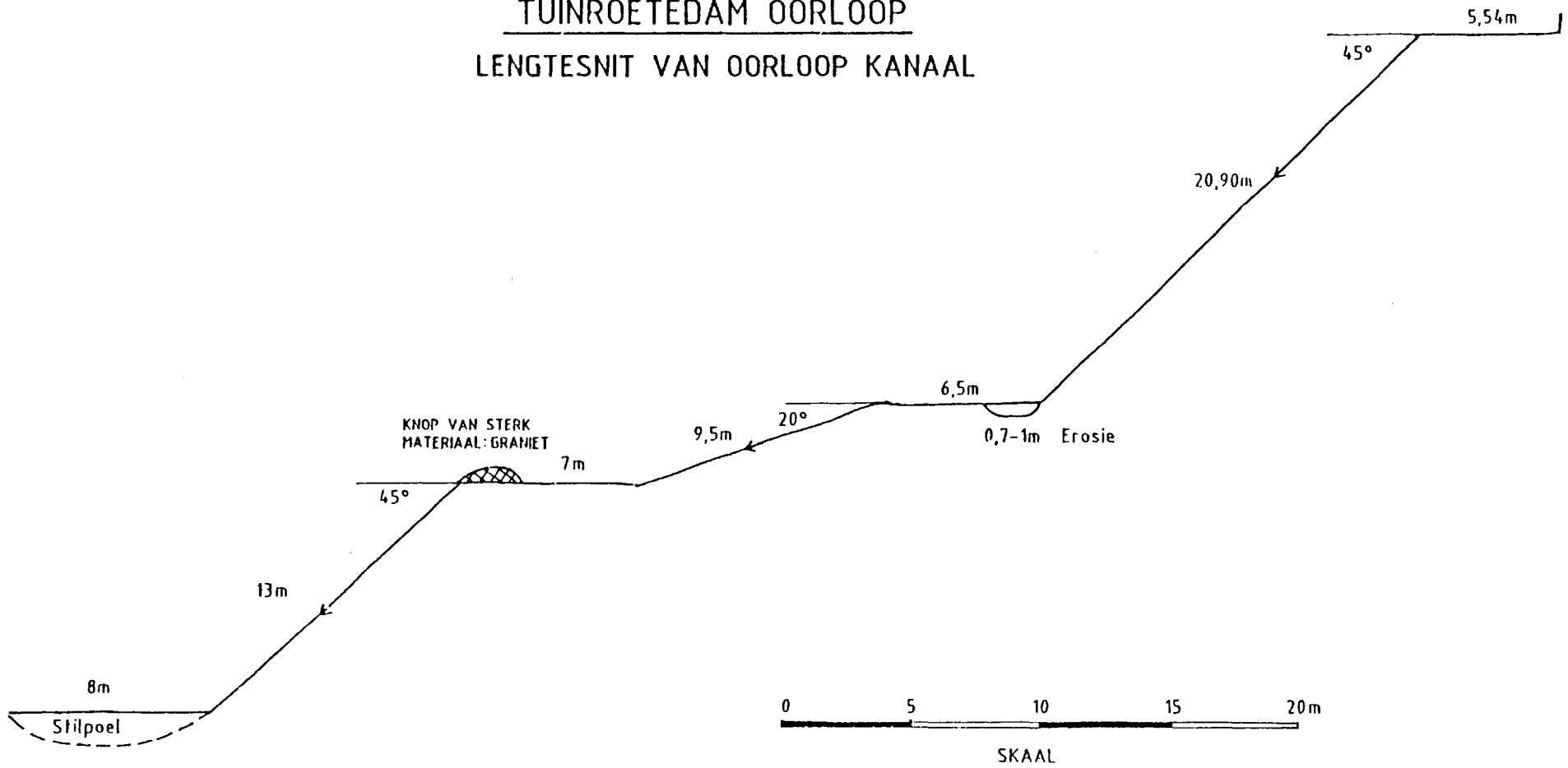
Maks. uitvloeï : 54,21 m³/s (1985)
 Kruinlengte
 (oorloop) : 26 m
 Skaal 1:150

FIGUUR 59.

TUINROETEDAM OORLOOP

LENGTESNIT VAN OORLOOP KANAAL

OORLOOP
STRUKTUUR



FIGUUR 60.

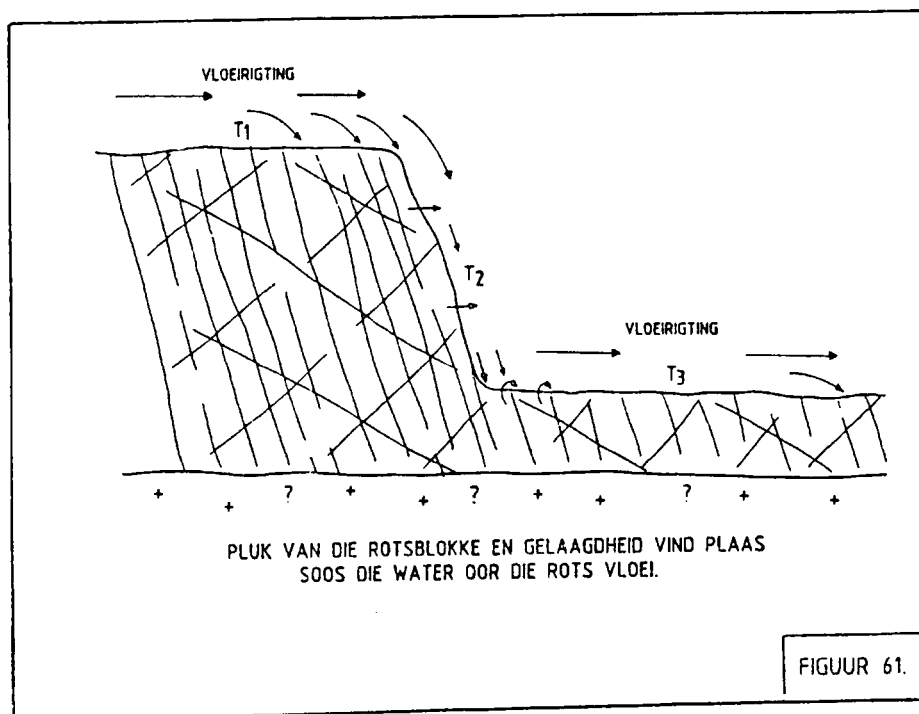
Erosiesone 3

Die gebied strek vanaf die einde van sone 2, dit wil sê waar die steil krans eindig, tot verder stroomaf. Rotsblokke van verskillende groottes kom in hierdie gebied voor. Die vloeiensnelheid word op 2 - 4 m/sek. geskat. Die gesteente is nog steeds andalusiet skis met bande van mika skis ook teenwoordig. Verdere erosie kan wel in hierdie sone plaasvind. Die volgende Schmidt-hamer waardes (SHW) is verkry vir die skis.

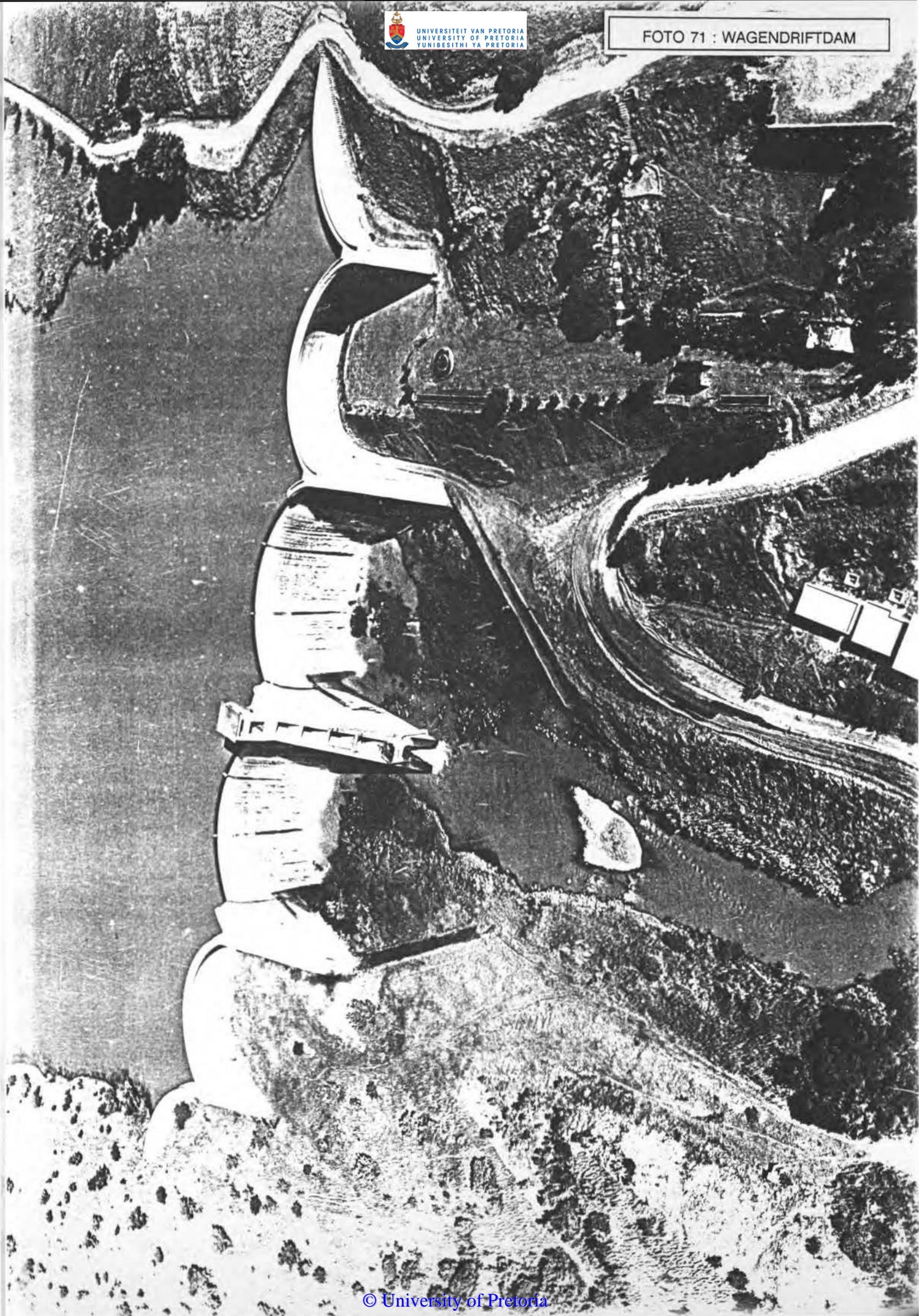
TABEL 32 : Schmidt hamer waardes

Grade (vert. 0°)	SHW	Grade	SHW
0°	22	90°	28
	18		22
	18		21
	22		28
45° (loodreg op gel.)	30		30
	32		22
	32		24
	32		
Gemiddelde SHW		25,4	(laag)

Drie naatstelle is waargeneem wat die rots in blokke opbreek en dus makliker erodeer. Die gelaagdheid, naatstelle, sagte aard van die rots en die boonste 1,5 m wat uit verweerde materiaal bestaan (Foto 70) is die hoofsaak waarom slegs erosie van die boonste laag plaasgevind het. Figuur 61 is 'n skematiese voorstelling van die erosiemeganisme in die kanaal.

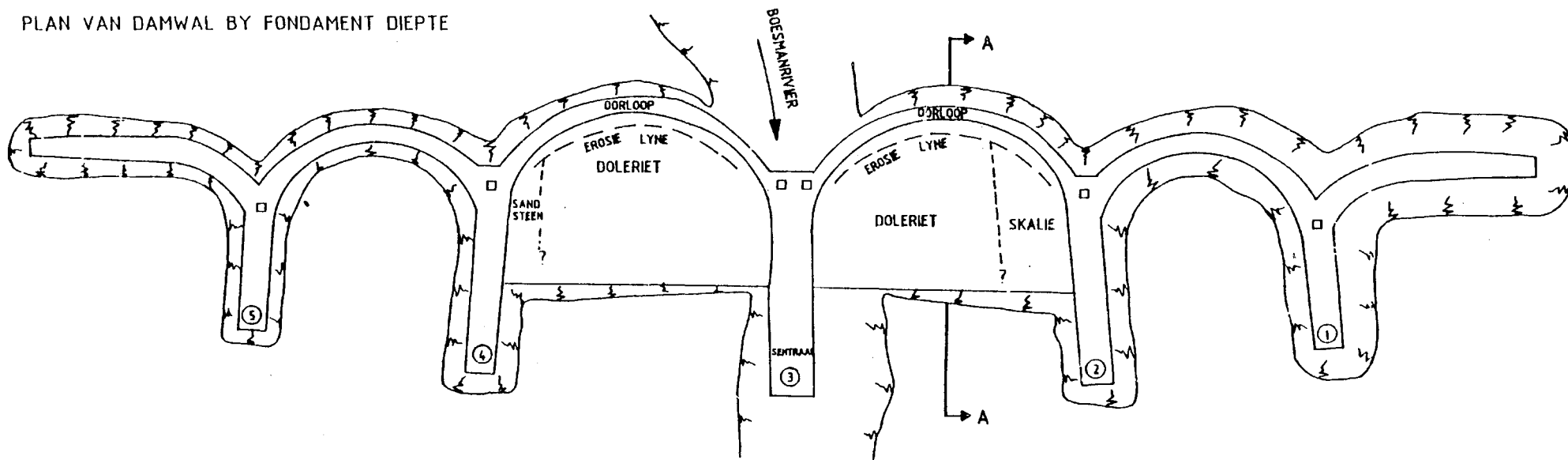


FIGUUR 61



13. D'vorak, B.J. : „Differential Ability Patterns,"
Vol. III, no. 8, University of Minnesota Press,
Minneapolis, 1935.
14. Edwards, Allen : „A Statistical Analysis for Students
in Psychology and Education," Rinehart and Co. Inc.,
New York, 1946.
15. Fryer, D.H. and Henry, E.R. : „Handbook of Applied
Psychology," Vol. I, Rinehart and Co., Inc. N.Y.,1950.
16. Garret, H.E. : „Statistics in Psychology and Education,"
Longmans Green and Co., New York, 1947.
17. Greene, H.A. and Crawford, J.R. : „Workbook in
Educational Measurements and Evaluation," Longmans
Green and Co., London, 1943.
18. Greene,H.A. and Jorgensen, A.N.: „The Use and Inter-
pretation of Educational Tests," Longmans Green & Co.,
New York, 1946.
19. Greene, H.A., Jorgensen, A.N. and Gerberich, J.R.:
„Measurements and Evaluation in the Secondary School,"
Longmans Green & Co., New York, 1946.
20. Groenewald, A.J. : „'n Handleiding in Beroepsvoorligting"
Impala Opvoedkundige Diens, Johannesburg, 1951.
21. Guilford, J.P.: „Psychometric Methods," McGraw Hill
Book Co., New York, 1936.
22. Gulliksen, Harold : „The Theory of Mental Tests,"
Chapman and Hall, Ltd., London, 1950.
23. Hepner, H.W. : „Finding Yourself in Your Work,"
D. Appleton Century Co., New York, 1937.

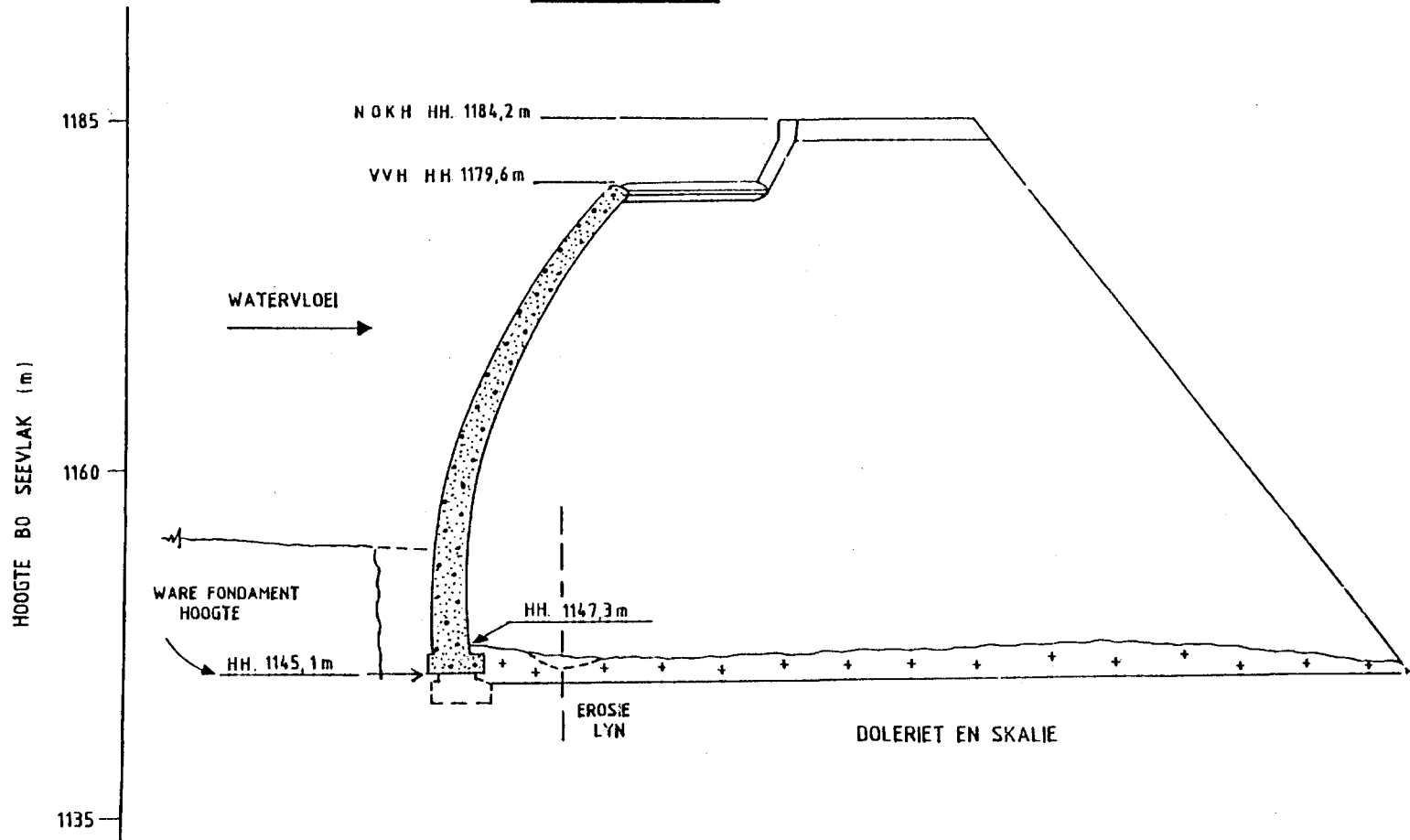
PLAN VAN DAMWAL BY FONDAMENT DIEPTE



WAGENDRIFTDAM

FIGUUR 62.

SNIT A-A



WAGENDRIFTDAM

Maks. uitvloei : 686,9 m³/s (1987)
Kruinlengte (oorloop) : 102,7 m
Skaal : 1:500

FIGUUR 63.

6. KLASSIFIKASIE VAN ROTSMASSA IN TERME VAN EROSIE, DRYWING EN KIRSTEN WAARDE.

6.1 INLEIDING

Al die data vir hierdie klassifikasie is tydens veldbesoeke in Julie '91 en Augustus '92 verkry. Tydens hierdie veldbesoeke is rotsmassa eienskappe waargeneem en topografiese snitte langs die oorloopkanale van verskeie damme opgemeet.

Die Kirsten waardes vir elke erosiesone is volgens Kirsten (1982) se klassifikasiestelsel vir uitgraafbaarheid bereken. Die tabelle is onveranderd gebruik maar sekere voorstelle vir wysigings om die stelsel meer toepaslik te maak, word gemaak. Die doel van hierdie opname was om die korrelasie tussen stroomdrywing en Kirsten-waarde vir verskillende grade van erosie te ondersoek.

6.2 KIRSTEN SE UITGRAAFBAARHEIDS KLASSIFIKASIESTELSEL.

Erosiepunte is by elke dam, soos in Tabel 1 beskryf, identifiseer en Kirsten waardes (Kn) is vir elke erosiepunt bereken. In Aanhangsel F kan die parameters vir elke erosiepunt wat vir die Kirsten waarde bepaling gebruik is nagegaan word. Die erosiepunte word ook volledig beskryf vir elke damterrein.

Die volgende formule is gebruik om die Kn waarde te bereken.

$$Kn = Ms * (RKW/Jn) * Js * (Jr/Ja) \dots\dots(Kirsten, 1982)$$

Waar die simbole die volgende betekenis het.

Ms - Massasterkte waarde

Die vyf punt skale van Jennings (1973) is gebruik vir die opstel van die Kirsten (1982) tabelle. Die massasterkte waarde vir granulêre grond, kohesiewe grond, rots en dertritrus is bepaal. Slegs die massasterkte waarde vir kohesiewe materiaal en rots word getoon omdat slegs hierdie tabelle gebruik is. Die beskrywing van die Ms parameter is baie belangrik omdat dit die Kn-waarde direk beïnvloed.

TABEL 33 : Massasterkte waarde vir kohesiewe materiaal (Ms).

Vastheid	Identifikasie in profiel	Blad 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 gevorm word met vingers met 'n bietjie druk.	80 - 140	0,04
Stewig	Duik in deur duim met moeite. Skerp punt van pik kan tot 10 mm ingedruk word. Baie moeilik om met vingers te vorm. Kan net geopenetreer word met 'n hand graaf.	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 hand pik vir uitgrawing.	210 - 350	0,19
Baie styf	Induik deur duimnael met moeite. Effense induik deur 'n hou van pik punt. Benodig krag toerusting vir uitgrawing.	350 - 750	0,41

TABEL 34 : Massasterkte waarde vir rots (Ms).

Hardheid	Identifikasie in profiel	Eenassige druksterkte (MPa)	Massasterkte waarde (Ms)
Baie sagte rots	Materiaal krummel met stewige hou deur skerp punt van geologiese pik en kan geskil word met 'n mes. Dit is te hard om 'n triaksiale monster met die hand te sny.	1,7	0,87
		1,7 - 3,3	1,86
Sagte rots	Kan net geskraap en geskil word met 'n mes. Duik 1 mm tot 3mm in van stewige hou met pik 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 hou gebreek word.	13,2 - 26,4	17,70
Baie harde rots	Monster wat in die hand gehou word breek met meer as een hou.	26,4 - 53,0	35,0
		53,0 - 106,0	70,0
Uiters harde rots	Monster benodig baie hou met geologiese hamer om te breek.	106,0 - 212,0	140,0
		>212,0	280,0

Blokgrootte waarde (RKW/Jn)

Hierdie waarde is 'n funksie van die rotskwaliteitswaarde (RKW) en die aantal naatstelle (Jn). RKW verteenwoordig die totale persentasie van NX boorkern wat uit aparte lengtes van 100 mm en langer bestaan. Vanaf hierdie definisie kan daar gesê word dat RKW 'n verband gee van die aantal nate per eenheids volume van die materiaal voorsien. Barton *et al* (1974) het getoon dat RKW empiries aan die aantal nate per kubieke meter (Jc) gekoppel kan word, as volg.

$$RKW = 115 - 3,3 Jc$$

Die bepaling van die blokgrootte waarde en die waardes in die tabelle is baie toepaslik en kan net so gebruik word.

TABEL 35 : Aantal nate nommer (Jc)

Aantal nate per kubieke meter (Jc)	Rotskwaliteit waarde (RKW)	Aantal nate per kubieke meter (Jc)	Rotskwaliteit waarde (RKW)
33	5	18	55
32	10	17	60
30	15	15	65
29	20	14	70
27	25	12	75
26	30	11	80
24	35	9	85
23	40	8	90
21	45	6	95
20	50	5	100

TABEL 36 : Naatstel nommer (Jn)

Aantal naatstelle	Naatstel nommer (Jn)
Intak, geen of min nate/splete	1,00
Een naat-/spleet stel	1,22
Een naat-/spleet stel plus willekeurig	1,50
Twee naat-/spleet stelle	1,83
Twee naat-/spleet stelle plus willekeurig	2,24
Drie naat-/spleet stelle	2,73
Drie naat-/spleet stelle plus willekeurig	3,34
Vier naat-/spleet stelle	4,09
Veelvuldige naat-/spleet stelle	5,00

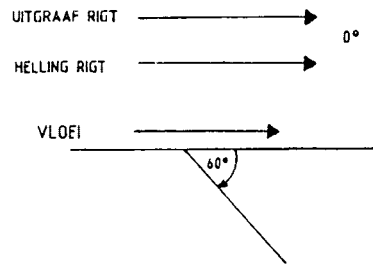
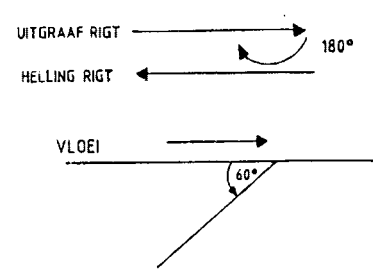
Relatiewe struktuur waarde (Js)

Die oriëntasie en spasieëring van diskontinuiteite beïnvloed die krag wat nodig is om individuele blokke los te maak. So byvoorbeeld erodeer stroomafhellende lae makliker as stroomophellende rots. Pitsiou (1990) het vereenvoudigde waardes gebruik om die struktuurwaarde te bepaal (Tabel 37). Die waardes wat deur Kirsten (1982) gebruik word, word in Tabel 38 opgesom.

TABEL 37 : Relatiewe struktuur waarde (Js) - Pitsiou (1990)

Beweegbaarheid van rotsmassa	Relatiewe struktuur waarde (Js)	
	Kirsten (1982)	Van Schalkwyk (1989)
Baie stabiel	1,36	1,40
Stabiel	1,14	1,00
Effens onstabiel	0,92	0,80
Onstabiel	0,70	0,60
Baie onstabiel	0,48	0,40

TABEL 38 : Relatiewe struktuur waarde (Js)

Hellingsrigting ¹ (grade)	Hellingshoek ² (grade)	Naatspasiëring verhouding, r				Snitte vir hellende rots lae	
		1:1	1:2	1:4	1:8		
180/0	90	1,00	1,00	1,00	1,00	<p style="text-align: center;"><u>Stroomafhellende lae</u></p> 	
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		<p style="text-align: center;"><u>Stroomophellende lae</u></p> 
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		

- Nota:
1. Hellingsrigting relatief tot uitgraaf rigting
 2. Waarskynlike hellingshoek in vertikale vlak wat rigting van uitgraving bevat
 3. Vir intakte materiaal neem Js = 1,0
 4. Vir r waardes kleiner as 0,125 neem Js soos vir r = 0,125
 5. r = a:b (blok-groette verhouding) waar a = kleiner sy en b = groter sy.

Naatsterkte waarde (Jr/Ja)

Jr verteenwoordig naatruheid en Ja naatvulmateriaal of graad van verwerking langs 'n naatvlak. Die Jr/Ja waarde is aangepas volgens die teoretiese wrywingshoek (Hoek, 1970) wat vir die gesteente bestaan indien 'n groot verskil in teoretiese waarde (Tabel 39) en gemete naatsterkte waarde gekry is.

$$Jr/Ja = \tan \phi$$

ϕ = Interne wrywingshoek

TABEL 39 : Wrywingshoeke (ϕ) vir verskillende gesteentes en $\tan \phi$

Gesteente	Wrywingshoek (ϕ)	Tan ϕ
Kwartsiet	65°	2,14
Sandsteen	40° - 55°	0,83 - 1,43
Doleriet (onverweer)	40°	0,83
Doleriet (verweer)	25°	0,47
Skalie	20° - 22°	0,36 - 0,40

Die naatruheidwaarde (Jr), Tabel 40, word beskryf vir verskillende naat toestande. Die vulmateriaal waarde (Ja), Tabel 41, word beskryf vir verskillende tipes vulmateriaal en mate van naat skeiding.

TABEL 40 : Naatruheid waarde (Jr)

Naatskeiding	Toestand van naat	Naatruheid waarde (Jr)
Nate/splete styf of toe gedurende uitgrawing.	Diskontinu naat/spleet	4,0
	Rof of onreëlmatig, golwend	3,0
	Glad golwend	2,0
	Wryfspieëlvakke golwend	1,5
	Rof of onreëlmatig, plat	1,5
	Glad en plat	1,0
	Wryfspieëlvakke en plat	0,5
Nate/splete oop en bly oop gedurende uitgrawing.	Nate/splete of oop of bevat relatiewe sagte vulling van genoegsame dikte sodat naat/spleet wande nie kontak maak gedurende uitgrawing nie. Versplinterde of mikro-verspiinterde kleie	1,0

Nota: Vir intakte granulêre materiaal neem Jr = 3,0

TABEL 41 : Naatvulmateriaal waarde (Ja)

Beskrywing van vulmateriaal	Naatvulmateriaal waarde (Ja) vir naat skeiding (mm)		
	<1,0 ¹	1,0-5,0 ²	>5,0 ³
Styf, hard, word nie sag ondeurdringbare vul.	0,75	1,0	3,0
Onveranderde naatwand, slegs oppervlak vlekke.	1,0	3,0	5,0
Effens veranderd, nie sag, nie kohesiewe rots mineraal of vergruisde rots vul.	2,0	4,0	6,0
Nie sag, effens kleierig nie kohesiewe vul.	3,0	6,0	10,0
Nie sag oorgekonsolideerde klei mineraal vul, met of sonder vergruisde rots.	3,0 ⁴	6,0 [*]	10,0 [*]
Sag of lae wrywing klei mineraal en klein hoeveelheid swel kleie.	4,0	8,0	13,0
Sag middelmatig oorgekonsolideerde klei mineraal vul, met of sonder vergruisde rots.	4,0 [*]	8,0 [*]	13,0 [*]
Versplinterde of mikro-versplinterde (swel) klei vul, met of sonder vergruisde rots.	5,0	10,0	18,0

Nota: ■ - Waardes bygevoeg tot Kirsten se waardes.

1 - Naatwande in kontak.

2 - Naatwande kom in kontak na ongeveer 100mm skuifskuur.

3 - Naatwande kom glad nie in kontak met skuifskuur.

4 - Waardes van Barton se data.

Hierdie voorstelle wat met betrekking tot die Kirsten tabelle gemaak is, is nie wiskundig of statisties uitgewerk nie. Dit is so gedoen omdat daar 'n behoefte in die veld bestaan vir eenvoudige tabelle en 'n groter spektrum van waardes in sommige tabelle. Die hele spektrum van wat in die natuur voorkom word nie gedek met die huidige waardes nie.

Kirsten se klassifikasie (1982) klassifiseer die rots in verskillende klasse volgens die rotskwaliteit en dit bepaal die uitgraafbaarheid (Kn) van die rotsmassa. Die agt klasse word in Tabel 42 opgesom.

TABEL 42 : Definisie van agt punt uitgrawings klassifikasie sisteem

Materiaal tipe	Klas	Uitgrawingsklas grense (Kn)	Beskrywing van uitgraafbaarheid
Grond / deritrus	1	< 0.01	Hand graaf
	2	0,01-0,0999	Hand pik en graaf
	3	0,1-0,999	Krag toerusting
Rots	4	1,0-9,99	Maklike uitgrawing
	5	10,0-99,9	Harde uitgrawing
	6	100,0-999	Baie harde uitgrawing
	7	1 000,0-9 999	Uiters harde uitgrawing/ skietwerk
	8	> 10 000	Skietwerk

6.3 FORMULES VIR BEPALING VAN STROOMDRYWING

Die globale beskikbare drywing vir 'n waterlewerende struktuur is:

$$P = \rho * g * Q * H \text{ (Watt)}$$

waar: $\rho \equiv$ digtheid van water kg/m^3 (1000)

$g \equiv$ gravitasieversnelling m/s^2 (9,81)

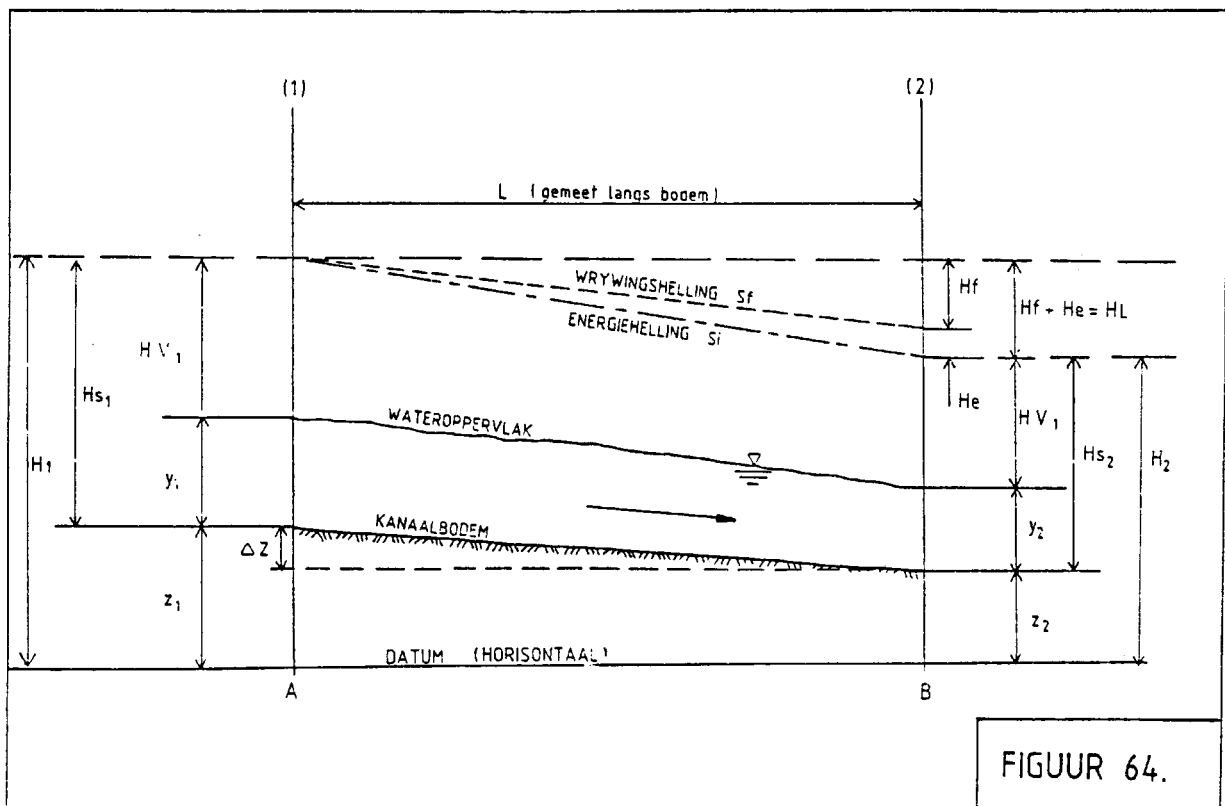
$Q \equiv$ vloei in kumek m^3/s

$H \equiv$ verskil tussen stroomop en stroomaf totale energiehoogte m

Die eenheid vir drywing (P) is Watt. Die eenheidsdrywing (Pa) wat hier gebruik word is Watt per vierkante meter.

6.3.1 Drywing in oop kanale

Figuur 64 definieer al die begrippe met betrekking tot oop kanaal vloei.



FIGUUR 64 : Algemene vloei diagram vir oop kanaal vloei.

H = Totale energie.

z = Bodem elevasie bo horisontale datumvlak.

y = Vloediepte.

Hv = Snelheidshoogte = $v^2/2g$ (v = gemiddelde snelheid oor diepte).

H_L = Energiehoogte verlies = $H_f + H_e$.

H_f = Wrywings energiehoogte verlies = $S_f \cdot L$.

H_e = Turbulensie energie hoogte verlies.

L = Lengte van bereik van A na B (gemeet langs helling).

S_f = Wrywingshelling = H_f/L .

S_i = Energiehelling = H_i/L .

H_s = Spesifieke energie = $H - z$.

In 'n vloekanaal kan die inkrementele drywing (dP) wat die vloeiende water op die bodem materiaal aanwend, tussen twee snitte loodreg op vloeielyne en 'n afstand dx horisontaal uit mekaar soos volg bereken word:

$$dP = \rho * g * Q * dH$$

dH \equiv verskil in totale energiehoogte oor afstand dx.

Die breedte (B) en diepte (y) is konstant oor dx, vir uniforme vloei. Hierdie aangewende drywing word gedissipeer oor die tussenliggende bodem oppervlakte:

$$A = B * dx$$

Dus is die aangewende drywing per eenheidsoppervlakte:

$$\begin{aligned} Pa \text{ (eenheidsarea drywing)} &= dP/A \\ &= \rho * g * Q * dH / (dx * B) \\ &= \rho * g * Q/B * dH/dx \\ &= \rho * g * q * S \dots\dots (W/m^2) \end{aligned}$$

$$Pa = \frac{\rho * g * q * S}{1000} \dots\dots (kW/m^2) \dots\dots\dots 1$$

S \equiv Energiegradiënt (m/m)
 q \equiv Q/B eenheidsvloei (m²/s)

Voorbeeld van bewerking (Tabel 44)

Bridle Driftdam (E1):

$$q = \frac{Q}{B} = \frac{2200}{53}$$

$$= 41,51 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pa = \frac{\rho * g * q * S_{\text{kanaal}}}{1000} = \frac{1000 \times 10 \times 41,51 \times 0,14}{1000}$$

$$\approx 58 \text{ kW/m}^2$$

6.3.2 Drywing by vryvaloorlope

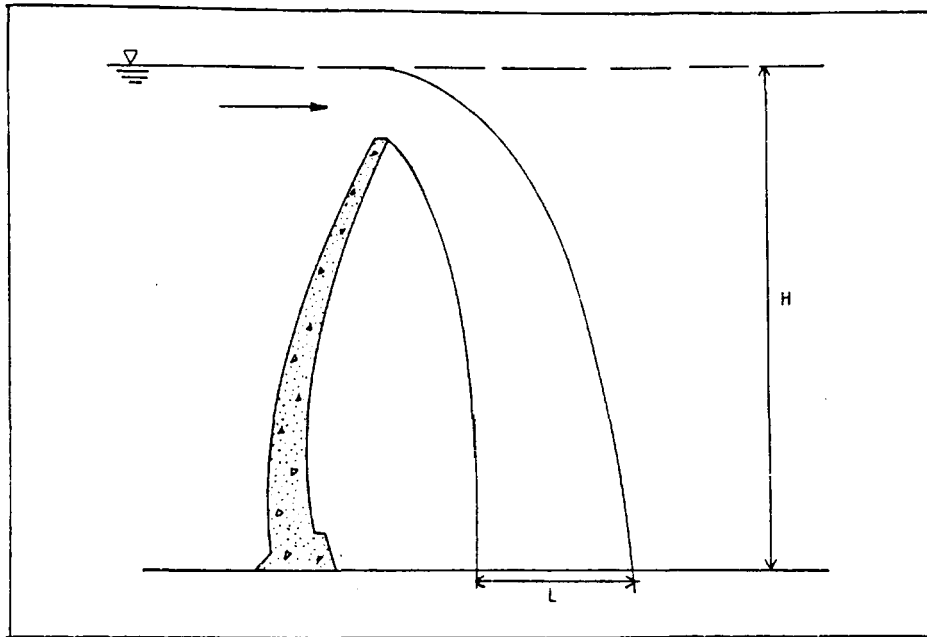
Die waterdrywing per eenheidsarea by 'n vryvaloorloop is soos volg bereken:

$$Pa = \rho * g * H * Q / (b * L) \dots\dots (W/m^2)$$

H \equiv Hoogte van damwal + waterhoogte bokant VVH
 b \equiv Wydte van oorfloei gedeelte
 L \equiv Breedte van waterstraal by toon van wal gemeet in vloei rigting
 L = 1/3 * H (empiries geneem dat L/H ongeveer 1/3 is)

Dus:

$$Pa = \frac{3 * \rho * g * q}{1000} \dots\dots (kW/m^2) \dots\dots\dots 2$$



FIGUUR 65 : Vryvaloorloop

Voorbeeld van bewerking (Tabel 44)

Craigie Burndam (E1):

$$q = \frac{Q}{b} = \frac{367}{122} \approx 3$$

$$Pa = \frac{3 \times 1000 \times 10 \times 3}{1000}$$

$$= 90 \text{ kW/m}^2$$

6.3.3 Drywing in vloeikanaal

Figuur 66 dui die opstelling van die vloeikanaal aan en definieer die parameters wat gebruik is. Die vloeikanaal is toegemaak en water is oor die monster forseer (Figuur 66 C en snit CC). Hierdie tipe vloeï wat veroorsaak word deur die water oor die monster te forseer is dieselfde as vir vloeï in 'n pyp. Die formules vir pypvloeï is aangepas vir 'n reghoekige seksie.

Hidrouliese straal $R_h = \text{Area/benatte omtrek}$
 Hidrouliese straal vir pype $R_h = D/4$

$D \equiv$ Diameter van pyp (m)

en vir breë kanale is $R_h = h$ (gemiddelde diepte van vloeï)

S_f (energiehelling) = H_f/L
 $H_f = (K * u^2)/(2 * g)$
 K is 'n dimensielose wrywingsfaktor

vir pype is $K = (\lambda * L) / D$

Dus:

$$\frac{H_f}{L} = \frac{\lambda u^2}{2gD} = S_f$$

en:

$$u = \sqrt{\frac{2gDS_f}{\lambda}}$$

λ = Weerstandskoeffisient vanaf Moody diagram (Stephenson, 1979).

u = Gemiddelde snelheid (m/s)

Die weerstandskoeffisient is van die Moody diagram (Aanhangsel H) afgelees nadat relatiewe ruheid (e/D) en Reynolds getal (R_e) soos volg bereken is.

$$e/D = e/4h$$

e = Ruheid van oppervlakte (0,001m)

h = Vertikale hoogte van ruimte in toetsseksie (0,01m)

en:

$$R_e = \frac{4uh}{\nu}$$

ν = Kinematiese viskositeit van water ($1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)

As ons vir D substitueer $4R_e = 4h$ vir breë kanale is:

$$u = \sqrt{\frac{2g4hS_f}{\lambda}} = \sqrt{\frac{8ghS_f}{\lambda}}$$

maar: τ (skuifspanning) = $\rho * g * h * (H_f/L) = \rho gRS$

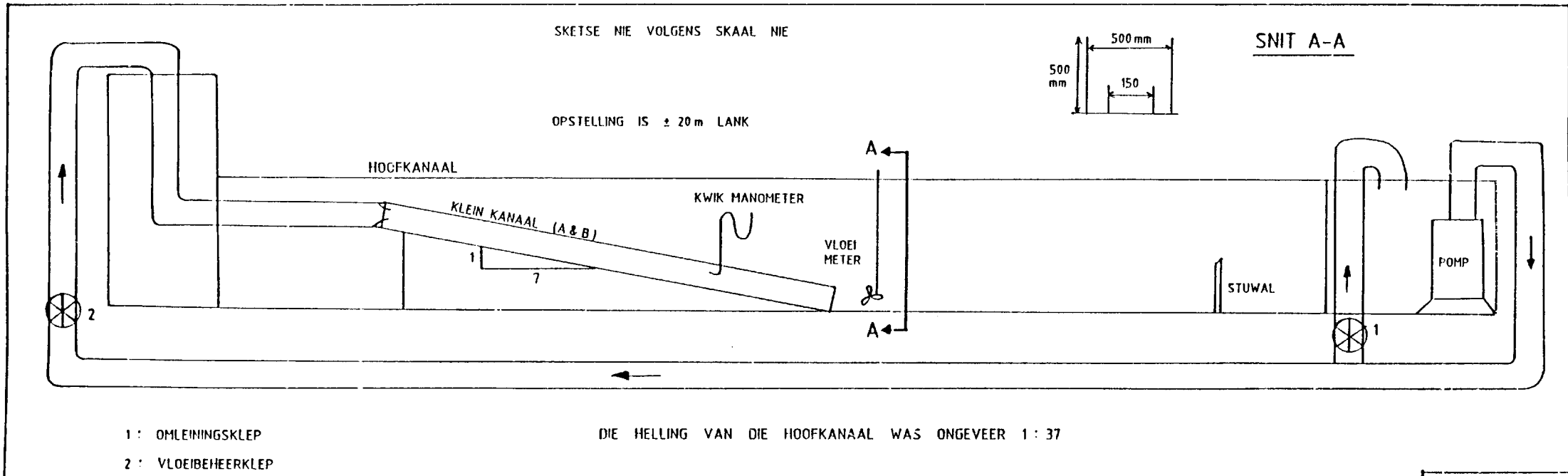
Dus: $\tau = \rho * g * h * ((\lambda * u^2)/(2 * g * D)) \dots \dots$ (Pascal)

en $D = 4h$

Dus: $\tau = \rho * g * h * ((\lambda * u^2)/(8 * g * h))$
 $\tau = (\rho/8) * \lambda * u^2$

Dus:

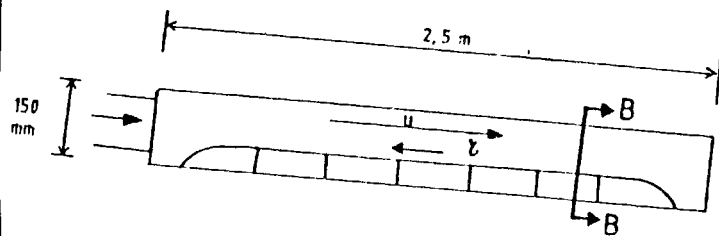
$$\tau = \frac{1000}{8} \lambda u^2 \dots \dots \text{(Pascal)} \dots \dots \dots 3$$



HOOF KANAAL

FIG. 56 A

KLEIN KANAAL A



NIE VOLGENS SKAAL NIE

SNIT B-B

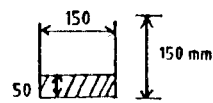
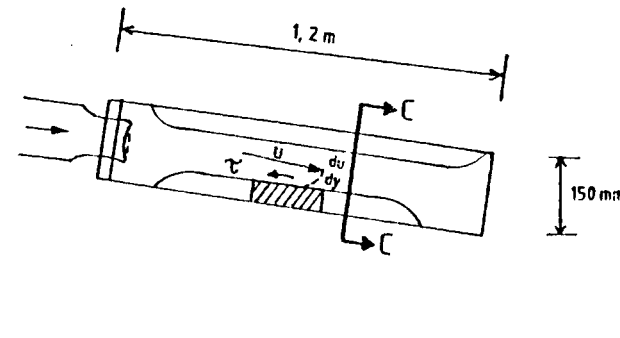


FIG. 66 B

KLEIN KANAAL B



NIE VOLGENS SKAAL NIE

SNIT C-C

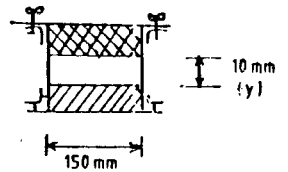


FIG. 66 C

Nadat skuifspanning (τ) bepaal is, is waterdrywing per eenheidsarea op die monster soos volg bepaal:

$$\text{Drywing (P)/Volume} = \tau \, du/dy$$

en: Drywing per eenheidsarea (Pa) = P/Area

$$Pa = P/\text{Vol} * h$$

$$Pa = \tau \, du/dy * h$$

$$Pa = \tau * u \, (\text{W/m}^2)$$

Dus:

$$Pa = \frac{\tau u}{1000} \dots\dots (\text{kW/m}^2) \dots\dots\dots 4$$

Voorbeeld van bewerking (Tabel 43)

Vir snelheid = 2,4 m/sek.

$$\frac{e}{4h} = \frac{0,001}{4 \times 0,01} = 0,025$$

$$Re = \frac{4uh}{\nu} = \frac{4 \times 2,4 \times 0,01}{1 \times 10^{-6}} = 9,6 \times 10^4$$

Dus $\lambda = 0,057$ (Moody diagram - Aanhangsel H)

$$\tau = \frac{1000}{8} \lambda u^2$$

$$= 41,04 \text{ pascal (N/m}^2\text{)}$$

$$Pa = \frac{\tau u}{1000} = \frac{41,04 \times 2,4}{1000}$$

$$\approx 0,1 \text{ kW/m}^2$$

Die massasterkte waarde (Ms) vir kohesiewe materiaal (Tabel 35) is vir Kirsten waarde (Kn) bepaling gebruik.

6.4 GEVOLGTREKKINGS (Kn waarde - Drywing grafiek)

Vier vloekanaaltoetse se eenheids drywing is bepaal. Waterkanaaltoets 10, wat 'n drumpelwaarde toets is, se data is gebruik. Die vier monsters (15, 23, 40 en 60 % klei) met hul ooreenkomstige drumpelwaarde snelhede (2.4 , 3.0 , 3.8 en 4.1 m/sek) se eenheidsarea drywing (Pa) en Kirsten rotssterkte waarde (Kn) is bepaal en op die grafiek (Figuur 67) gestip. Tabel 43 is 'n opsomming van die bepaling van die eenheids drywing waardes vir die modeltoetse.

TABEL 43 : Opsomming van drywing waardes vir die vloekanaaltoetse

Monster	Drumpel snelheid (m/sek.)	Skuifspanning (Pascal)	Eenheidsdrywing (Pa) (kW/m ²)	Kirsten waarde (Kn)
15% klei	2,4	41	0,1	0,02
23% klei	3,0	61	0,18	0,04
40% klei	3,8	97	0,37	0,06
60% klei	4,1	111	0,46	0,09

Elk van die 18 damterreine het een of meer erosiepunte in die oorloopkanaal. Hierdie punte is in Hoofstuk 5 identifiseer en beskryf. Altesaam is 43 punte identifiseer. Al die Kirsten waardes en eenheids drywing waardes vir die verskillende erosiepunte by die damme is bepaal en word in Tabel 44 opgesom. Die waardes wat in hierdie tabel bereken is word hier verder verduidelik.

Kolom 4 is die hoogte van die damwal plus die oorvoediepte oor 'n vryvaloorloop. Die breedte is die breedte van die kanaal op daardie erosiepunt of die breedte van die vryvaloorloop.

Kolom 6, 7, 8 en 9 gee die energie gradiënt (S - waarde) aan, wat in formule 1 gebruik word. Daar is drie verskillende S - waardes wat op hul beurt drie verskillende drywing waardes gee. Die S_{kanaal} is die helling van die kanaal bodem by die erosiepunt. Die helling in grade is as 'n waarde uitgewerk met die volgende formule:

$$S_{\text{kanaal}} = \tan \theta$$

Die S_{gem} is die gemiddelde energiehellings waarde (geskat) van daardie gebied waarlangs die water vloei. Hierdie twee waardes (S_{kanaal} en S_{gem}) word vanaf die lengtesnitte wat van die gebiede opgemeet is bepaal.

Die S_i waarde is die werklike energiehellings waarde. Daar is egter nie genoeg data beskikbaar om hierdie waarde vir al die damme uit te werk nie.

Die formule vir die bepaling van die gemiddelde Manning n waarde vir 'n aantal trajekte is die volgende:

$$n = (n_0 + n_1 + \dots + n_m) / m \dots \dots \dots (\text{Dingman, 1984})$$

Die totale vloei (Q) word vanaf die vloed hidrograwe in Aanhangel A verkry. Die vloei (Q), in kolom 12, word bepaal deur die vloei te bereken wat by die erosiepunt plaasvind indien die totale vloei nie in die kanaal vloei waar die erosiepunt is nie.

Die totale vloei vind nie noodwendig by 'n erosiepunt plaas nie soos bv. by Floriskraaldam. Hier het die water oor die nie oorloop kruin (NOK) tydens die vloed gevloei. Die vloei is op 'n punt, stroomaf van die wal, gemeet. Dit bring mee dat die vloei (Q) by die erosiepunt verskil van die totale vloei (Q_T) van die vloed. Die berekeninge van hierdie vloei (Q) waardes kan in Aanhangel G nagegaan word.

Drie stroomdrywing waardes (kolom 14, 15 en 16) is uitgewerk vir die drie verskillende hellings (S waardes, kolom 7, 8 en 9).

Die Kirsten waarde - Kn (kolom 17) is bereken en die erosie (kolom 18) is in die veld by die spesifieke erosiepunt bepaal. Die erosie, soos dit op die terreine voorkom, is in vier groepe verdeel nl:

<u>Geen</u> erosie:	0 - <0,2 m
<u>Min</u> erosie:	0,2 - 0,5 m
<u>Matige</u> erosie:	0,5 - ≤2 m
<u>Baie</u> erosie:	>2 m

Vir die bepaling van die punte op die grafiek is die drywing waarde wat met die S_{kanaal} waarde bereken is gebruik, omdat hierdie waarde maklik in die veld (helling van die grond oppervlak) bepaal kan word.

Drie erosiekategorieë is identifiseer omdat daar 'n mate van oorvleueling plaasvind tussen min en matige erosie, nl:

1. Geen erosie
2. Min tot matige erosie
3. Baie erosie

'n Grafiek wat die drywing teenoor Kirsten waarde aandui is opgestel (Figuur 67). Skeidingslyne word deur die drie erosiekategorieë geteken. Omdat die grafiek 'n log - log skaal het, word aangeneem dat die skeidingslyne 'n reguitlyn sal vorm. Met verdere ondersoek, wat sterker en swakker materiaal dek, sal die posisie en vorm van die skeidingslyne beter na vore kom. Die gebied wat in die grafiek gedek word is slegs op rots van toepassing. Daar is baie konserwatief met die trek van die skeidingslyne gewerk.

'n Mate van oorvleueling tussen die verskillende kategorieë vind plaas, maar die lyne is op die uiterse punte van die kategorieë geteken. Daar word ook aangeneem dat die skeidingslyn tussen min tot matige en baie erosie parallel aan die skeidingslyn tussen geen en min tot matige erosie is. Indien die Kirsten waarde en stroomdrywing waarde van 'n terrein bereken word, kan dit op die grafiek gestip word en kan die nodige voorsorgmaatreëls, soos in Hoofstuk 8 genoem, getref word, vir die spesifieke sone waarin die punt val.

Op Figuur 68 is die verskillende erosie areas grafies aangedui. Indien nodig kan 'n ander terrein identifiseer word wat meer geskik sal wees vir die drywing wat verwag word.

Hierdie gevolgtrekking en aannames wat gemaak is moet egter nog met behulp van gevallestudies in die praktyk getoets word voordat aanbevelings aangaande die wenslikheid al dan nie, van voorkomende maatreëls gemaak kan word.

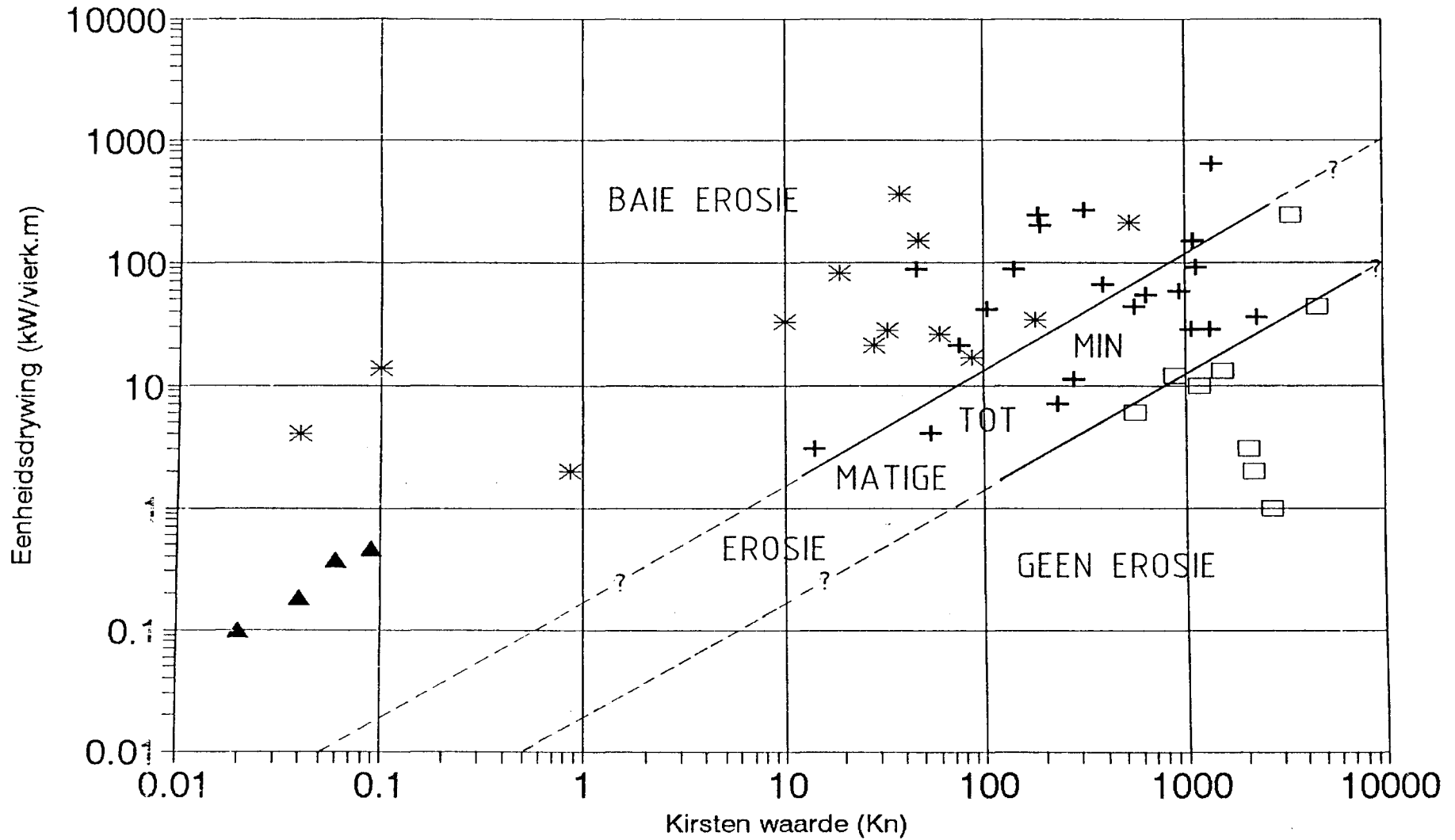
Tabel 44 : Waterdrywing en Kirsten waardes vir die verskillende erosiepunte

Nr.	Damnaam	Erosie Punt	Hoogte H	Breedte b	Helling Grond	S Kanaal	S Gem.	Se Energie	Manning n	Totale Q(T)	Vloei Q	Vloei q	Drywing Pa (kanaal)	Drywing Pa (gem)	Drywing Pa	Kirsten Kn	Erosie
1	Appelthwaitedam	E1		14.5	5	0.09	0.05		0.05	889	889	61.31	54	31	0	647	Matig
2	Bellairdam	E1		10	3	0.05	0.03		0.054	192	192	19.20	10	6	0	1176	Geen
3		E2		30	3	0.05	0.009		0.04	192	192	6.40	3	1	0	14	Matig
4	Bridle Driftdam	E1		53	8	0.14	0.3		0.03	2200	2200	41.51	58	125	0	944	Min
5		E2		23	9	0.16	0.18		0.05	2200	2200	95.65	151	172	0	1092	Matig
6		E3		30	2.5	0.04	0.1		0.06	2200	1900	63.33	28	63	0	33	Baie
7	Craigie Burndam	E1	37	122	*	*	*	*	*	367	367	3.01	90	90	90	1132	Matig
8	Floriskraaldam	E1		62	14	0.25	0.2		0.034	4620	907	14.63	36	29	0	2289	Min
9		E2		61	40	0.84	0.8		0.034	4620	1913	31.36	263	251	0	322	Matig
10	Gamkapoorddam	E1		101	0.3	0.68	0.68		0.045	3111	3111	30.80	209	209	0	538	Baie
11	Goedertrouwdam	E1		72	10.3	0.18	0.3	0.27	0.035	590	443	6.15	11	18	17	285	Min
12		E2		52	14	0.25	0.28	0.11	0.068	590	443	8.52	21	24	9	28	Baie
13		E3		13	1.5	0.03	0.19	0.08	0.052	590	590	45.38	12	86	36	893	Geen
14		E4		8	2	0.03	0.17	0.09	0.039	590	590	73.75	26	125	66	60	Baie
15	Hans Strydomdam	E1		45	1.3	0.02	0.06		0.035	82.3	62	1.38	1	1	0	2713	Geen
16		E2		3	7	0.12	0.11		0.067	82.3	82	27.33	34	30	0	183	Baie
17		E3		5	6	0.11	0.1		0.062	82.3	82	16.40	17	16	0	87	Baie
18		E4		13	5	0.09	0.09		0.025	82.3	82	6.31	6	6	0	564	Geen
19		E5		5	5	0.09	0.08		0.081	82.3	82	16.40	14	13	0	0.10	Baie
20	Hartebeespoorddam	E1		12	17.1	0.31	0.1		0.035	1046	260	21.67	67	22	0	394	Matig
21		E2		6	27.7	0.53	0.11		0.035	1046	726	121.00	635	133	0	1383	Matig
22	Kammanassiedam	E1		20	5.4	0.09	0.04		0.05	2471	1853	92.65	88	37	0	142	Min
23		E2		25	1	0.02	0.03		0.046	2471	1853	74.12	13	22	0	1538	Geen
24		E3		60	11.2	0.20	0.06		0.058	2471	2471	41.18	82	25	0	19	Baie
25	Katrivierdam	E1	40	120	*	*	*	*	*	115	115	0.96	29	29	29	1080	Min
26		E2	40	120	*	*	*	*	*	115	115	0.96	29	29	29	1322	Min
27	Klipfontenddam	E1		50	1.3	0.02	0.05		0.03	980	735	14.70	3	7	0	2052	Geen
28		E2		28	8.8	0.15	0.05		0.044	980	735	26.25	41	13	0	103	Matig
29		E3		42	10.6	0.19	0.07		0.049	980	735	17.50	33	12	0	10	Baie
30		E4		59	3	0.05	0.05		0.04	980	245	4.15	2	2	0	2195	Geen
31	Marico Bosvelddam	E1		12	2.3	0.04	0.03		0.065	417	200	16.67	7	5	0	235	Matig
32		E2		16	10	0.18	0.14		0.075	417	400	25.00	44	35	0	558	Matig
33		E3		16	10	0.18	0.14		0.052	417	400	25.00	44	35	0	4752	Geen
34		E4		16	2	0.03	0.03		0.07	417	200	12.50	4	4	0	0.04	Baie
35	Mzikidam	E1		25	2	0.03	0.03		0.035	150	150	6.00	2	2	0	0.87	Baie
36		E2		25	4	0.07	0.03		0.039	150	150	6.00	4	2	0	54	Matig
37	Prinsrivierdam	E1		10	8.4	0.15	0.27		0.055	1030	1030	103.00	152	278	0	47	Baie
38		E2		15	9	0.16	0.09		0.045	1030	824	54.93	87	49	0	46	Matig
39		E3		5	10	0.18	0.11		0.06	1030	1030	206.00	363	227	0	38	Baie
40	Roodeplaatdam	E1	52	143	*	*	*	*	*	1151	1151	8.05	241	241	241	189	Min
41		E2	52	143	*	*	*	*	*	1151	1151	8.05	241	241	241	3440	Geen
42	Tuinroetadam	E1		26	45	1.00	0.57		0.04	54.2	54.2	2.08	21	12	0	76	Matig
43	Wagendriftdam	E1	34	103	*	*	*	*	*	687	687	6.67	200	200	200	192	Matig

By vryvaloorlope is hierdie waardes nie nodig nie

Die gestippelde blokkies word gebruik vir Figure 67 en 68

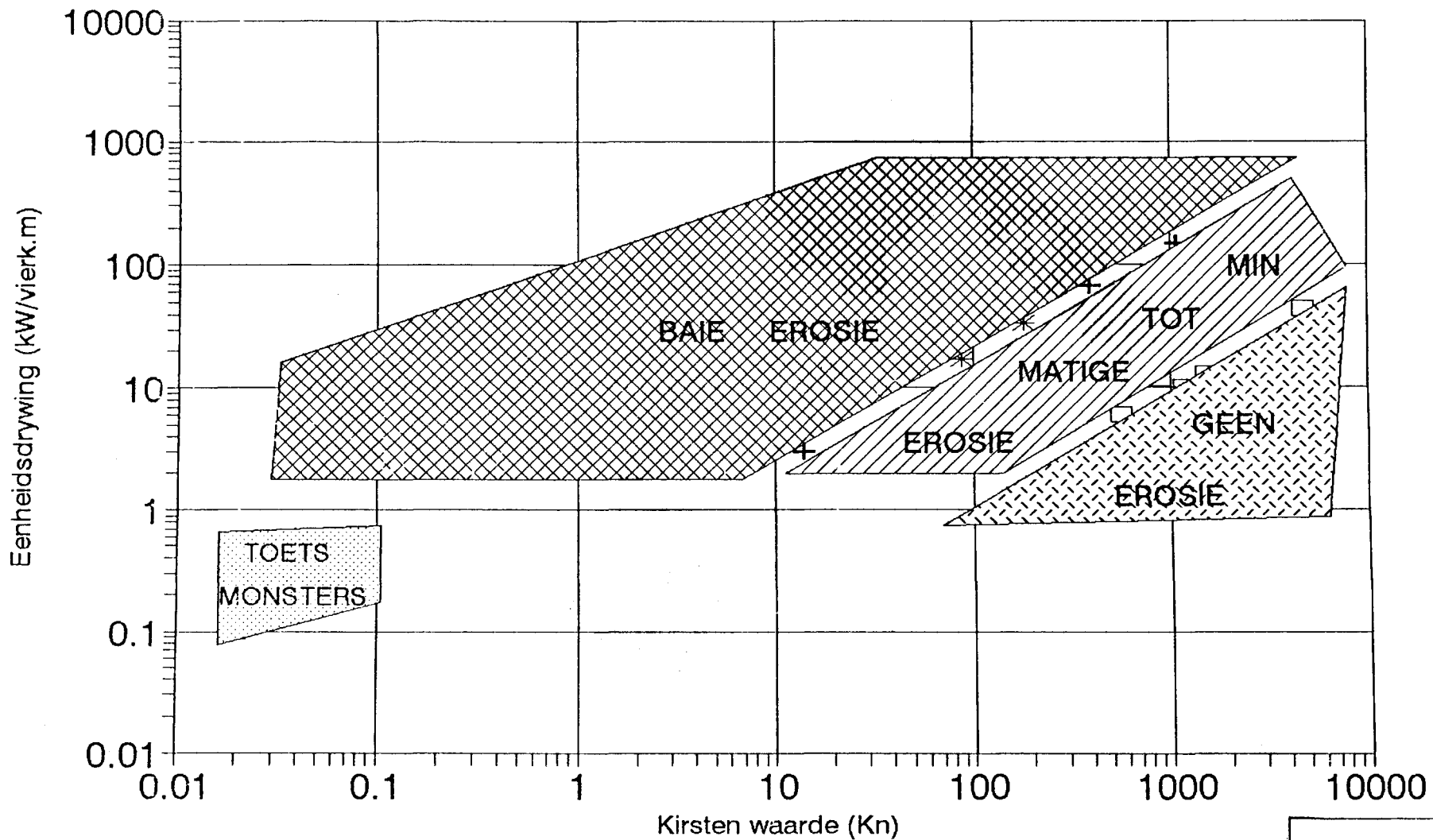
DRYWING TEENOOR KIRSTEN WAARDE KANAAL HELLING



□ Geen erosie + Min-Matige erosie * Baie erosie ▲ Toetsmonsters

FIGUUR 67.

DRYWING TEENOOR KIRSTEN WAARDE KANAAL HELLING



FIGUUR 68.

7. GEVOLGTREKKINGS

Nege en twintig damme is tydens die navorsing besoek sodat erosie in die oorlope ondersoek en bestudeer kon word. Verskeie faktore soos die gebrek aan voorafgaande geologiese en konstruksie informasie asook die gebrek aan hidrologiese data veral tydens vloede by verskeie damme het daartoe gelyk dat slegs agtien damme vir detail ondersoek gebruik is.

By die damterreine wat ondersoek is, is waargeneem dat naatoriëntasie en naatvulmateriaal van die belangrikste parameters is wat ondersoek moet word. Modelstudies is aangepak sodat die erosiemeganisme op kohesiewe materiaal wat vulmateriaal voorstel bestudeer kon word. Die kohesiewe materiaal erodeer aanvanklik stadig. Waár die kohesiewe materiaal 'n harde gedeelte begrens vind vinniger erosie plaas. Uit modeltoetse is waargeneem dat die materiaal in klonte erodeer word. Sodra die erosieproses begin, vind dit al vinniger plaas as gevolg van die maalaksie, groter turbulensie en skuring wat plaasvind. Die drumpelwaarde snelheid waarby verskillende sterktes materiaal begin erodeer is bepaal (Tabel 43). Die skuifspanning vir hierdie drumpelsnelheid is bereken asook die eenheid drywing per vierkante meter. Hierdie waardes is op 'n grafiek (Figuur 67) gestip sodat 'n korrelasie tussen drywing en Kirsten waarde verkry kon word.

Die erosie meganisme soos wat dit in die veld plaasvind is by die damterreine bestudeer. By elke damterrein is erosiesones identifiseer waar baie tot min erosie voorkom. Dit is moeilik om die erosie soos dit in die natuur bestaan in 'n vloekanaal te modelleer as gevolg van die tyd en skaal effek.

Die rots by die erosiepunte is volgens Kirsten se uitgraafbaarheidsklassifikasie klassifiseer en Kirsten waardes (K_n) uitgewerk. Die erosiepunte is so gekies sodat die Kirsten waarde verteenwoordigend is van die materiaal wat erodeer het. Opmetings is langs die vloesones uitgevoer sodat die stroomdrywing per vierkante meter uitgewerk kon word. Wat van groot belang is by die bepaling van stroomdrywing is die energiegradiënt van die water. Die ruheid is in berekening gebring in die waterdrywing formule van die vloekanaal, maar nie in die waterdrywing formule van die oop kanale nie.

Ruheid moet ook in berekening gebring word by die waterdrywing formule van die oop kanale. Die ruheid van die kanaal neem toe met die erosieproses. Soos die ruheid toeneem word die erosieproses versnel en word die profiel al hoe rowwer. Verwydering van die rots in onbelynde oorlope is afhanklik van die impak en vervoerkrag van die water. Hidroulika is dus 'n baie belangrike parameter saam met rotsmeganika en geologie.

In oorloopkanale kan die kinetiese energie totaal as gevolg van horisontale vloei snelheid wees. Water wat parallel met die rots oppervlak vloei spoel die naatvulmateriaal uit en dring die nate en krake binne en veroorsaak druk in hierdie nate. Hierdie druk word op die rotsbodem en kante uitgeoefen en skuifspanning word op die rotsoppervlak uitgeoefen deur water wat oor die rots vloei. Die weerstand teen oplik is afhanklik van die rotsvorm, gewig, aaneensluiting met ander rotsblokke, toestand van nate (oop of toe) en mineralogie van naatvulmateriaal. Indien die naatvulmateriaal baie swelklei bevat kan dit die druk in die nate verhoog wat die erosiepotensiaal sal verhoog.

'n Korrelasie tussen stroomdrywing en Kirsten waarde is waargeneem. Drie erosieklasse is identifiseer en skeidingslyne is op Figuur 67 aangebring. Daar is 'n harde materiaal sone (rots) en 'n sagte materiaal sone (kohesiewe materiaal) op die grafiek. Sones vir sterker- en swakker materiaal (rots en grond) moet verkry word sodat die grafiek vir beide sagte materiaal en baie harde materiaal voltooi kan word. Verdere vloekanaaltoetse moet gedoen word sodat die sagte materiaal spektrum voltooi kan word.

Nuwe terreine kan op die grafiek (Figuur 67 en 68) gestip word. Indien die waarde bo die middel sone plot sal baie erosie plaasvind. Indien dit onder die middel sone plot sal geen erosie plaasvind. Hierdie grafiek moet met behulp van gevallestudies bevestig word.

8. AANBEVELINGS

8.1 ONDERSOEKE

Indien 'n terrein vir erosiepotensiaal evalueer word moet die volgende take op terrein uitgevoer word:

1. Verkry eers 'n algehele beeld van die oorloop kanaal. Loop deur die oorloop en kyk na die erosie, naatstelle en die algemene geologie. Neem fotos, verkieslik ook skuinslugfoto's.
2. As daar reeds erosie in die oorloop plaasgevind het, bepaal die omvang van die erosie en waarom erosie plaasvind (meganisme van erosie). By 'n terrein wat geen erosie toon moet die moontlikheid en meganisme van erosie evalueer word.
3. Bepaal die erosie parameters nl. rotsblok grootte, naatoriëntasies, aaneenlopendheid van nate, vulmateriaal (dikte en sterkte), watersnelheid, helling van oorloop kanaal, waterkapasiteit, ruheid van vloer, los rotsblokke wat skuring kan veroorsaak of wat kan erodeer, knakpunte of onreëlmatighede wat vir erosiekonsentrasiepunte verantwoordelik is.
4. Meet rotsblokke en bepaal hul groottes (volume).
5. Doen naatopname - Bepaal naatoriëntasies, spasiëring, ruheid, golwing, aaneelopenheid, sterkte van vulmateriaal en dikte van vulmateriaal.
6. Neem vulmateriaal monsters vir X - straal diffraksie analise.
7. Klassifiseer rots volgens Kirsten se uitgraafbaarheids klassifikasie stelsel.
8. Neem foto's van die oorloop en belangrike erosiesones sodat deeglike rekord van die erosie gehou kan word.
9. Beskryf addisionele geologiese faktore soos verskuiwings, wat die erosiepotensiaal sal beïnvloed.
10. Bereken die aangewende eenheids drywing vir die ontwerpvlloed toestande en korreleer dit met rotssterkte (Kn) op Figuur 67 en 68.

8.2 ONTWERPKRITERIA

Om erosieskade te verhoed is voorlopige studies van die rots waar die oorloop geleë gaan wees noodsaaklik. 'n Aanvaarbare ontwerp vir die spesifieke rotsmassa moet gekies word. Indien die rots nie belynd word nie en die rots is swak sodat grootskaalse erosie plaasvind, sal regmakende aksies baie duur wees. Aan die ander kant word kostes aangegaan indien die rotskwaliteit goed is en die rots word nog steeds belynd.

Indien 'n ondersoek na die rotstoestande vir 'n oorloop gedoen word sal dit behulpsaam wees as die hele kanaal met 'n hoë druk waterspuit skoongemaak word. Dit sal goeie toestande vir ondersoek skep. Die kohesie (sterkte) van die rotsmateriaal en naatvulmateriaal kan terseldertyd met hierdie waterspuit getoets word. Drie toestande van erosiepotensiaal kan identifiseer word nl. laag, middelmatig en hoog.

Tabel 45 is 'n opsomming van erosiepotensiaal van rots en aksies wat uitgevoer kan word om hierdie erosie te verhoed.

TABEL 45 : Aksie vir verskillende erosietoestande

Klas	Erosie potensiaal	Naat toestand	Rots kwaliteit	Aanbevole aksies
1	Laag	Styf en toe. Ineengeslote rotsblokke.	Weerstandbiedende rots	Onbelyn, gladde effense stroomafhellende oppervlak. Uitstaande obstruksies moet verwyder word.
2	Middelmatig	Styf en/of min vulmateriaal. Nate effens oop.	Goeie kwaliteit rots.	Onbelyn, gedeeltelike belyning, bryvulling, rotsankers, selektiewe naatbedekking met beton, energiedissipators, dreineringsgate, rotsankers en stilpoel vir vryvaloorlope.
3	Hoog	Oop en/of baie vulmateriaal. Vulling bevat aktiewe klei mineraal.	Matige tot swak rots.	Gedeeltelike of totale belyning van kanaal. Stilpoel en/of beton bedekte skort vir vryval oorlope.

Plasing van maatsteen en rotsblokke in die oorloop moet verhoed word omdat dit bydrae tot skuring wat 'n groter erosiepotensiaal tot gevolg het.

Jaarlikse inspeksie van terreine, wat kartering insluit, word voorgestel vir onbelynde damoorlope. Verslae moet opgestel word sodat die rotsgedrag vir toekomstige vloede voorspel kan word. Indien rots met nat en droog siklusse blus soos tilliet en doleriet moet dit aangeteken word en gereeld inspekteer word. Voorstelle van die metode van regmakende aksie moet ook gedoen word. Herstelmaatreëls word volledig in Pitsiou (1990) se M.Sc verhandeling bespreek.

Gevalllestudies moet aangepak word waar erosie voorspel word en die werklike erosie na 'n vloed vergelyk en korreleer word. Dit is 'n langtermyn projek en kan oor 5 tot 10 jaar strek.

Vloekanaalstudies kan uitgebrei word sodat meer data van stroomdrywing en erosiepotensiaal van verskillende sterktes kohesiewe materiaal beskikbaar is. Navorsing van stroomdrywing wat nodig is om baie harde materiaal te erodeer soos byvoorbeeld sny van metaal met 'n waterstraal, is nodig vir volledige data.

Die waterspuittoetse wat 'n goeie aanduiding van sterkte van die materiaal aandui moet ook uitgebrei word. Meer data sal die korrelasie tussen verskillende toestande en parameters wat die erosie beïnvloed bevorder.

DANKBETUIGINGS

Ek wil graag my dank en waardering uitspreek teenoor die volgende persone en instansies sonder wie se hulp die verhandeling nie moontlik sou gewees het nie:

Die Waternavorsingskommissie en die Geologiese Opname vir die finansiële bystand gedurende die navorsingstydperk. Die Direkteur van die Geologiese Opname vir die studiegeleentheid. Departement Waterwese en Bosbou vir toegang tot relevante verslae en inligting.

Die leier, prof. A. van Schalkwyk, Universiteit van Pretoria en mede -leier dr. J.M. Jordaan, Departement Waterwese en Bosbou vir hulle leiding, onderhoude en voorstelle gedurende die navorsingstydperk.

Kollegas by die Geologiese Opname vir hul bystand veral dr. A. Schall en Mev. V. Peer vir tekenwerk. Mnr. J.F. van Niekerk en mnr. M.A. van der Walt by die Boustoflaboratorium, Departement Waterwese en Bosbou vir hul bystand, Cullinan Minerals vir die skenk van klei materiale vir vloeikanaaltoetse en mnr. A.J. Shelly van Ninham Shand Consulting Engineers vir sy vriendelike samewerking. Medewerking van mnr. S. Hartley van Departement van Waterwese en Bosbou tydens model opstelling en toetse. Mnre. D. Duvenhage en K. Rohrbeck wat gehelp het met die bou, herstel en opstel van die toetskanaal.

My vrou, Noreen en my ma en pa vir hul morele ondersteuning en belangstelling gedurende die hele tydperk van die studie.

VERWYSINGS

- Abt, S.R. & Richardson, J.R. & Wittlers, R.J. (1988). Inflow seepage influence on pier scour. Transportation research record 1201. 1988.
- Akhmedov, T.Kh. (1988). Calculation of the depth of the scour in rock downstream of a spillway. Water Power and Dam Construction, Dec. 1988, pp 25 - 27.
- ASTM. (1976). Standard test methods for moisture-density relations of soil-cement mixtures.
- Bagnold, R.A. (1966). An approach to the sediment transport problem for general physics. U.S. Geological Survey. Prof. Pap., 422 - I, 1966.
- Bagnold, R.A. (1977). Bed load transport by natural rivers. Water Resources Research, Vol. 13, No.2, pp. 303 - 312, 1977.
- Barnard, H.S. (1986). Mogol River Government Water Scheme: Hans Strydom Dam: Mogol River: District Waterberg: Proposed raising of Hans Strydom Dam. First engineering geological feasibility report on founding conditions. Geological Survey, ING 2117.
- Barnard, H.S. (1987). Prins River Irrigation Board: Prins River Dam: Ladismith District: First engineering geological assessment of rock conditions for anchoring the spillway apron for design. Report No. 1987-0105 (ING 2159), July 1987.
- Barnard, H.S. (1988). Mogol River Government Water Scheme: Hans Strydom Dam: Mogol River: District Waterberg. Geological Survey, ING 2228.
- Barnard H.S. (1988). Marico Bosveld SWS, Marico Bosvelddam, Groot Maricorivier, Distrik Groot Marico. Eerste ingenieursgeologiese damveiligheidsinspeksie. Geological Survey, Verslag No. 1988-0183 (ING 2254), Oktober 1988.
- Barton, N. & Choubey, V. (1976). The shear strength of rock joints in theory and practice. Rock Mechanics, Vol. 10/1-2, 1977.
- Barton N., Lien R., Lunde J. (1974). Engineering classification of rock masses for design of tunnel support. Rock Mech. 6, pp 189-236.
- Blake, K.R.K. (1993). Plunge pool scour reproduction in hydraulic physical models. Water Research Commission. Unpublished progress report - 1992/93.
- Blake, K.R.K. & Zwamborn, J.A. (1990). Katse Dam 1:70 scale model testing: Lesotho Highlands Water Project. Papers of the 1990 ICOLD Symposium on Dam Safety: Four Years On. (pp. E5) CSIR conference centre, Pretoria. Sep. 1990.
- Blight, G.E. (1989). Erosion losses from the surfaces of gold-tailings dams. Journal of the South African institute of Mining and Metallurgy, Vol. 89, No. 1. Jan. 1989, pp. 23 - 29.
- Bieniawski, Z.T. (1973). Engineering classification of jointed rock masses. The Civil Engineer in South Africa, Dec. 1973, pp. 335 - 343.
- Bieniawski, Z.T., Orr C.M. (1976). Rapid site appraisal for dam foundations by the geomechanics classification. Commission Internationale Des Grands Barrages, Mexico, Q.46, R.32, pp 483-493.
- Bradford, Conning & Partners. (1992). Glückstadt Irrigation Board: Bevenson Dam: Proposed remedial work to spillway. July 1992.
- Breusers, H.N.C. & Raudkivi, A.J. (1991). Scouring. IAHR Hydraulic Structures Design Manual. Rotterdam: A.A. Balkema. 1991.
- Brink, A.B.A. (1979). Engineering Geology of Southern Africa. Vol.1, Building Publications, Pretoria.
- Brink, A.B.A. (1981). Engineering Geology of Southern Africa. Vol.2, Building Publications, Pretoria.
- Brink, A.B.A. (1983). Engineering Geology of Southern Africa. Vol.3, Building Publications, Pretoria.
- Brink, A.B.A. (1985). Engineering Geology of Southern Africa. Vol.4, Building Publications, Pretoria.
- Brown, E.T. (1981). Rock Characterization Testing and Monitoring. ISRM Suggested Methods, Royal School of Mines, Imperial College of Science and Technology, London, England.
- Burt, T.N. (1990). Cohesive sediment and physical models. Proceedings of the International Conference on Physical Modeling of Transport and Dispersion. (pp 7 - 12). Cambridge, Massachusetts: American Society of Civil Engineers.
- Cameron, C.P. Cato K.D., Mc Aneny C.C., May J.H. (1986). Geotechnical aspects of rock erosion in emergency spillway channels. Technical report, Vol.1, U.S.Army Corps of Engineers of Washington.
- 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.

- Cameron, C.P., Patrick D.M., Bartholemew C.O., Hatheway A.W., May J.H. (1986). Geotechnical aspects of rock erosion in emergency spillway channels-Remediation. Technical report, Vol.3, U.S.Army Corps of Engineers, Washington.
- Chapuis, R.P. (1988). Use of rotational erosion device on cohesive soils. Transportation research record 1089. pp. 23 - 28.
- Cherry, D.W. (1971). First geological report on Goedertrouw Dam site, Mhlatuze River, Eshowe District, Natal. Geological Survey, ING 1431.
- Chow, V.T. (1959). Open-channel hydraulics. Tokyo, Mc Graw-Hill.
- Christodoulou, G.C. (1992). Apparent shear stress in smooth compound channels. Water Resources Management. Vol. 6, No. 3, 1992.
- Clemence, K.T. (1988). Influence of Stratigraphy and Structure on knickpoint erosion. Bulletin of the Association of Engineering Geologists, Vol. XXV, No 1, pp 11-14.
- Daugherty, R.L. & Franzini, J.B. & Finnemore, E.J. (19..). Fluid Mechanics with Engineering Applications. Chapter 11, Mcgraw-Hill.
- Davis, C.V., Sorensen E.K. (1969). Handbook of Applied Hydraulics. 3rd Edition, Chapt 20, Mc Graw Hill Co, N.Y.
- Davis, G.N. (1990). Klipfontein Dam: White Mfolozi River: Vryheid District: First engineering geological maintenance report for dam safety purposes. Report No. 1990-0060 (ING 2362), April 1990.
- Dennis, J. (1990). Sodium Bentonite and it's uses in Civil Engineering. 1st Southern African young Geotechnical engineers conference. Mount Grace Hotel, Magaliesberg. Cullinan Minerals Limited. May 1990.
- Department of Water Affairs, (1990). List of Hydrological Gauging Stations in Flowing Water, Volume 1. Hydrological Information, Publication No. 15.
- Department of Water Affairs, (1990). List of Hydrological Gauging Stations. Part I: Gauging stations in stored/standing water, Part II: Meteorological stations, Volume 2. Hydrological Information, Publication No. 15.
- Dingman, S.L. (1984). Fluvial Hydrology. pp. 140 - 145.
- 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, Vol. 86, No. 12. Dec. 1986, pp. 475 - 480.
- Douglas, J.F. (1989). Solving problems in Fluid Mechanics Volume 2. New York: Wiley.
- Du Plessis, D.B. (1984). Documentation of the March-May 1981 floods in the South Eastern Cape. Department of Water Affairs, Division of Hydrology, Technical Report no. 120.
- Du Toit, A.L. (1919). Report on the Floriskraal and Nootgedacht sites. Report No. 1919-0006 (ING 271), May 1919.
- Du Toit, A.L. (1920). Kammanassie Irrigation Board, Oudtshoorn. Geological Report on Dam conditions. Report No. 1920-0007 (ING 227), February 1920.
- Du Toit, A.L. (1921). The Marico Bushveld Irrigation Scheme. Geological Survey, ING 232.
- Eksteen, van der Walt & Nissen. (1989). Glückstadt Besproeiingsraad: Bevensondam: Bedryfshandleiding. Mei 1989.
- Forbes, C. (1989). Bushmans River GWS: Wagendrift Dam: Estcourt District: Engineering geological report for dam safety purposes. Report No. 1989-0089 (ING 2305), May 1989.
- Forbes, C. (1989). Mnyamvubu River Government Water Scheme: Craigieburn Dam: Umvoti District: Engineering geological report for dam safety purposes. Report No. 1989-0128 (ING 2309), Aug. 1989.
- Forbes, C. (1990). Mnyamvubu River Government Water Scheme: Craigieburn Dam: Estcourt District: Engineering geological report for maintenance: Spillway apron scour. Report No. 1990-0020 (ING 2333), Jan. 1990.
- Forbes Dick & Associates. (1990). Engineering geological report on the safety of Kat River Dam, Kat River, Fort Beaufort District, Eastern Cape/Ciskei Border. Report No. GSO/1/90/2 (ING 2359), March 1990.
- Forbes Dick & Associates. (1991). Engineering geological report on the safety of Floriskraal Dam, Buffels River, Laingsburg area, Cape Province. Report No. GSO/1/91/3 (ING 2447), Feb. 1991.
- Forbes Dick & Associates. (1991). Engineering geological report on the safety of Gamkapoort Dam, Gamka River, Prince Albert area, Cape Province. Report No. GSO/1/91/4 (ING 2410), Feb. 1991.

- Franklin, J.A. & Chandra, R. (1972). The Slake Durability Test. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol. 9, pp. 325 - 341, 1972.
- Frommurze, H.F. (1930). Marico Bushveld Dam. Geological Survey, ING 0038.
- Frommurze, H.F. (1931). Marico Bushveld Dam. Geological Survey, ING 0098.
- Geertsema, A.J. (1987). Olifantsrivier SWS: Kammanassierivier: Kamanasiedam: Distrik Oudtshoorn. Eerste Ingenieursgeologiese Instandhoudingsverslag. Verslag nr. 1987-0112 (ING 2160), Julie.
- George D.L. (1977). Eight geological report on the Goedertrouw Dam site, Mhlatuze River, Eshowe District (diversion tunnel). Geological Survey, ING 1389.
- George, D.L. (1980). Mhlatuze river scheme: Goedertrouw Dam spillway channel: Design Investigation. Unpublished report George, Orr & Associates. Report No.
- George, D.L. (1981). Goedertrouw Dam: Dwyka Tillite Case History. Unpublished report.
- George, Orr & Associates. (1980). Mhlatuze River Scheme: Goedertrouw Dam: Spillway Channel: Design Investigation. Report No. 1980-006 (ING 1684), May 1980.
- George, Orr & Associates. (1981). Mhlatuze River Scheme: Goedertrouw Dam: Spillway Channel: Design Investigation. Report No. 1981-009 (ING 1721), May 1981.
- George, Orr & Associates. (1984). Goedertrouw Dam: Engineering Geological completion report. Volume I, II & III. Report No. 1984 - 003 (ING 1981).
- George, Orr & Associates. (1991). Goedertrouw Dam: Eshowe District: Engineering Geological investigation for dam safety purposes. Report No. 1991-002 (ING 2411), Feb. 1991.
- Goodman R.E., SHI GEN-HUA (1985). Block theory and its application to rock engineering. Prentice-Hall Inc.
- Guohan, D. & Zhenqiu, Z. (1989). The erosion of cohesive sediment in retrogressive erosion in Reservoirs. Proceedings of the 1989 International Association for Hydraulic Research. (pp. 399 -406). Ottawa, Canada: National Research Council Canada.
- Hairsine, P.B. & Rose, C.W. (1992 a). Modeling water erosion due to overland flow using physical principals. 1. Sheet flow. Water Resources Research, Vol. 28, No. 1, pp. 237 - 243.
- Hairsine, P.B. & Rose, C.W. (1992 b). Modeling water erosion due to overland flow using physical principals. 2. Rill flow. Water Resources Research, Vol. 28, No. 1, pp. 237 - 243.
- Hanson, G.J. (1990). Surface Erodibility of Earthen Channels at High Stresses. Part I - Open Channel Testing. Transactions of the ASAE, Vol. 33, No. 1, pp. 127 - 131, 1990.
- Hanson, G.J. (1990). Surface Erodibility of Earthen Channels at High Stresses. Part II - Developing an In Situ Testing Device. Transactions of the ASAE, Vol. 33, No. 1, pp. 132 - 137, 1990.
- Heath, G. (1991). Morgenstond Dam: First engineering geological report for dam safety evaluation. Report No. 1991-0216 (ING 2455), Oct. 1991.
- Hoek, E. & Bray, J.W. (1977). Rock slope engineering. Instn of Mining and Metallurgy, London.
- Hoek, E. (1983). Strength of jointed rock masses. Geotechnique 33(3), pp 187-223.
- Hood, M. & Nordlund, R. & Thimons, E. (1990). A study of rock erosion using high-pressure water jets. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 27, No. 2, pp. 77 - 86, 1990.
- Icold (1988). Register of Dams in Republic of South Africa.
- Janardhanam, R., Kane, W.F. (1985). A constitutive law for shear behavior of rock joints. Proc. of 26th U.S. Symp. on Rock Mechanics, Vol. I, pp. 395 - 402.
- John, J.E.A. & Haberman, W.L. (1980). Introduction to Fluid Mechanics (2nd ed.). N.J.: Prentice Hall.
- Jordaan, J.M. (1993). Informele verslae en deurlopende besprekings met dr. Jordaan oor hidrouliese aspekte oor navorsingsprojek.
- Kamphuis, J.W. (1990). Influence of sand or gravel on the erosion of cohesive sediment. Journal of Hydraulic Research, Vol. 28, No. 1, pp. 43 - 53.
- Kamphuis, J.W. & Hall, K.R. (1983). Cohesive material erosion by unidirectional Current. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 109, No. 1, pp. 49 - 61.
- Kent L.E. (1952). Geological reconnaissance of site for proposed dam, at the Pienaars River, farm Roodeplaat 314, Pretoria. Geological Survey, ING 0176.
- Kent L.E. (1953). Preconstruction report: Proposed Dam on the Pienaars River, farm Roodeplaat No 314, Pretoria District, Transvaal. Geological Survey, ING 208.
- Kent, L.E. (1955). Floriskraal Dam: Geological investigation of spillway, Laingsburg district, Cape Province. Report No. 1955-0067 (ING 270), February 1955.
- Kirsten H.A.D. (1982). A classification system for excavation in natural materials. Die Sivele Ingenieur in S.A., pp 293-308, July 1982.

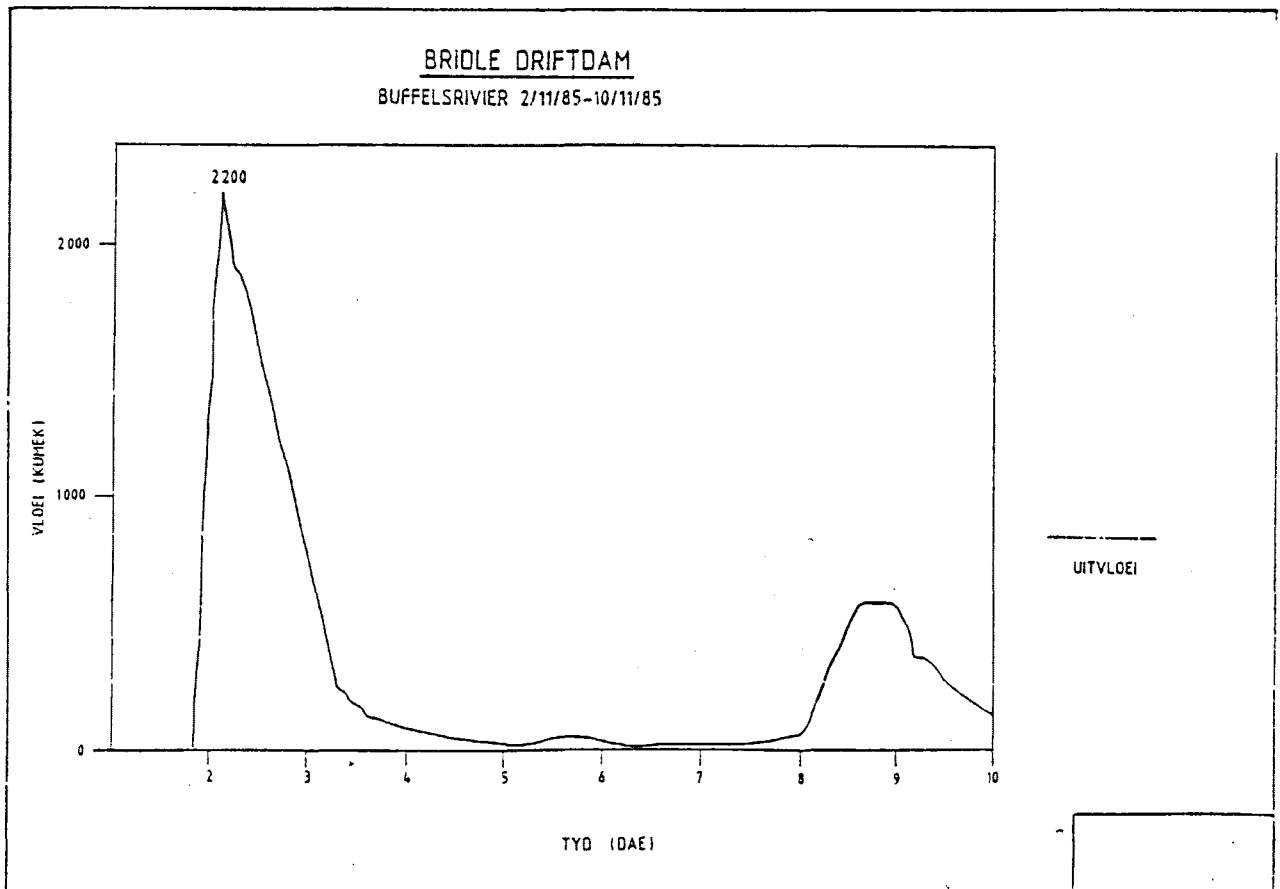
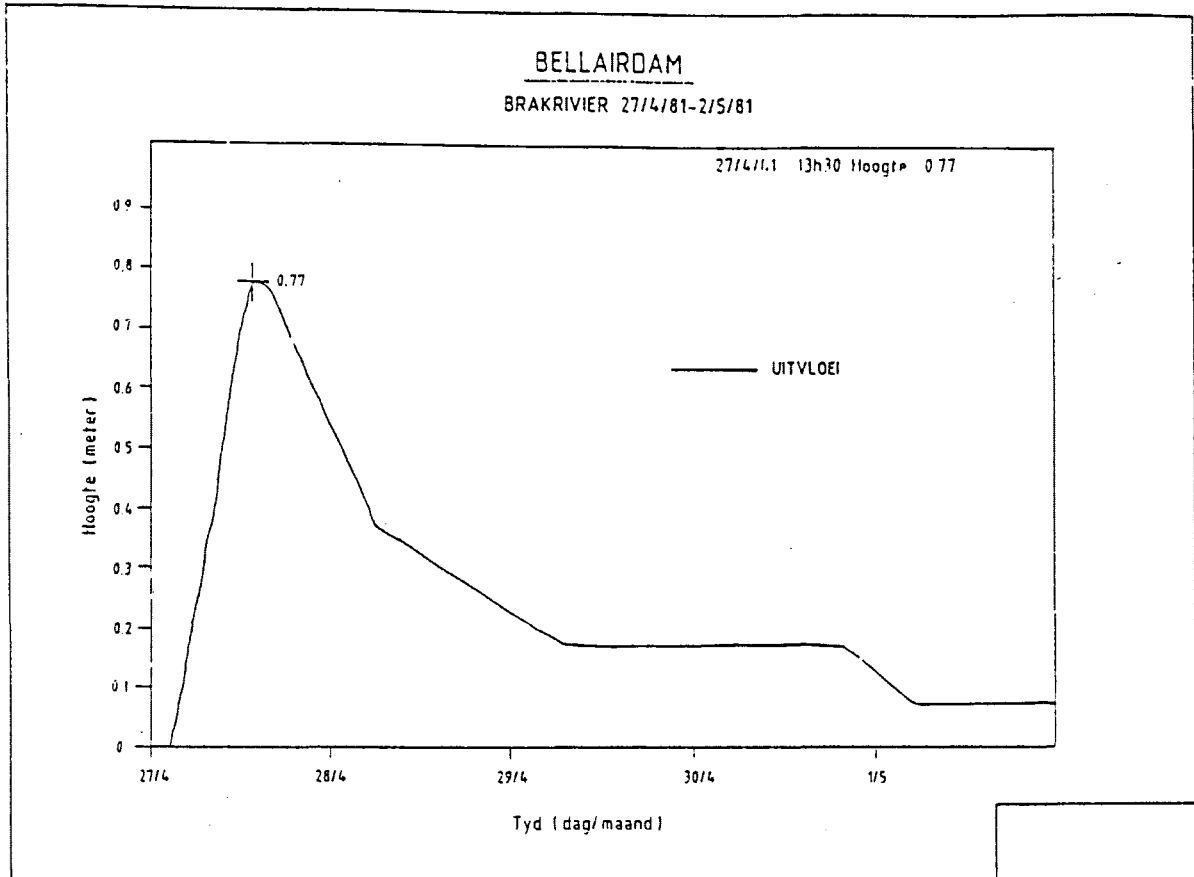
- Kovacs, Z.P. (1981). Documentation of the January 1981 floods in the South Western Cape. Department of Environment Affairs, Division of Hydrology, Technical Report No. 116.
- Kovacs, Z.P. (1988). Regional maximum flood peaks in Southern Africa. Department of Water Affairs, Directorate of Hydrology, Technical Report No. 137.
- Kovacs, Z.P. & Du Plessis, D.B. & Bracher P.R. & Dunn P. & Mallory G.C.L. (1985). Documentation of the 1984 Domoina Floods. Department of Water Affairs, Directorate of Hydrology, Technical Report No. 122.
- Lane, E.W. (1953). Progress report on studies on the design of stable channels of the Bureau of Reclamation. Proceedings ASCE, 79.
- Laubscher, R. (1989). Onderzoek na die faktore wat die erodeerbaarheid of erosiebestandheid van gesteentedagsome stroomaf van groot damme bepaal. Ongepubliseerde verslag, Universiteit van Pretoria, Julie 1989.
- Legge & Rooseboom, (1989). First Engineering Geological Maintenance Investigation. Report no. 2888/G2/1989 Feb. Van Wyk & Louw.
- Le Roux, F.P. (1988). Handleiding vir konvensionele stroommetings. Departement van Waterwese, Direkoraat Hidrologie, 1988.
- Maeyens, M. (1975). Fifth Geological report on the Goedertrouw Dam site, Mhlatuze River, Eshowe District. (Spillway Foundations). Unpub. report Geo. Survey. p. 1-5. (Sixth & Seventh report too). Ing. nr. 1148.
- Maeyens, M. (1975). Mogol River: Hans Strydom Dam: Waterberg District: Second geological report for construction (Dam foundations/quarry/spillway). Geological Survey, ING 1346.
- Mason, P.J. (1984). Erosion of plunge pools downstream of dams due to the action of free-trajectory jets. Proc Instn Civil Engineering, Part 1, 1984, 76, May.
- Mason, P.J. & Arumugam K. (1985). Free jet scour below dams and flip buckets. ASCE, Journ. of Hydr. Engineering, Vol III, No 2, February 1985.
- Mason, P.J. & Arumugan K. (1985). A review of 20 years of scour development at Kariba Dam. 2nd Conf. on Hydr. of floods and flood control, BHRA, The Fluid Eng. Centre, 24-26 Sept. 1985, pp 63-71.
- Mathewson, C.C. (1981). Engineering Geology. Bell & Howel Comp.
- Mirskhoulava, Ts.E. (1967). Mechanism and computation of local and general scour in non-cohesive, cohesive soils and rock beds. Proc. of the 12th Congress, Int. Ass. for Hydr. Research, September 1967, pp 1969-176.
- Mirskhoulava, Ts.E. (1981). Land erosion, research equipment, forecasting methods and prospects for their improvement, Proceedings of the 1981 Erosion and Sediment Transport Measurement Symposium. (pp. 521 - 527). Florence: International Association of Hydrological Sciences.
- Moore, J.S. (1991) The characterization of rock for hydraulic erodibility. SCS Technical release - 78, Northeast National Technical Center, Chester, PA. Jan. 1991.
- Ninham Shand. (1988). Report on the safety inspection of the Arieskraal I Dam. Report No. 1397/4762. May 1988.
- Ninham Shand. (1988). Report on the safety inspection of the Nuweberg Dam. Report No. 1412/4804. Aug. 1988.
- Ninham Shand. (1989). Report on the safety inspection of the Idas Valley No. 2 Dam. Report No. 1501/4704. March 1989.
- Ninham Shand. (1989). Report on the safety inspection of the Applethwaite Lake Dam. Report No. 1517/4968. June 1989.
- Ninham Shand. (1989). Report on the safety inspection of the Bridle Drift Dam. Volume 1 and 2, Report No. 1467/4755. Nov. 1989.
- Ninham Shand. (1989). Report on the safety inspection of the Steenbras Lower Dam. Report No. 1528/5052. Dec. 1989.
- Ninham Shand. (1990). Report on the safety inspection of the Steenbras Upper Dam. Report No. 1527/5052. May 1990.
- Ninham Shand. (1990). Report on the safety inspection of the Koos Raubenheimer Dam. Report No. 1672/4896. June. 1990.
- Ninham Shand. (1990). Report on the safety inspection of the Melville Dam. Report No. 1671/4896. June 1990.
- Ninham Shand, (1991). Report on the safety inspection of the Garden Route Dam. Report No. 1769/4664. Feb. 1991.

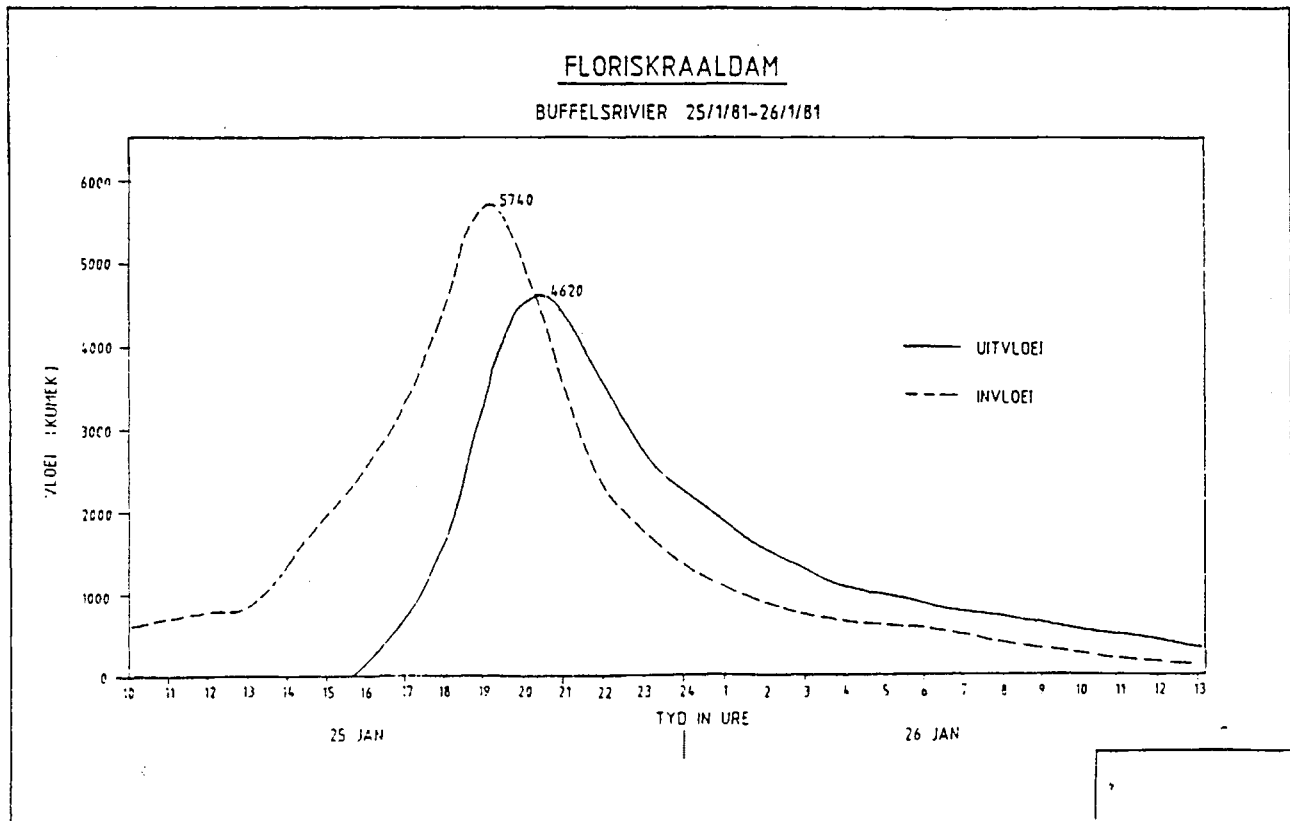
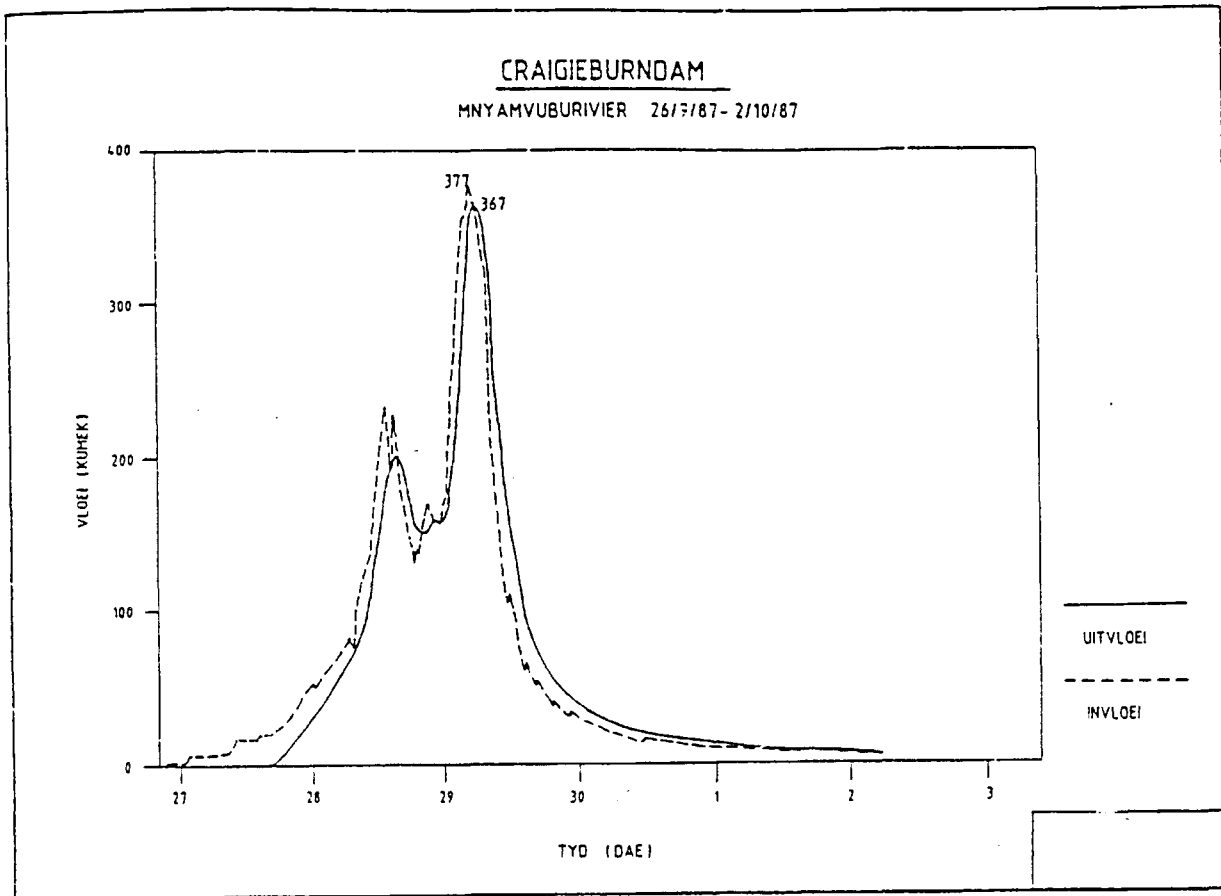
- Ninham Shand. (1991). Report on the safety inspection of the Arieskraal II dam. Report No. 1827/0004. Dec. 1991.
- Ninham Shand. (1992). Operation and maintenance manual for Nuweberg Dam. Report No. 1412A/4804. June 1992.
- Nortje, J.H. (1992). Ontwerpverslag van die 1984-verhoging van Prinsrivierdam. Direktoraat Sivele Ontwerp, Departement van Waterwese. Verslag Nr. J120/04/EA01. Sept. 1992.
- Oswell, J.M. & Joshi, R.C. (1986). Development of an erosion test for soil cement. Geotechnical testing Journal, No. 1, March 1986, pp. 19 - 23
- Otto, B. (1989). Scour potential of highly stressed sheet jointed rocks under obliquely impinging plane jets with special references to the Burdekin Falls Dam. Ph.D - Thesis, James Cook University of North Queensland, Australia, 1989.
- 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.
- Otto, D.A. (1975). Engineering Geology Division. Geotechnical laboratory report D.V. 1/75. First report on slake durability tests, Dwyka tillite, Goedertrouw Damsite. Geological Survey, ING 1156.
- Palmerton, J.B. & May, J.H. & Banks, D.C. (1991). Geotechnical aspects of headcutting in emergency spillway channels. Bull. of the Ass. of Eng. Geologists. Vol. XXVIII, No. 1, 1991, pp. 89 - 94.
- Parchure, T.M. & Mehta, A.J. (1985). Erosion of soft cohesive sediment deposits. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 111, No. 10, pp. 1308 - 1326.
- Pitsiou, S. (1990). The effect of discontinuities on the erodibility of rock in unlined spillways of dams. Unpublished M. Sc Thesis. University of Pretoria.
- Price, G.V. & Bester, A.M. (1978). Mhlatuze River, Goedertrouw Dam, Eshowe District. Third Geological Report for construction. (Spillway section). Unpub. report Geo. Survey, Report No. 1978-0101 (ING 1502), March 1978.
- Raudkivi, A.J. & Tan, S.K. (1984). Erosion of cohesive soils. Journal of Hydraulic Research, Vol. 22, No. 4, pp. 217 - 233.
- Rauws, G. (1988). Laboratory experiments on resistance to overland flow due to composite roughness. Journal of Hydrology, Vol. 103, No. 1/2, pp. 37 - 51.
- Reinius, E. (1970). Head losses in unlined rock tunnels. Water Power. August 1970.
- Reinius, E. (1986). Rock erosion. Water Power and Dam Construction, June 1986, pp. 43 - 48.
- Rhodes, D.G. & Lamb, E.J. & Chance, R.J. & Jones, B.S. (1991). Automatic measurement of boundary shear stress and velocity distributions in duct flow. Jour. of Hydr. Research. Vol. 29, No. 2, 1991.
- Roberts, J.D. (19..). Performance of cement-modified soils: A follow up report. Transportation research record 1089.
- Rooseboom, A. (1974). Open Channel Fluid Mechanics. Department of Environment Affairs, Division of Hydrology. Technical Report No. TR 62. 1974.
- Rooseboom, A. (1989). Flow processes and sediment transport : Overview, Fourth South African National Hydrological Symposium 1989. (pp. 300 - 313). Pretoria: International Association of Hydrological Sciences.
- Rooseboom, A. & Mülke, F.J. (1982). Erosion initiation. In D.E. Walling (Ed.), Recent developments in the explanation and prediction of erosion and sediment yield, Proceedings of the 1982 International Association of Hydrological Sciences. (pp. 58 - 66). Exeter, UK: IAHS, International Commission on Continental Erosion, UNESCO.
- SACS, (1980). Stratigraphy of South Africa. Part 1 (Comp. L.E. Kent). Lithostratigraphy of the Republic of South Africa, South West Africa/Namibia, and the Republics of Bophuthatswana, Transkei and Venda. Handb. geol. Surv. S. Afr., 8.
- Schulze-Hulbe, A. (1982). Criteria for the erodability of rockmasses in unlined spillways: A preliminary investigation. Unpublished report, University of Pretoria, Jan. 1982.
- Schulze-Hulbe A. (1988). Roodeplaat Dam, Pienaars River. First engineering geological maintenance investigation. Van Wyk & Louw Inc., Geological Survey, ING 2250.
- Shaikh, A. & Ruff, J.F. & Abt, S.R. (1988). Erosion rate of compacted NA - montmorillonite soils. Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 114, No. 3, pp. 296 - 305.
- Spillways for Dams. (1987). ICOLD Bulletin 58, 1987.

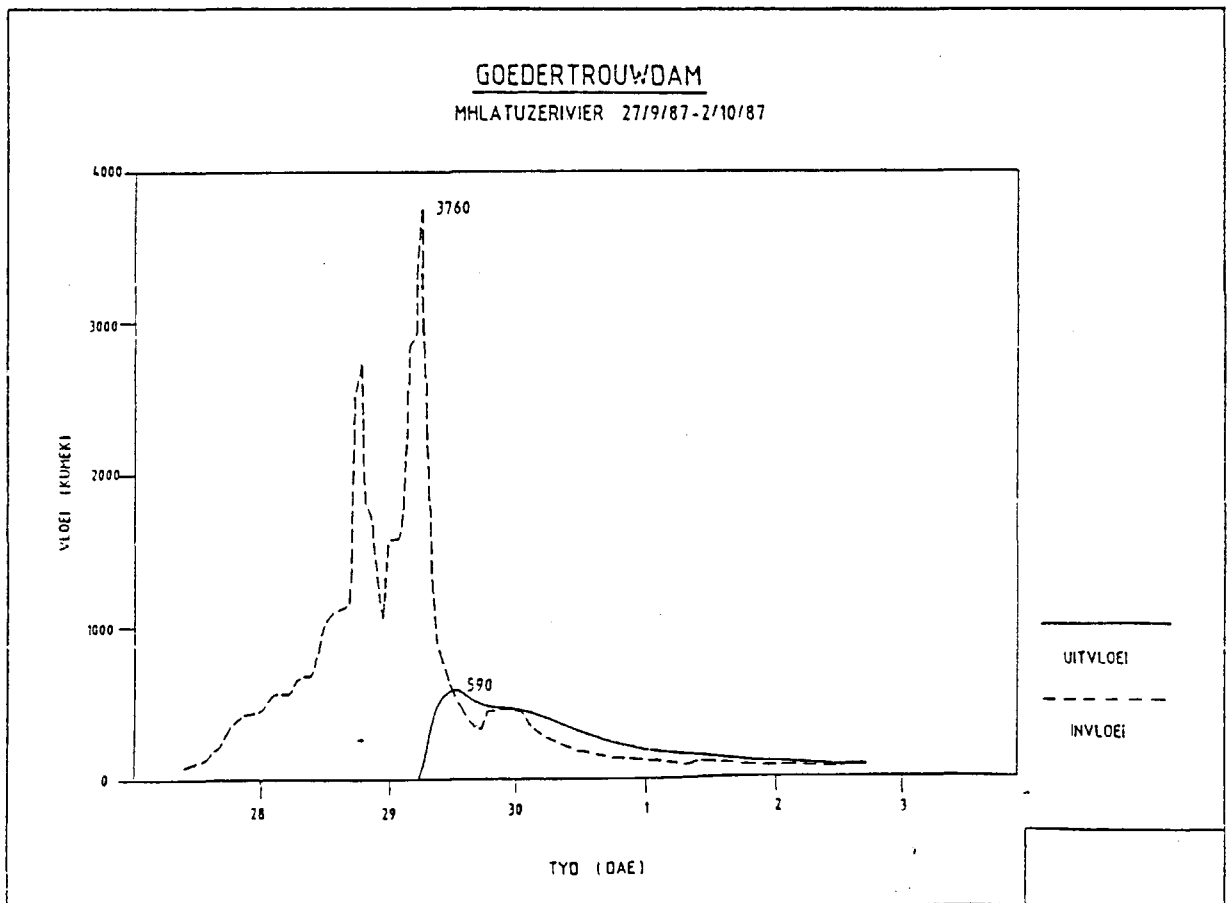
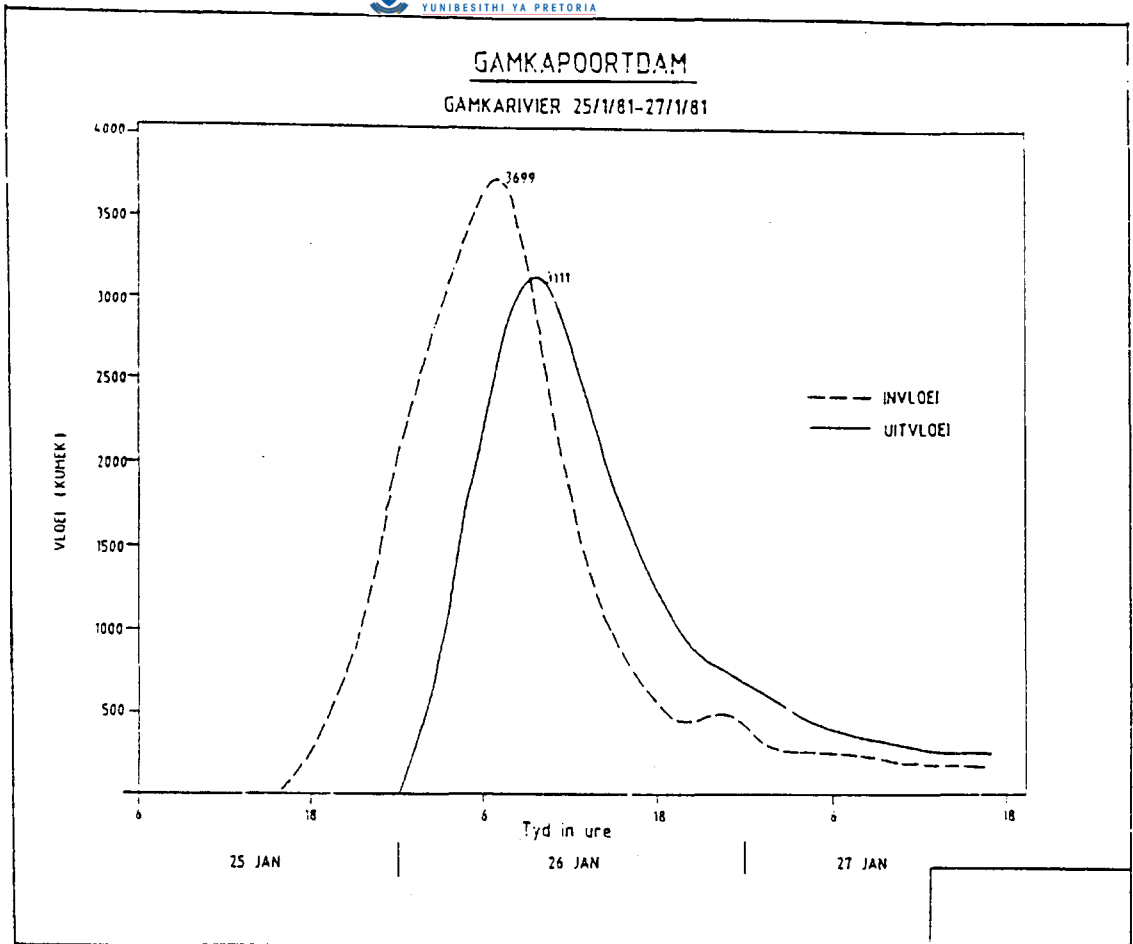
- Spurr, K.J.W. (1985). Energy approach to estimating scour downstream of a large dam. Water Power and Dam Construction, Jul. 1985.
- Steenstra B. (1961). Dam sites schemes. Gamkapoort, Stompdrift, Calitzdorp and Gamtoos Valley Scheme. Geological Survey, ING 441, 20/1/61.
- Stephenson, D. (1979). Pipeline Design for Water Engineers. pp. 13 - 26. Elsevier.
- Tegniese Metodes vir Hoofweë. (1979). Standaardtoetsmetodes vir Padboumateriale. TMH 1.
- USBR. (1987). Design of small dams (3rd ed.). United States Bureau of Reclamation.
- Van Bladeren, D. & Burger, C.E. (1989). Documentation of the September 1987 Natal Floods. Department of Water Affairs, Directorate of Hydrology, Subdirectorate: Flood Studies and Howick Regional Hydro Office, Technical Report No. 139.
- Van der Berg, H.J. (1983). Plane table mapping. Presented at Coal Section Symposium. Tshipise, Iscor Ltd. June 1983.
- Van Schalkwyk, A. (1989). Waternavorsingskommissie: Verslag oor loodsondersoek: Die erodeerbaarheid van verskillende rotsformasies in onbeklede damoorlope. Ongepubliseerde verslag, Universiteit van Pretoria, Aug. 1989.
- Van Schalkwyk, A. (1991). Waternavorsingskommissie: Vorderingsverslag vir 1991: Die erodeerbaarheid van verskillende rotsformasies onder variërende vloeitoestande. Ongepubliseerde verslag, Universiteit van Pretoria, 1991.
- Van Schalkwyk, A. (1992). Water Research Commission: Report on overseas visit by Prof. A. van Schalkwyk. Unpublished report, University of Pretoria. April 1992.
- Van Schalkwyk, A. (1993). Deurlopende besprekings met prof. van Schalkwyk (studieleier) oor navorsingsprojek.
- Van Wyk & Louw Inc. (1988). Roodeplaat Dam: Pienaars River: First engineering geological maintenance investigation. Report No. 2937/4/1988 (ING 2250), Oct 1988.
- Van Wyk & Louw Inc. (1991). Hartebeespoort Dam: Crocodile River: First engineering geological investigation for dam safety purposes. Report No. 11353/G1/1991 (ING 2423), April 1991.
- Van Wyk & Louw Inc. (1991). Hans Strijdom Dam: Mogol River: First engineering geological investigation for dam safety purposes. Report No. 11355/G1/1991 (ING 2435), March 1991.
- Veronese, S. (1937). Erosioni de fondo a valle di uno scarico. Annali dei Lavori Pubblici, Vol. 75, No. 9, Italy, pp. 717 - 726.
- Weaver, J.M. (1975). Geological factors significant in the assessment of rippability. Die siviele ingenieur in S.A., December 1975, pp 313-316.
- Webber, N.B. (1971). Fluid Mechanics for Civil Engineers. New York: Chapman & Hall.
- Woodward, R.C. (1984). Geological factors in spillway terminal structure design. Proc. 4th Australian - New Zealand Conference on Geomechanics, May, Perth, pp. 245 - 249.

AANHANGSEL A

Hidrograwe en berekeninge vir piekvloei.

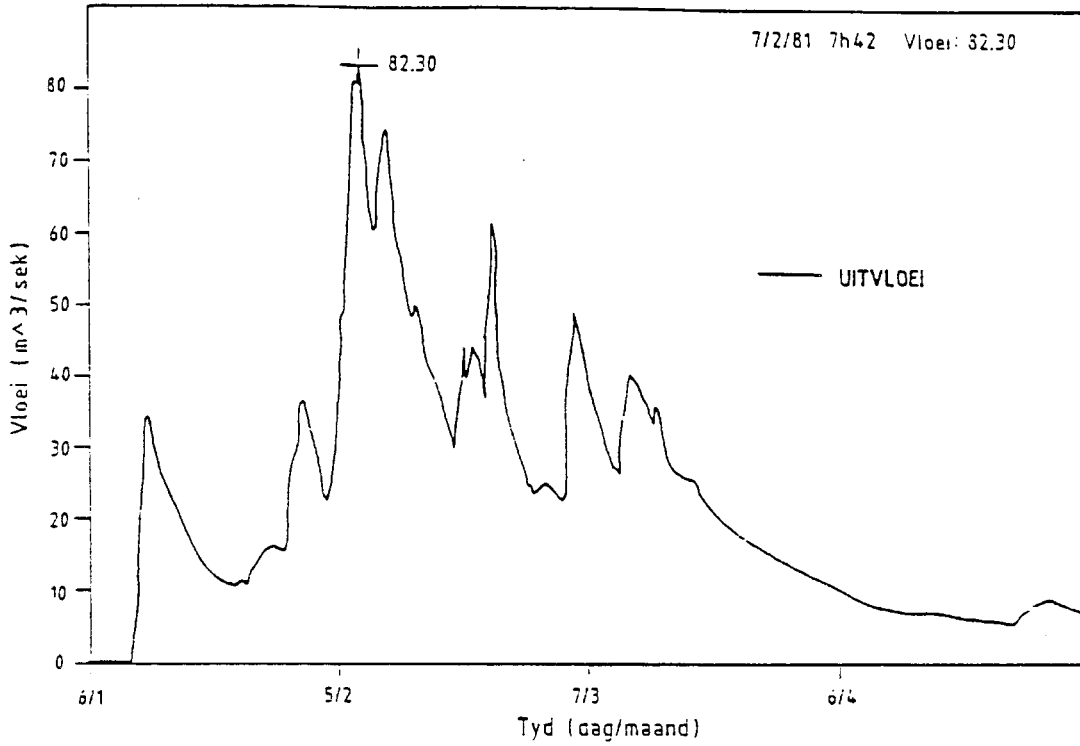






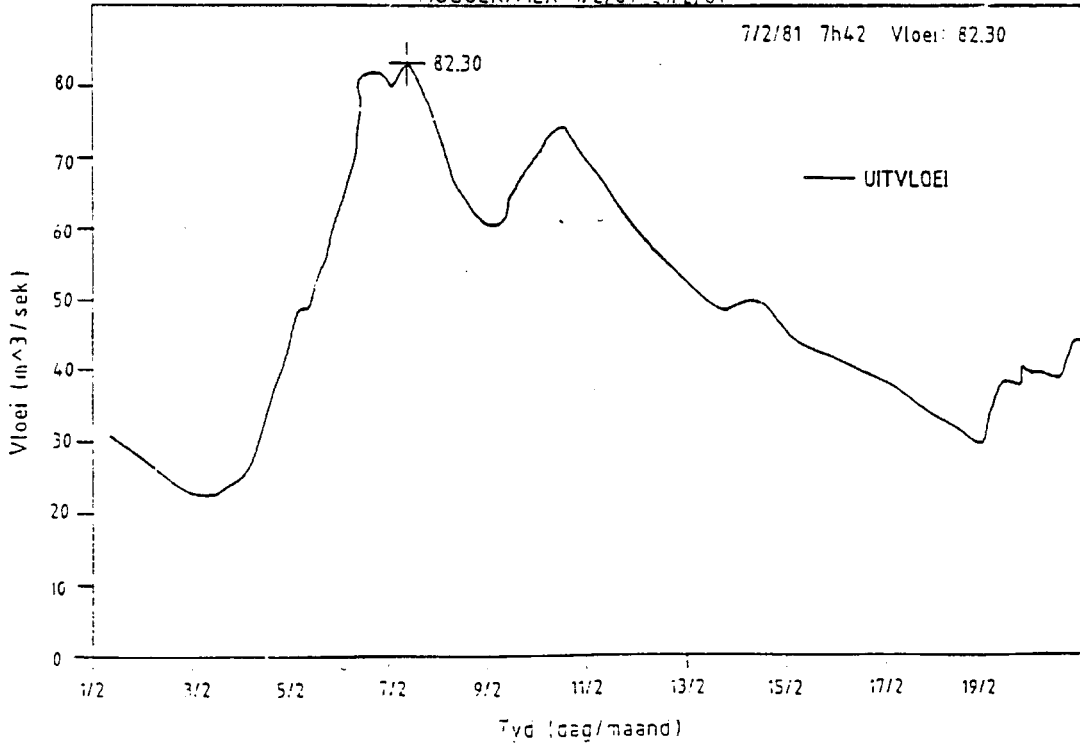
HANS STRYDOMDAM

MOGOLRIVIER 6/1/81-6/5/81



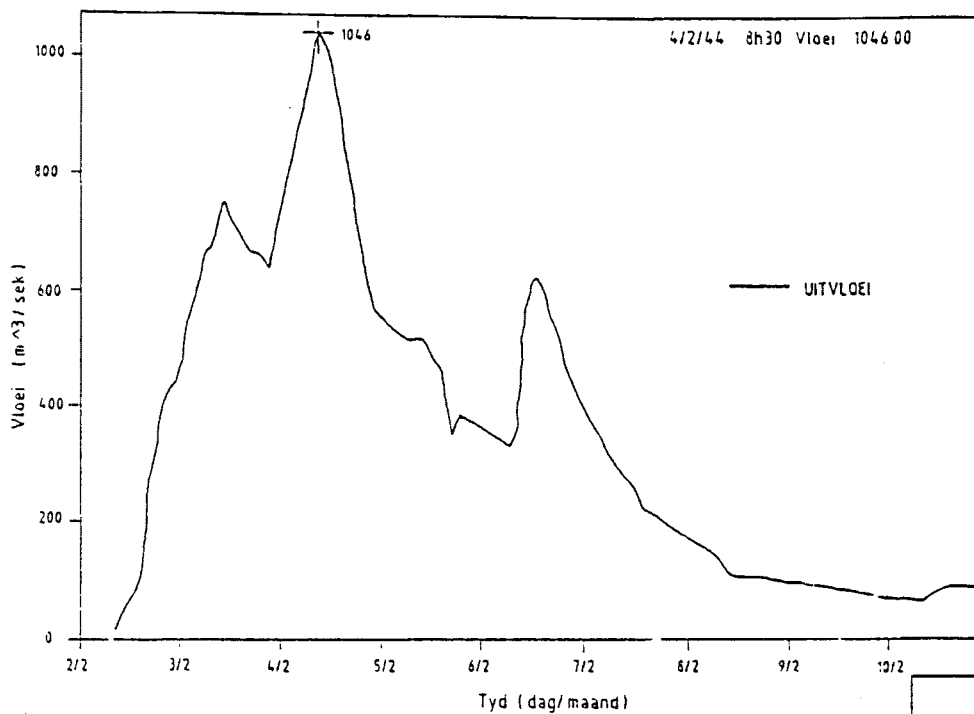
HANS STRYDOMDAM

MOGOLRIVIER 7/2/81-21/2/81



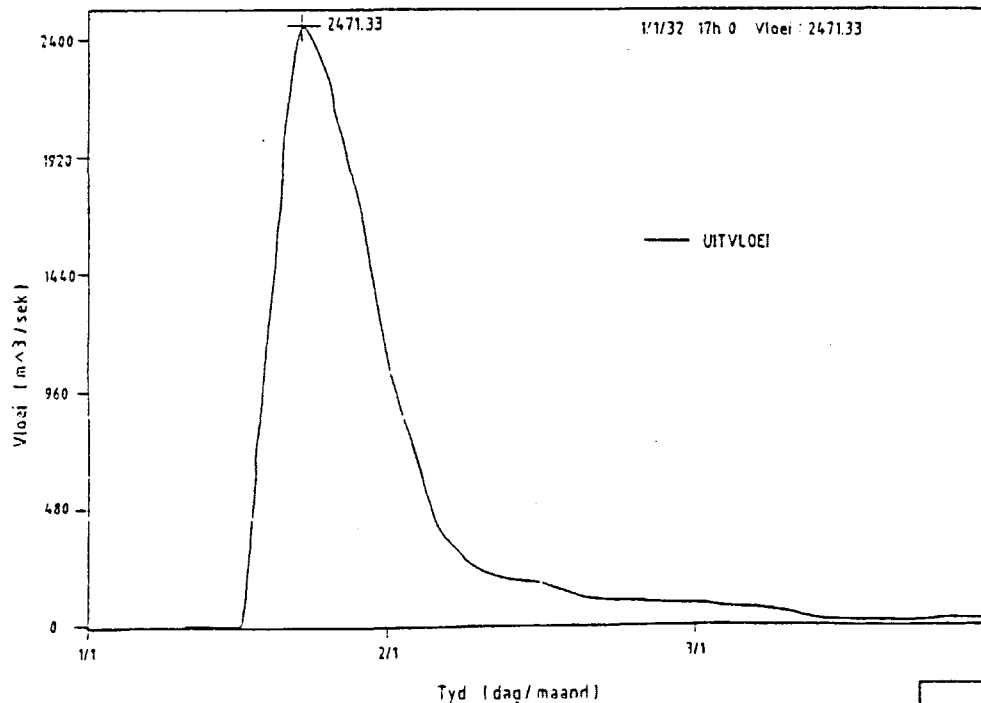
HARTEBESPOORTDAM

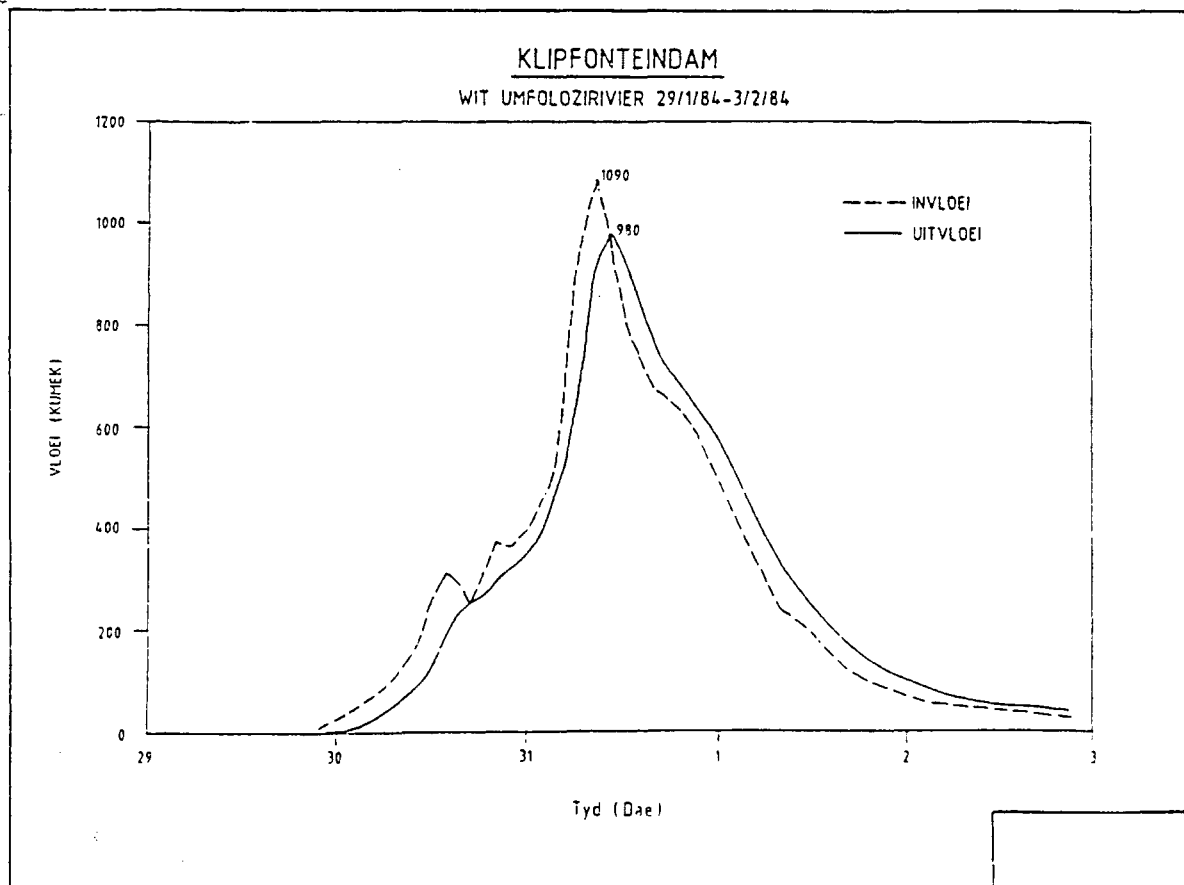
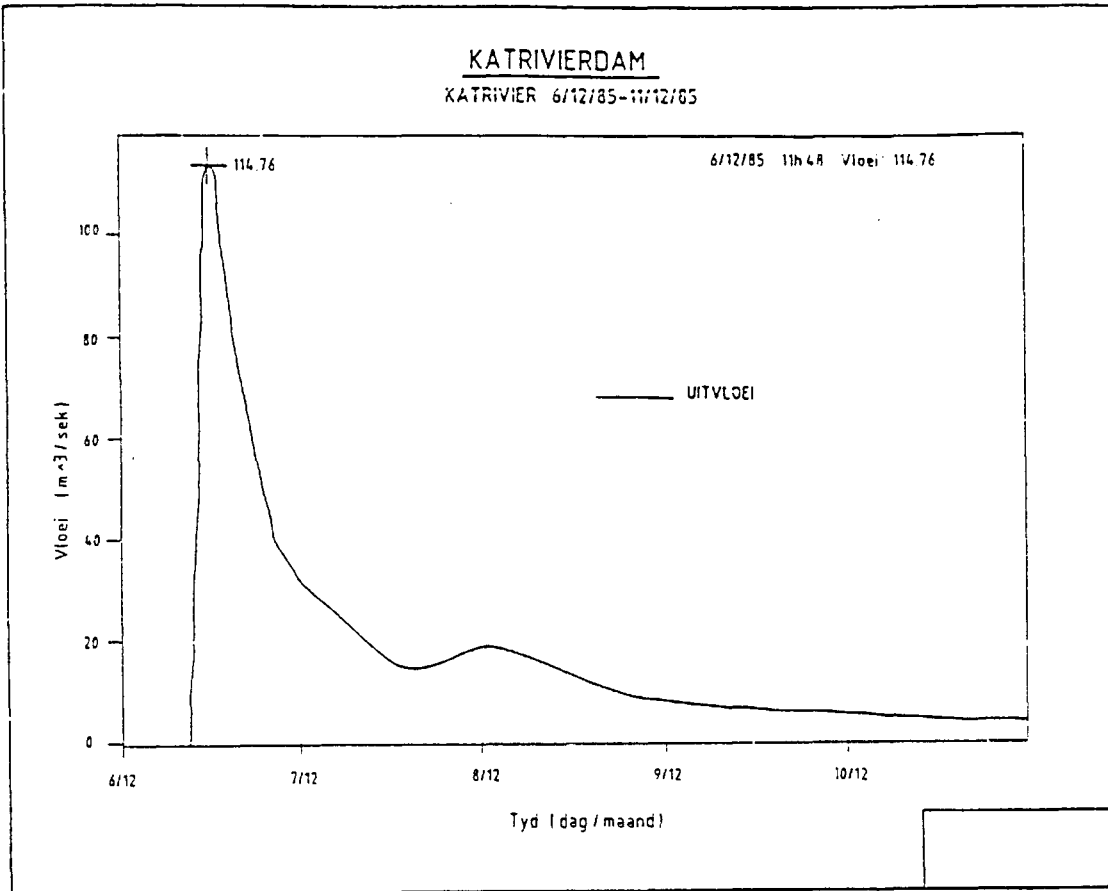
KROKODILRIVIER 2/2/44-11/2/44

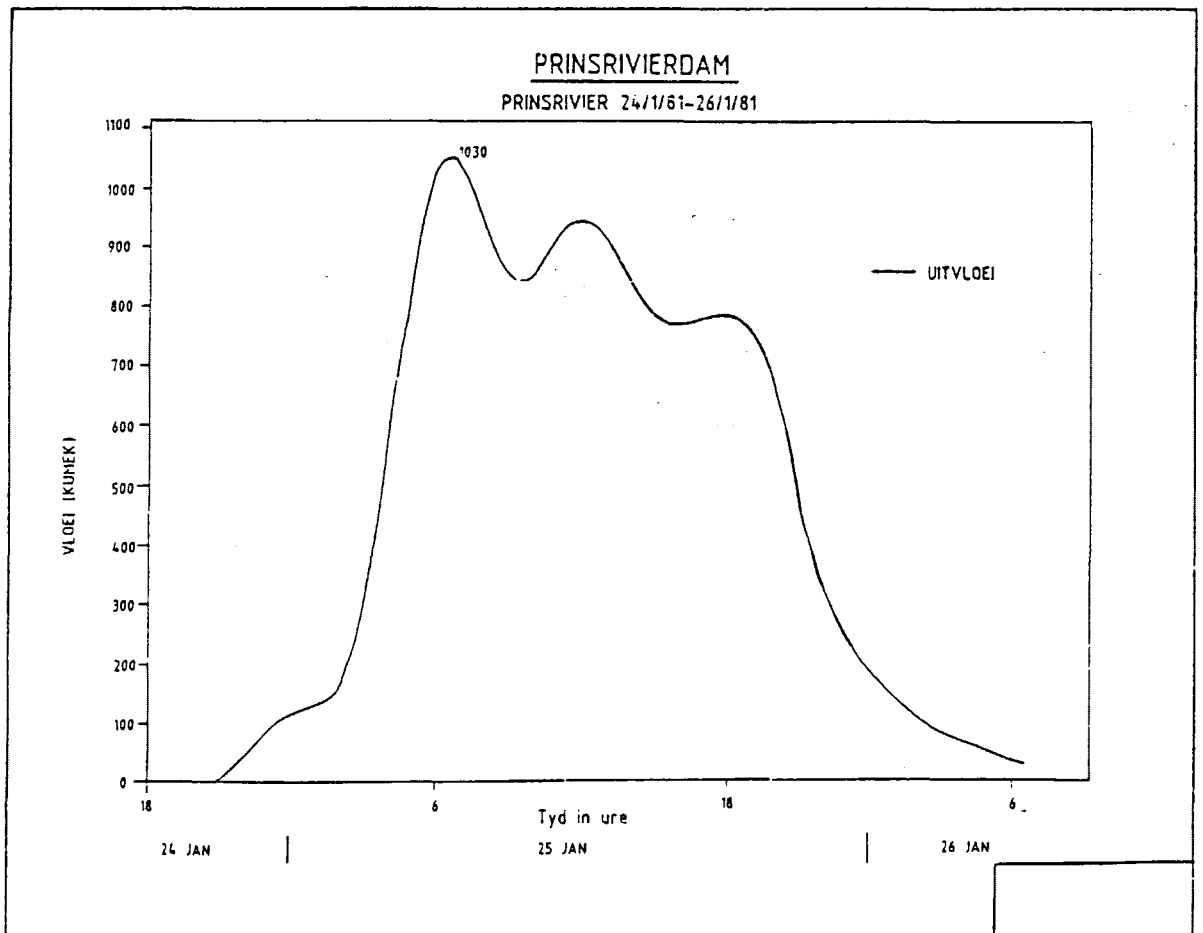
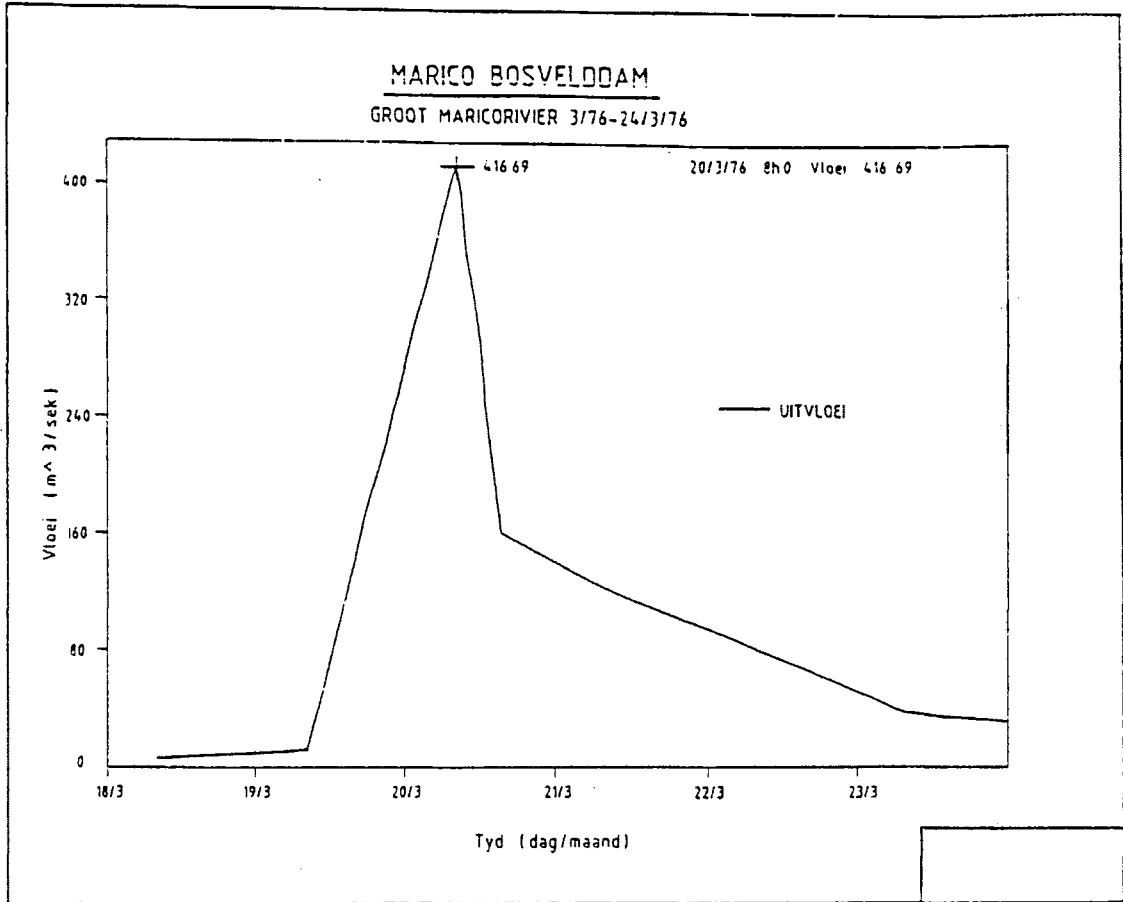


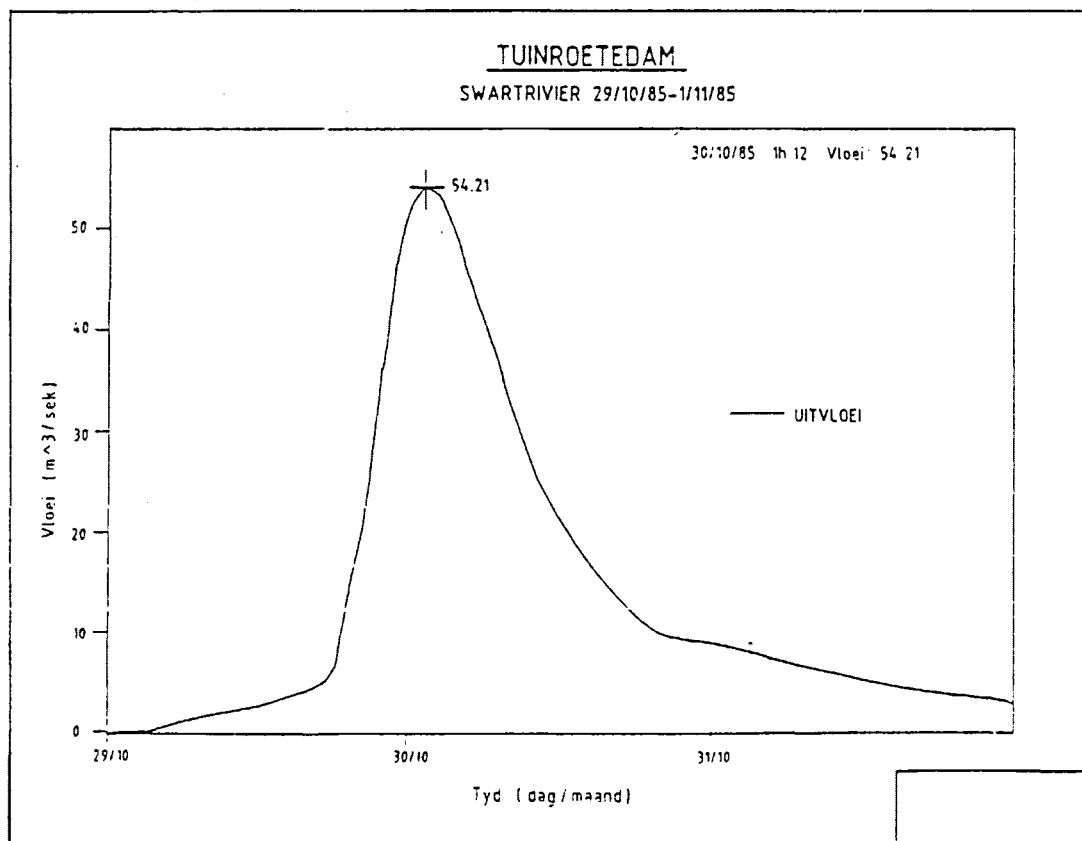
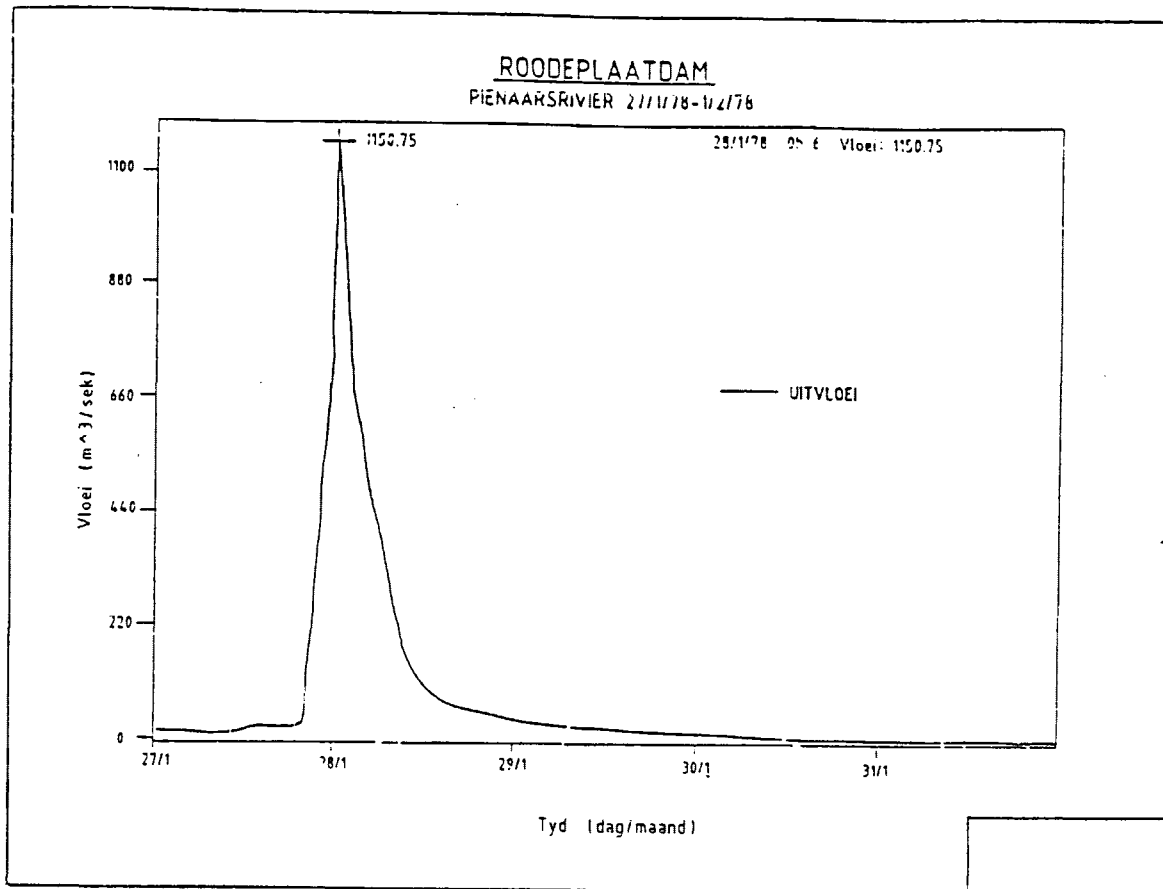
KAMMANASSIEDAM

KAMMANASSIERIVIER 1/1/32-4/1/32



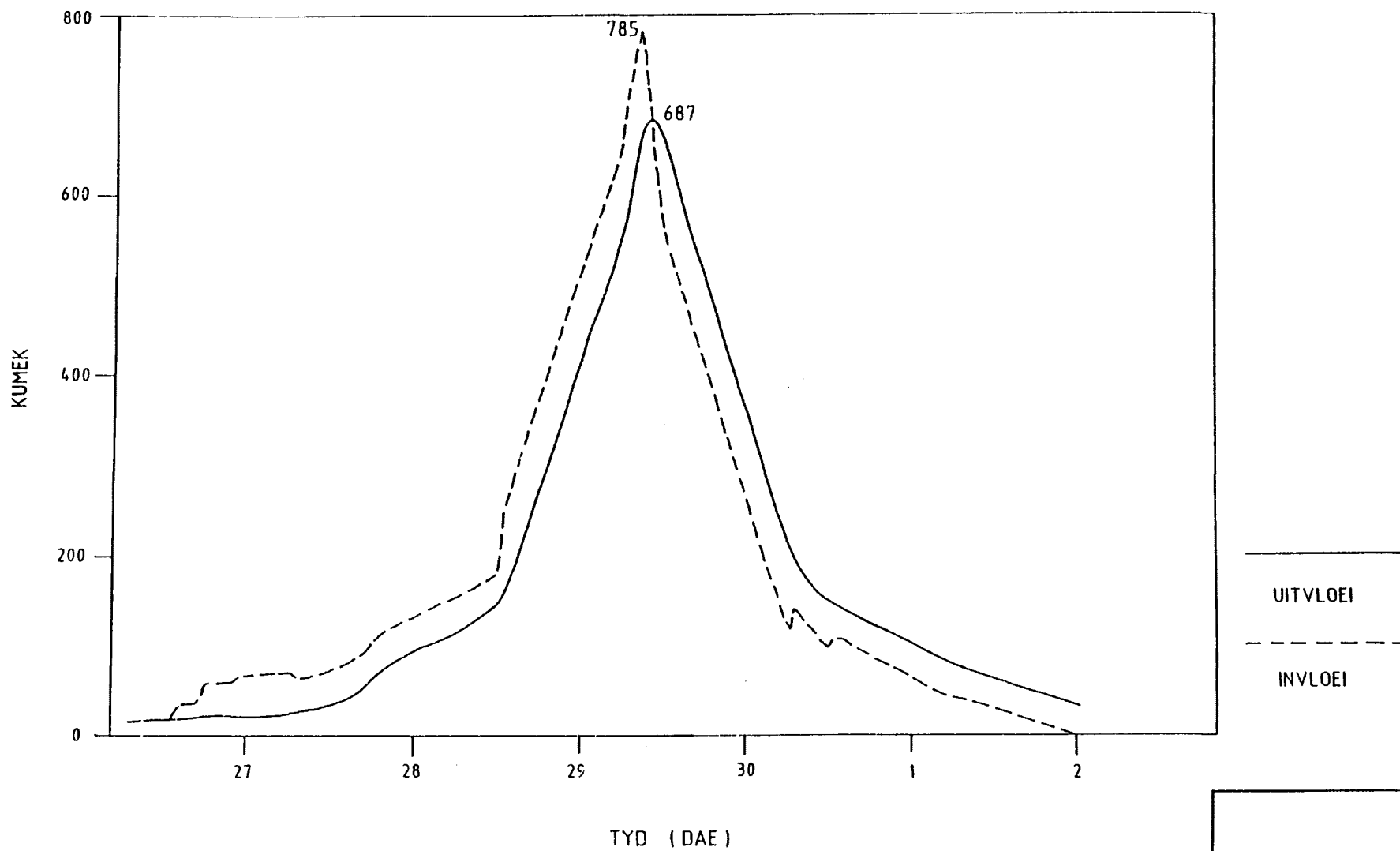






WAGENDRIFTDAM

BOESMANS'RIVIER 26/9/87-2/10/87



Piekvloei tempo's vir damme waar vloed hidrograwe nie beskikbaar is nie, is bereken. Hierdie piekvloei waardes is baie rofweg uitgewerk.

Applethwaitedam

Tydens 'n veldbesoek het die dam 1,5 m oor VVH oorgeloop. Daar word aangeneem dat die piekvloed meer as dubbel hierdie hoogte sal wees d.w.s. ongeveer 2 - 3,5 m.

$$v_{\text{gem}} = 7 \text{ m/sek.}$$

en $Q = v * A$
 $Q = 7 * 36,3 * 3,5$
 $Q = 889 \text{ m}^3/\text{sek.}$

Bellairdam

Vanuit verslae en beskikbare hidrograwe is vasgestel dat hierdie dam ongeveer 0,8 m oor VVH oorgeloop het. Neem aan $h = 0,8 \text{ m}$.

$$v \approx 4 \text{ m/sek.}$$

en $Q = 3 * 60 * 0,8$
 $Q = 192 \text{ m}^3/\text{sek.}$

Mzikidam

Vanaf 'n video opname is vasgestel dat hierdie dam ongeveer 1 m oor VVH oorgeloop het. Daar word aangeneem dat $h = 1 \text{ m}$.

$$v = \sqrt{2gh}$$
$$v = (2 * 9,8 * 1)^{1/2}$$
$$v = 4,43 \text{ m/sek.}$$

en $Q = 4,43 * 33 * 1$
 $Q = 146 \approx 150 \text{ m}^3/\text{sek.}$

h \equiv Energiehoogte.

v \equiv Watersnelheid.

g \equiv Gravitatieversnelling.

Q \equiv Vloei van water in kumek.

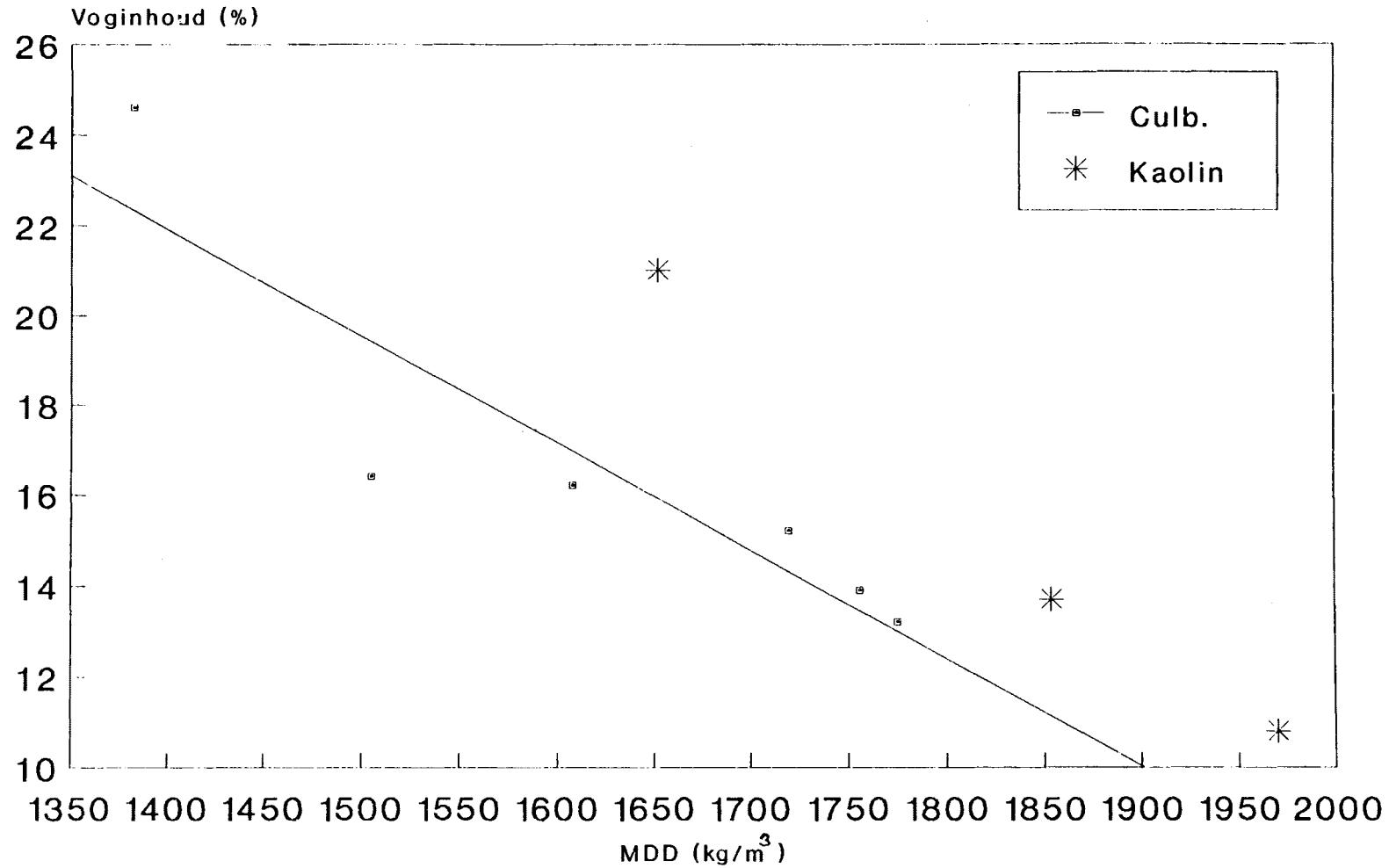
A \equiv Vloeiarea

AANHANGSEL B

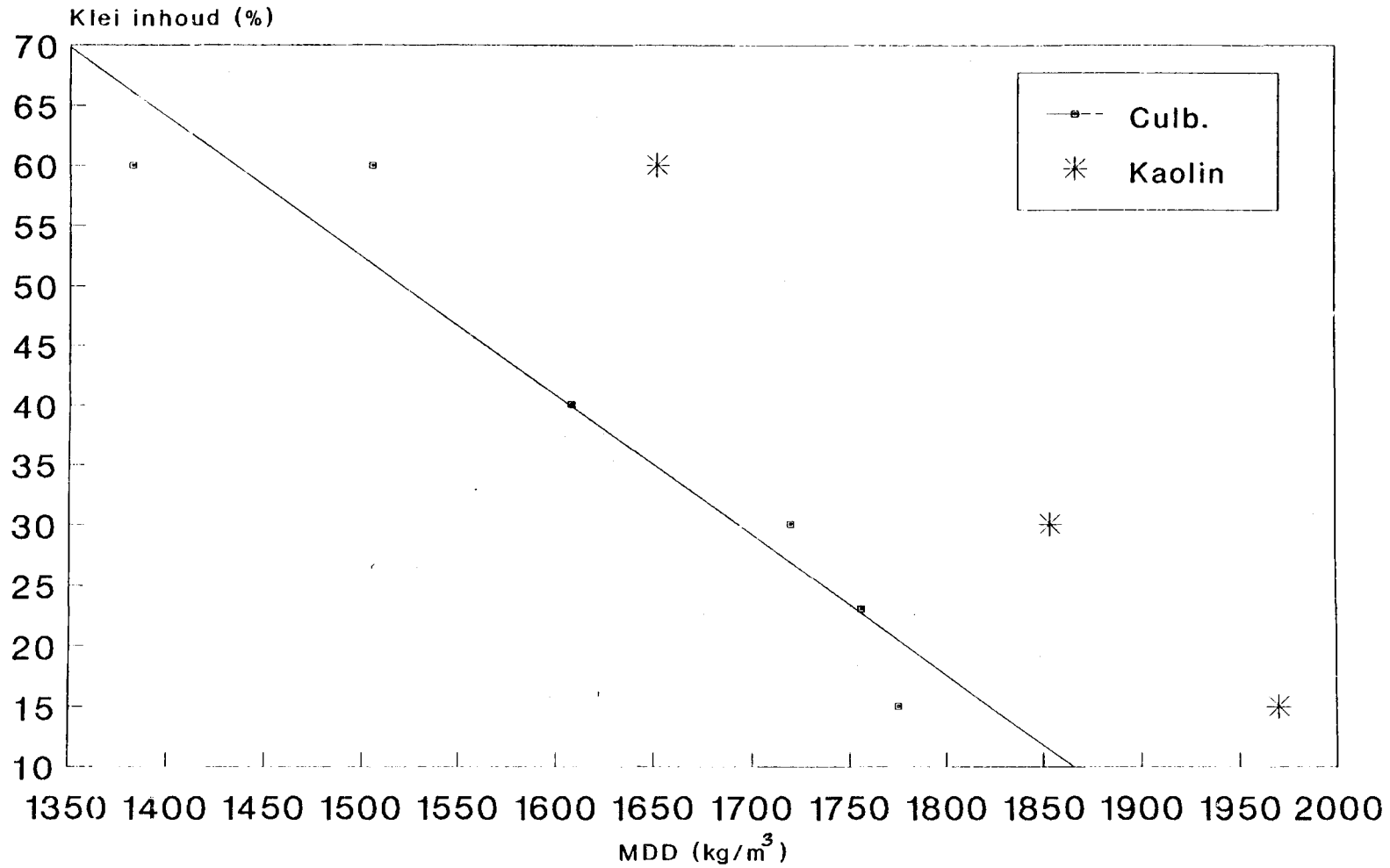
Korrelasie tussen maksimum droë digtheid en voginhoud.

Korrelasie tussen maksimum droë digtheid en klei inhoud.

KORRELASIE TUSSEN MAKSIMUM DROE DIGTHEID EN VOGINHOUD



KORRELASIE TUSSEN MAKSIMUM DROE DIGTHEID EN KLEI INHOUD



AANHANGSEL D

Vorbereitung van monsters vir vloeikanaaltoetse:

Bewerkings

23% - monster

$$6\ 000 * 77\% = 4\ 620\ \text{g sand}$$

$$6\ 000 * 23\% = 1\ 380\ \text{g klei}$$

$$OV = 12,5\%$$

$$\text{Dus: } 12,5\% * 6\ 000 = 750\ \text{ml water}$$

$$MDD = 1918\ \text{kg/m}^3$$

Dus:

$$\frac{1918 * \frac{100+12,5}{100}}{1000} * 1150$$

$$= 2481\ \text{g}$$

40% - monster

$$6\ 000 * 60\% = 3\ 600\ \text{g sand}$$

$$6\ 000 * 40\% = 2\ 400\ \text{g klei}$$

$$OV = 16,5\%$$

$$\text{Dus: } 16,5\% * 6\ 000 = 990\ \text{ml water}$$

$$MDD = 1788\ \text{kg/m}^3\ (\text{vanaf tabel})$$

Dus:

$$\frac{1788 * \frac{100+16,5}{100}}{1000} * 1150$$

$$= 2\ 396\ \text{g}$$

30% - monster

$$6\ 000 * 70\% = 4\ 200\ \text{g sand}$$

$$6\ 000 * 30\% = 1\ 800\ \text{g klei}$$

$$OV = 13,7\%$$

$$\text{Dus: } 13,7\% * 6\ 000 = 822\ \text{ml water}$$

$$MDD = 1854\ \text{kg/m}^3\ (\text{vanaf tabel})$$

Dus:

$$\frac{1854 * \frac{100+13,7}{100}}{1000} * 1150$$

$$= 2\ 424\ \text{g}$$

60% - monster

$$6\ 000 * 40\% = 2\ 400\ \text{g sand}$$

$$6\ 000 * 60\% = 3\ 600\ \text{g klei}$$

$$OV = 21,0\%$$

$$\text{Dus: } 21,0\% * 6\ 000 = 1\ 260\ \text{ml water}$$

$$MDD = 1\ 652\ \text{kg/m}^3\ (\text{vanaf tabel})$$

Dus:

$$\frac{1652 * \frac{100+21,0}{100}}{1000} * 1150$$

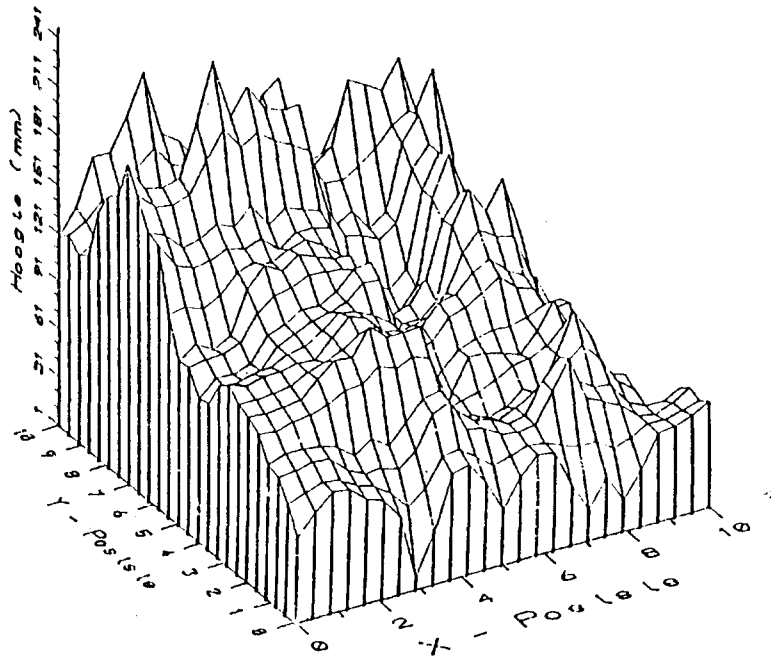
$$= 2\ 299\ \text{g}$$

AANHANGSEL C

Data van Waterspuittoets

0;10	119	167	207	151	95	104	116	102	49	20	20
0;9	115	99	125	122	107	109	112	102	104	106	12
0;8	170	131	127	174	223	153	211	208	186	21	66
0;7	201	182	254	229	216	124	110	181	92	24	0
0;6	169	143	144	135	151	73	71	179	150	83	58
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	64	0
0;1	81	36	66	60	107	76	67	114	72	52	66
0;0	54	77	62	6	70	35	64	12	19	59	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)

WAARDES IN mm VOORDELT SPUITTOETS UITGEVOER IS.

Reem: H. DOOGE

Terein: Hans Strydomaan

Toets no. 1

Rigting: Vertikaal

Tydsduur (min): 5

Spuitdruk (mm): 8

 Seologiese kollum in 'n grond matrys ryk aan Fe - oksied.
 Die toetspunt is naby versluitingszone 1

0:10	79	75	67	73	85	86	92	89	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	100
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	94	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	93	65	68	71	83	63	63
0:0	111	95	103	104	95	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

0:10	188	242	274	231	180	190	208	190	162	125	135
0:9	195	173	189	197	194	210	216	220	220	210	112
0:8	240	210	204	244	254	254	308	303	271	98	175
0:7	270	272	342	308	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	234	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	183	187	166	163	179	141	135	135	155	115	134
0:0	165	172	165	119	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

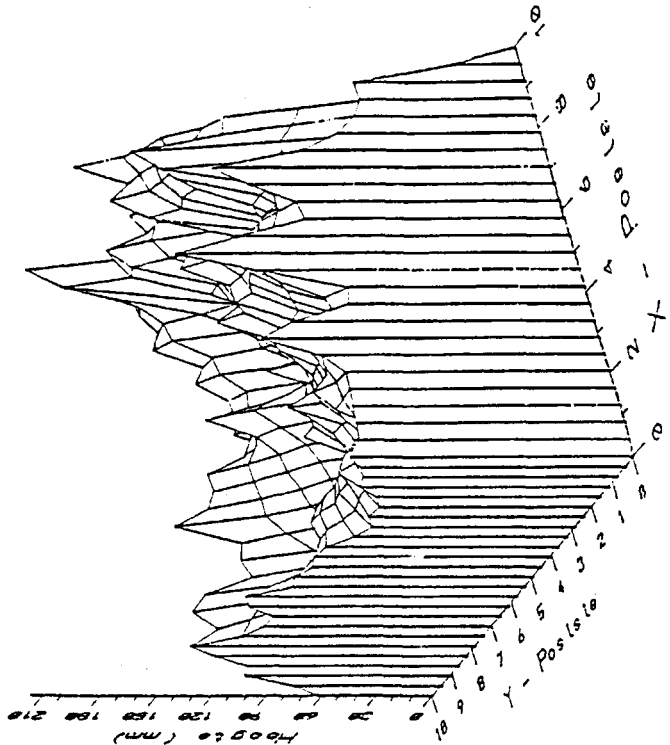
LATA VIE '11 121 MEGELE TOETS (50 mm spazise)
WEGELES 10 mm VOORREKAT EFFUITOETS UITGEWEEK IS.
Heemstl. 1000E Terrein: Mens Strydomda
Toets no. 1 Riatings: Vertikaal
Hydratuur (ml): Spuitstok (ml): 12

weelates: Edalloyum to 'n goond metriks ryk aan Fe - okaled.
Die toetsout is naby verhefuitingsone 1

0110	198	242	274	231	180	208	130	162	135	135
019	195	173	187	194	210	216	220	220	210	112
018	240	210	204	244	254	306	303	271	98	175
017	270	272	342	306	295	211	210	255	81	112
016	245	237	230	220	241	166	167	242	183	144
015	180	188	232	237	234	165	184	224	222	72
014	172	185	205	207	236	169	182	194	172	80
013	204	191	196	220	211	131	126	141	155	82
012	188	188	215	233	228	145	116	131	148	132
011	183	187	166	163	199	141	135	185	155	115
010	165	172	165	110	155	103	90	91	117	104
010	110	210	210	210	410	510	510	710	810	1010

0110	62	0	0	0	11	18	10	15	24	63	94	75
019	114	108	59	59	58	85	46	94	101	118	121	111
018	155	157	115	143	125	90	13	21	30	200	28	
017	123	68	20	79	87	125	60	0	33	159	133	
016	151	98	40	46	6	77	75	8	56	84	102	
015	128	101	45	55	42	112	58	32	36	178	184	
014	128	130	74	122	104	118	29	18	93	155	156	
013	108	123	105	140	101	163	156	126	93	201	127	
012	113	134	73	55	64	161	194	133	114	32	43	
011	136	115	155	147	106	167	157	94	65	11	0	
010	152	144	141	183	121	216	135	185	109	99	0	
010	110	210	210	310	410	510	610	710	810	910	1010	

TOETS 1 (12mm)



0110	260	242	274	242	198	200	223	214	225	219	210
019	309	281	248	255	279	256	310	321	338	331	226
018	395	367	319	393	379	344	319	324	306	300	293
017	393	310	362	385	382	336	270	285	248	240	245
016	306	335	270	266	247	243	212	230	239	236	246
015	308	289	277	252	276	277	242	256	258	250	266
014	200	315	279	329	342	287	211	212	265	235	262
013	312	314	301	360	342	294	282	267	248	283	200
012	301	322	388	290	282	306	310	264	262	164	126
011	321	302	321	310	305	308	282	273	220	126	134
010	317	315	306	293	276	221	271	275	200	215	124
010	110	210	210	210	410	510	610	710	810	910	1010

WATERSPUITTOETS

DATA VIR 'N 36 WAARDE TOETS (100 mm spesies)

WAARDES IN MM VOORDAT SPUITTOETS UITGEVOER IS.

Naam: N. DOUGE Terrein: Hans Strydomdam

Toets nr.: ... 2 Rigting: Horizontaal

Spruitstuk afstand van front: 700 mm

Tyd (min): 10 min

Spruitstuk: 13 mm

Oplogging: Houtvolmateriaal in verskuiwingsone 1 is uitgespuit. Die rots in die sone is verbreekel en kan dus ook deur die waterstraal weggespoel word. Die water dan egter op a.g.v. die feit dat die templaar horisontaal is. Die krag van die water word deur die opdamming nadelig beïnvloed.

WAARDES IN MM NADAT SPUITTOETS UITGEVOER IS.

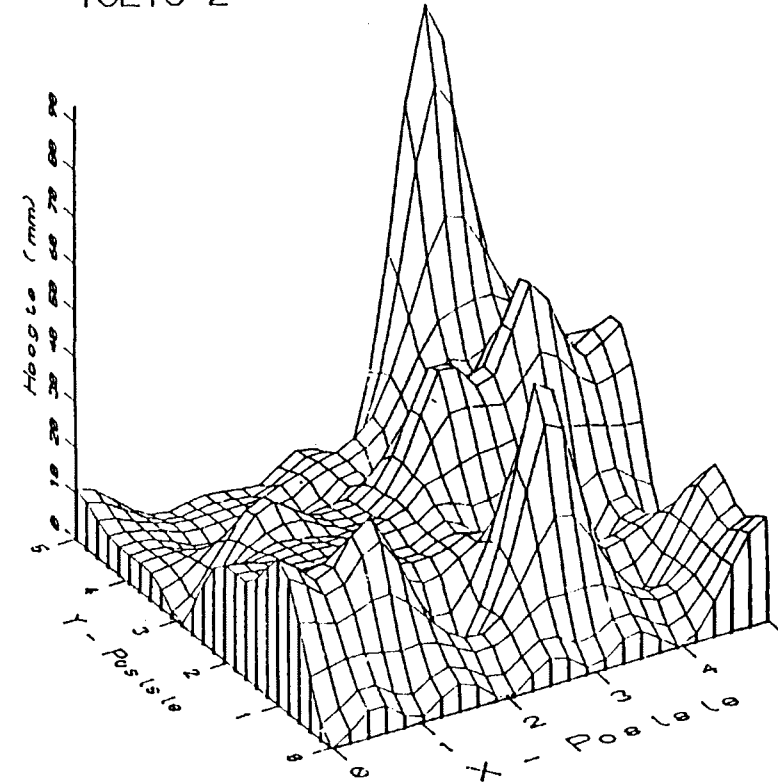
0;5	111	87	78	60	129	128
0;4	125	85	77	78	163	150
0;3	132	124	105	188	196	173
0;2	155	139	112	156	135	100
0;1	175	161	94	172	124	139
0;0	130	115	90	82	81	147
	0;0	1;0	2;0	3;0	4;0	5;0

WAARDES IN MM VAN OVEVEELHEID MATERIAAL WEGGESPOEL.

C

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	19	10	0	0
0;1	32	36	0	57	0	25
0;0	0	1	0	1	0	25
	0;0	1;0	2;0	3;0	4;0	5;0

TOETS 2



DATA VIR 'N 30 WAAKDE TOETS (100 mm spesies)

WAAKES IN MM VOORDAT SPUITTOETS UITGEVOER IS.

Operasie: FODGE
 Toets nr: ... 3
 Terrein: Strydom
 Rigting: Vertikaal

Spruitstuk afstand van front: 200 cm

Tyd (min): 10 min

Spruitstuk: 12 mm

Geologies: Maatvulmateriaal in versluingsone 1 is uitgespuit. Slegs die maatvulmateriaal word uitgespoel. Die rots is redelik intak en kan nie weggespoel word nie.

B

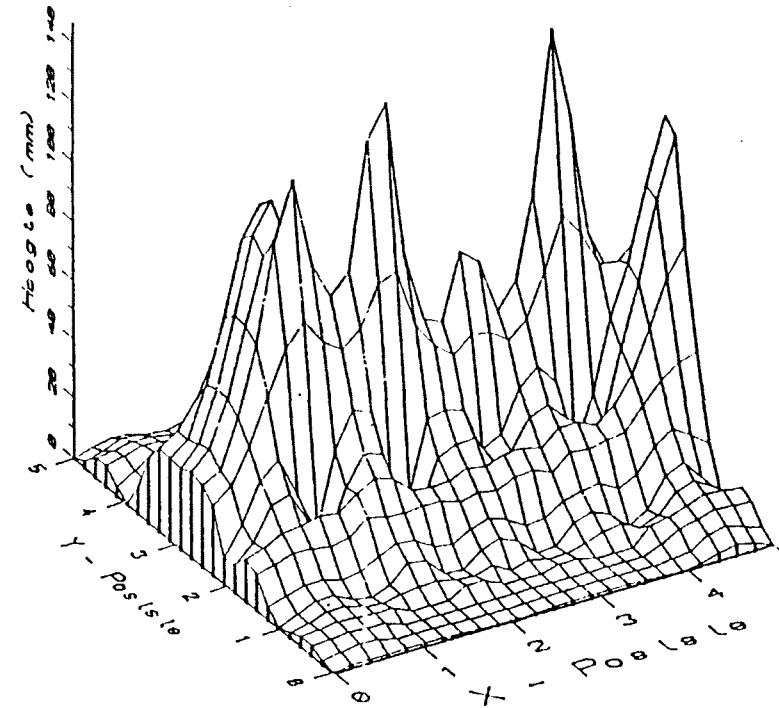
0:5	65	85	62	75	84	95
0:4	71	109	99	62	83	77
0:3	138	243	100	59	46	102
0:2,5	147	262	265	222	262	193
0:2	143	157	131	108	90	225
0:1	147	144	118	92	169	102
0:0	165	127	115	145	97	75
0:0	1:0	2:0	3:0	4:0	5:0	

WAAKES IN MM VAN HOEVEELHEID MATERIAAL WEGGESPOEL.

C

0:5	0	0	0	0	0	0
0:4	0	0	0	0	23	0
0:3	26	112	0	0	0	0
0:2,5	27	122	148	85	149	60
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	

TOETS 3



0:5	65	85	62	75	84	95
0:4	71	106	99	62	60	77
0:3	112	131	100	59	46	102
0:2,5	120	140	117	137	113	123
0:2	136	156	131	95	82	106
0:1	141	143	117	92	169	101
0:0	165	126	115	144	97	75
0:0	1:0	2:0	3:0	4:0	5:0	

WATERSPUITTOETS
DATA VIR 'N 20 WASELE REGUITLW TOETS (100 mm spesie)
DATA WAARDES IN MILLIMETER.

Naaar.N. DOORE Terrein:Hans Strydomdam

Toets nr.:.... 4 Rigtings:Vertikaal

Spuitstuk afstand van tronts: 600 mm

Tyd (min): 10 min

Spuitstuk: 8 mm

Doelwit: Die toets bepaal die sterkte van die meetvlakmateriaal.
 Op die oag of lyk die materiaal sterker as die materiaal by toetspunt 3. Die toetsarea is 2m breed en die naal is 100mm dik. Die teaplaas is nie hier gebruik nie.

A

Punt nommer	1	2	3	4	5
Voor waterspuit	0	0	0	0	0
Na 10 min.	0	0	30	10	55
Materiaal verw.	0	0	30	10	55

B

Punt nommer	6	7	8	9	10
Voor waterspuit	31	65	110	168	245
Na 10 min.	60	65	110	195	290
Materiaal verw.	29	20	0	7	35

C

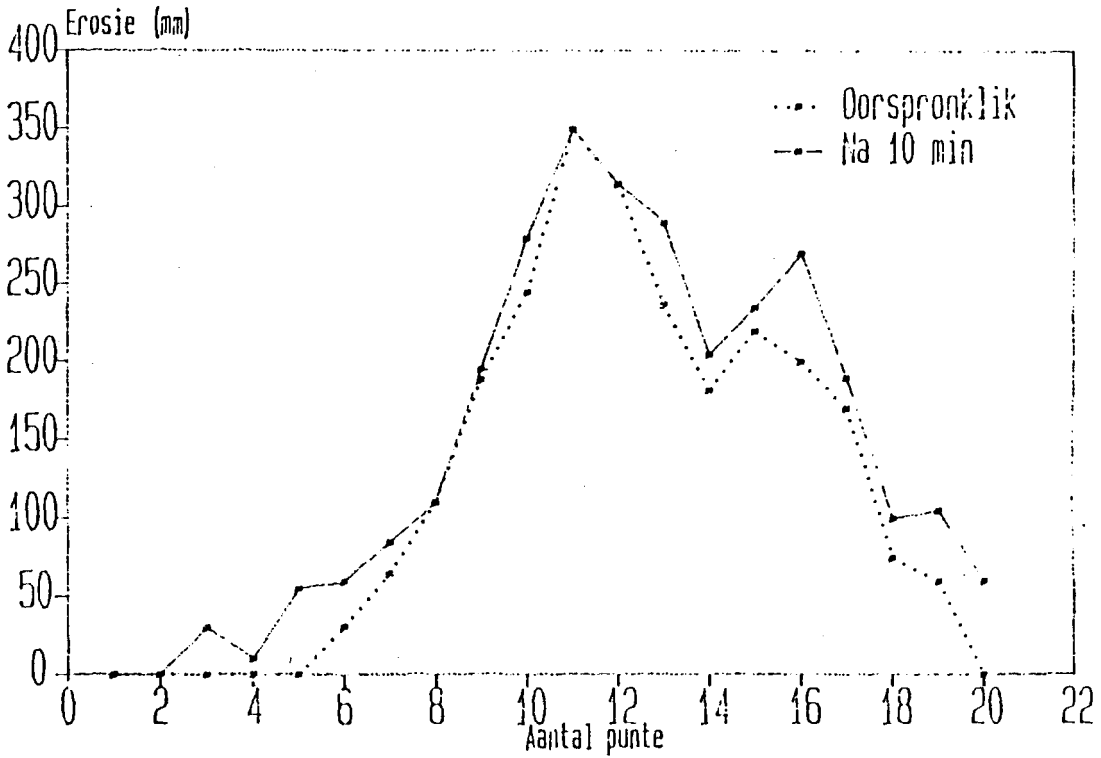
Punt nommer	11	12	13	14	15
Voor waterspuit	350	315	237	162	220
Na 10 min.	350	315	290	205	235
Materiaal verw.	0	0	53	23	15

D

Punt nommer	16	17	18	19	20
Voor waterspuit	200	170	75	60	0
Na 10 min.	270	190	100	105	60
Materiaal verw.	70	20	25	45	60

REGUITLYN TOETS

100 mm spasie



Toets 4

WATERSPUITREIS

DATA VAN 'N OG WAARDE TOETS (100 mm spasies).

WAARDES IN mm VOORDELT SPUITTOETS UITGEVOER IS.

Naam: H. BOOGE Terrein: Hans Strydomdam

Toets nr.: 5 Rigting: Vertikaal

Spuitstok afstand van front: 100 cm

Tyd teende: 10 min

Spuitstok: 12 mm

Geologies: In 'n verweerde fuosiliese sandsteen in die verduwingsone. Die naalvulmateriaal groei waaik uit en groter rotsblokke kom dan toe.

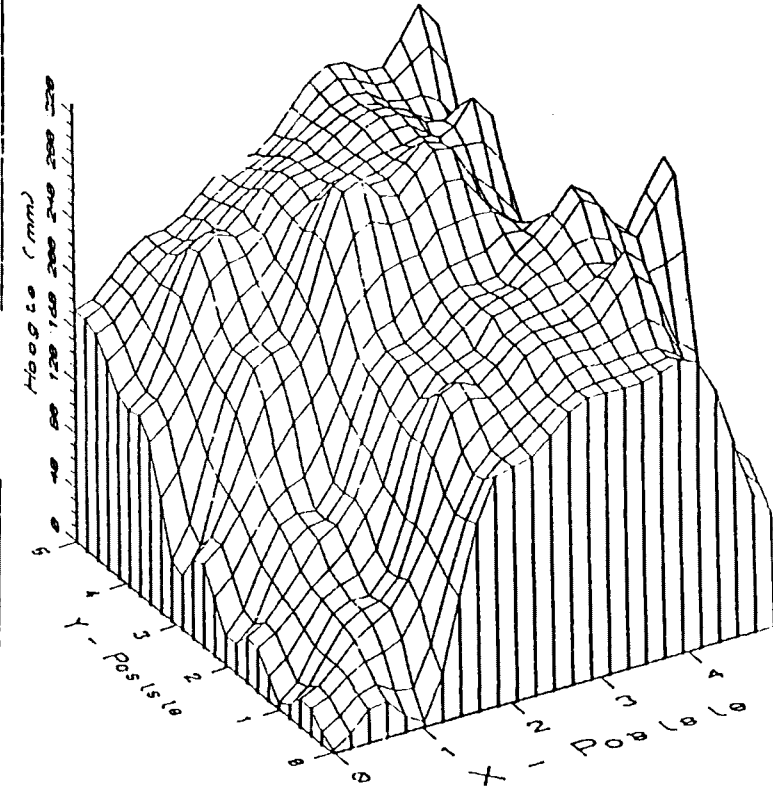
WAARDES IN mm DAT SPUITTOETS UITGEVOER IS.

0:5	254	362	361	432	445	119
0:4	293	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

WAARDES IN mm VAN HOEWEELEID MATERIAAL WEGGESOEL.

0:5	61	150	113	132	118	119
0:4	102	61	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	104
0:0	133	139	87	53	105	133
	0:0	1:0	2:0	3:0	4:0	5:0

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	206	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



AANHANGSEL E

Rou data vir modeltoetse.

Vloei C - 8 draaie toe:(klep 2)

Waarneming: Erosie vind meer op kante plaas. Erosieprofiel wys dit duidelik.

Erosie lesing: Kum. erosie: Aparte erosie:

1)15,26	1)9,56	1)2,23
2)38,53	2)32,56	2)24,9
3)31,29	3)25,49	3)14,11
4)15,85	4)9,73	4)2,22
5)48,91	5)42,56*	5)36,0*

* - Uitskietewaarde

Toets 7.4 (30% - Cuiseal)

Mengsel :30% klei - seel.

Datum gemaak :26/1/92

Datum getoets:29/1/92

Tipe toets :Droog

Lesings voor :

1)5,50
2)5,66
3)6,19
4)6,58
5)6,46

Vloei A - 2 draaie oop:(klep 1)

Waarneming: Baie erosie vind plaas. Let op na die groot korrels.

Erosie lesing: Kumulatiewe/aparte erosie:

1)18,65	1)11,15
2)21,73	2)16,07
3)19,60	3)13,41
4)14,74	4)8,16*
5)20,00	5)13,54

Vloei B - vol oop: (klep 1)

Waarneming: Erodeer amper heeltemal.

Erosie lesing: Kum. erosie: Aparte erosie:

1)19,75	1)14,25	1)3,1
2)55,66	2)50,00*	2)33,93
3)34,49	3)28,3	3)14,89
4)14,94	4)8,36	4)0,2*
5)56,46	5)50,00*	5)36,46

Vloei C - 8 draaie toe:(klep 2)

Waarneming: Na 6 min. het byna alles erodeer. Na 8 min. het alles erodeer.

Erosie lesing: Kum. erosie: Aparte erosie:

1)55,50	1)50	1)35,75
2)55,66	2)50	2)0,00*
3)56,19	3)50	3)21,7
4)56,58	4)50	4)41,64
5)56,46	5)50	5)0,00*

* - Uitskietewaarde

Toets 7.5 (40% - Cuibond)

Mengsel :40% klei

Datum gemaak :23/8/91

Datum getoets:29/1/92

Tipe toets :Droog

Lesings voor :

1)7,62
2)6,36
3)6,70
4)8,38
5)7,09

Vloei A - 2 draaie oop:(klep 1)

Waarneming: Erosie lyn parallel met vloei. Putting of gate vorm.

Erosie lesing: Kumulatiewe/aparte erosie:

1)7,88	1)0,26
2)7,92	2)1,56*
3)7,53	3)0,83
4)8,38	4)0,00
5)7,75	5)0,66

Vloei B - vol oop: (klep 1)

Waarneming: Erosie strepe.

Erosie lesing: Kum. erosie: Aparte erosie:

1)13,80	1)6,18	1)5,92
2)11,20	2)4,84	2)3,28
3)15,76	3)9,06	3)8,23*
4)14,65	4)6,27	4)6,27
5)9,13	5)2,04*	5)1,38

Vloei C - 8 draaie toe:(klep 2)

Waarneming: Waar werwels en eddies ontstaan vind die meeste erosie plaas.

Erosie lesing: Kum. erosie: Aparte erosie:

1)18,00	1)10,38	1)4,2
2)27,57	2)21,21	2)16,37
3)29,09	3)22,39	3)13,33
4)16,85	4)8,47	4)2,2
5)48,04	5)40,95*	5)38,91*

* - Uitskietewaarde

Toets 7.6 (60% - Cuibond)

Mengsel :60% klei

Datum gemaak :23/8/91

Datum getoets:4/2/92

Tipe toets :Droog

Lesings voor :

1)7,84
2)5,31
3)5,93
4)7,76
5)5,44

Vloei A - 2 draaie oop:(klep 1)

Waarneming: Erosiestrepe parallel met vloei.

Erosie lesing: Kumulatiewe/aparte erosie:

1)7,84	1)0,00
2)5,50	2)0,19*
3)5,97	3)0,04
4)7,76	4)0,00
5)5,44	5)0,00

Vloei B - vol oop: (klep 1)

Waarneming: Erosie vind parallel met vloei plaas. Turbulensie vind plaas en bevorder erosie.

Erosie lesing: Kum. erosie: Aparte erosie:

1)10,5	1)2,71	1)2,71
2)8,47	2)3,16*	2)2,97*
3)6,45	3)0,52	3)0,48
4)8,25	4)0,49	4)0,49
5)8,30	5)2,86	5)2,86

Vloei C - 8 draaie toe:(klep 2)

Waarneming: Erosie meer egalig. Foto van profiel.

Erosie lesing: Kum. erosie: Aparte erosie:

1)17,65	1)9,81	1)7,15
2)20,88	2)15,57	2)12,41
3)23,42	3)17,49	3)16,97*
4)14,74	4)6,98*	4)6,49
5)20,00	5)14,56	5)11,7

* - Uitskietewaarde

TOETS 8

Toets 8.1 (15% - Culbond - 1 uur versadig)

Mengsel :15% klei
Datum gemaak :11/2/92
Datum oettoets:20/2/92
Tipe toets :Nat

Lesings voor :	
1)8.00	
2)6.10	
3)7.72	
4)6.47	
5)6.34	

Vloei A - 2 draaie oop:(klep 2)

Waarneming: Turbulente profiel van erosie. Erosie lyne parallel met watervloei rigting.

Erosie lesing:	Kumulatiewe/aparte erosie:
1)17.32	1)9.32
2)13.30	2)7.20
3)16.06	3)8.34
4)11.38	4)4.91*
5)13.45	5)7.11

Vloei B - vol oop: (klep 1)

Waarneming: Selfde as vloei A. Erosieprofiel - foto 35.

Erosie lesing:	Kum. erosie:	Aparte erosie:
1)19.87	1)11.87	1)2.55
2)39.80	2)33.70	2)26.50*
3)36.40	3)28.68	3)20.34
4)15.90	4)9.43*	4)4.52
5)35.50	5)29.16	5)22.05

Vloei C - 8 draaie toe:(klep 2)

Waarneming: Na 2 min. by vloei C erodeer al die materiaal - foto 36.

Erosie lesing:	Kum. erosie:	Aparte erosie:
1)58.00	1)50	1)30.13
2)56.10	2)50	2)10.20
3)57.72	3)50	3)13.60
4)56.47	4)50	4)34.10*
5)56.34	5)50	5)14.50

* - Uitskietewaarde

Toets 8.2 (22% - Culbond - 1 uur versadig)

Mengsel :23% klei
Datum gemaak :11/2/92
Datum oettoets:19/2/92
Tipe toets :Nat

Lesings voor :	
1)5.66	
2)6.10	
3)5.38	
4)6.91	
5)6.23	

Vloei A - 2 draaie oop:(klep 1)

Waarneming: Erosiestrepe parallel met watervloei.

Erosie lesing:	Kumulatiewe/aparte erosie:
1)8.37	1)2.71
2)8.09	2)1.99
3)8.82	3)3.44*
4)8.84	4)1.93
5)8.34	5)2.11

Vloei B - vol oop: (klep 1)

Waarneming: A.g.v. turbulensie begin erosie by stroomafkant.

Erosie lesing:	Kum. erosie:	Aparte erosie:
1)14.40	1)8.74	1)6.03
2)11.88	2)5.78	2)3.79
3)15.11	3)9.73	3)6.29
4)11.10	4)4.19*	4)2.26*
5)11.54	5)5.31	5)3.20

Vloei C - 8 draaie toe:(klep 2)

Waarneming: Erosie hol monster uit. Erosieprofiel.

Erosie lesing:	Kum. erosie:	Aparte erosie:
1)16.34	1)10.68	1)1.94
2)36.67	2)30.57	2)24.79*
3)35.18	3)29.80	3)20.07
4)13.88	4)6.97*	4)2.78
5)30.31	5)24.08	5)6.23

* - Uitskietewaarde

Toets 8.3 (30% - Culbond - 1 uur versadig)

Mengsel :30% klei
Datum gemaak :11/2/92
Datum oettoets:13/2/92
Tipe toets :Nat

Lesings voor :	
1)5.97	
2)4.18	
3)6.47	
4)6.30	
5)4.36	

Vloei A - 2 draaie oop:(klep 1)

Waarneming: Erosiestrepe en gate a.g.v. watervloei.

Erosie lesing:	Kumulatiewe/aparte erosie:
1)7.23	1)1.26
2)6.90	2)2.72*
3)7.17	3)0.70
4)7.78	4)0.48
5)6.00	5)1.64

Vloei B - vol oop: (klep 1)

Waarneming: Turbulensie veroorsaak gate. Foto van profiel.

Erosie lesing:	Kum. erosie:	Aparte erosie:
1)11.81	1)5.84	1)3.87
2)8.70	2)4.52	2)1.90*
3)11.84	3)5.37	3)4.67
4)13.83	4)7.53	4)7.05
5)13.85	5)9.49*	5)7.35

Vloei C - 8 draaie toe:(klep 2)

Waarneming: Werwels vorm by stroomafkant. Veroorsaak meer erosie .

Erosie lesing:	Kum. erosie:	Aparte erosie:
1)17.56	1)11.59*	1)5.75
2)26.00	2)21.82	2)17.30
3)28.46	3)21.99	3)16.62
4)18.00	4)11.70	4)4.17*
5)26.00	5)21.64	5)12.15

* - Uitskietewaarde

Toets 8.4 (40% - Culbond - 1 uur versadig)

Mengsel :40% klei
Datum gemaak :22/1/92
Datum oettoets:18/3/92
Tipe toets :Nat (vervoig)
Indekstoetse: Penetrasie: 2.4 kg/cm²
Boor (20) : 20.6 mm

Lesings voor :	
1)6.90	
2)6.51	
3)6.82	
4)6.37	
5)5.52	

Vloei A - 2 draaie oop:(klep 1)

Waarneming: Erosiestrepe. Meer erosie by LF en RF. Oopslingsgate.

Erosie lesing:	Kumulatiewe/aparte erosie:
1)13.46	1)6.56
2)12.95	2)6.44
3)9.34	3)2.52*
4)9.45	4)3.08
5)9.84	5)4.32

2 TOETS 5.2 (9,5 mm)

Mengsel : 15% klei
Datum getoets: 6/11/91
Aggregaat : 9,5 mm
Hoeveelheid : 1/4 AGG. + 3/4 grond
Datum gemaak : 31/10/91

Vyf lesings is voor en na elke toets op 'n verplasmingsmeter geneem om die erosietempo vas te stel.

Lesings voor die toets begin is:

1. 55,1
2. 36,4
3. 38,7
4. 36,1
5. 37,0

Vloei A (0-20 min)

V = 1,5 m/s - 2,7 m/s

Die aggregaat veroorsaak dat skuring om die aggregaat plaasvind en dat dit mettertyd uitgevreet word.

Lesing na 20 min:

1. 42,5
2. 41,0
3. 35,3
4. 39,5
5. 38,5

Vloei B (20 - 40 min)

V = 2,5 m/s - 3,5 m/s

Daar vind nie baie meer erosie as by vloei A plaas nie.

Erosie konsentreer by stroomop kant. Skuring vind plaas om die aggregaat.

Lesings na 40 min:

1. 49,1
2. 40,1
3. 37,6
4. 38,1
5. 37,5

Vloei C (40 - 60 min)

V = 3,3 m/s - 4,4 m/s

Geen dramatiese erosie vind plaas nie.

Lesings na 60 min:

1. 49,5
2. 49,2
3. 37,6
4. 46,0
5. 50,4

3 TOETS 5.3 (13,2 mm)

Mengsel : 15% klei
Datum getoets: 8/11/91
Aggregaat : 13,2 mm
Hoeveelheid : 1/4 AGG. + 3/4 grond
Datum gemaak : 31/10/91

Vyf lesings is voor en na elke toets op 'n verplasmingsmeter geneem sodat die erosietempo vasgestel kan word.

Lesings voor die toets begin is:

1. 38,0
2. 37,7
3. 37,8
4. 34,6
5. 35,8

Vloei A (0-20 min)

V = 1,5 m/s - 2,7 m/s

Middelmatige erosie vind plaas.

Lesings na 20 min:

1. 38,0
2. 42,1
3. 41,4
4. 34,6
5. 38,8

Vloei B (20 - 40 min)

V = 2,5 m/s - 3,5 m/s

Skuring om aggregaat vind plaas. Nie meer erosie as by vloei A nie.

Lesings na 40 min:

1. 37,9
2. 44,3
3. 41,4
4. 40,9
5. 38,8

Vloei C (40 - 60 min)

V = 3,3 m/s - 4,4 m/s

Erosie vind wei plaas na 60 minute.

Lesings na 60 min:

1. 52,4
2. 49,1
3. 55,0
4. 41,4
5. 45,0

4 TOETS 5.4 (19,0 mm)

Mengsel : 23% klei
Datum getoets 13/11/91
Aggregaat : 19,0 mm
Hoeveelheid : 1/4 AGG. + 3/4 grond
Datum gemaak : 1/11/91

Lesings voor die toets begin is:

1. 24,4
2. 24,5
3. 25,5
4. 28,9
5. 28,4

Die gladde oppervlak van die monster is met 'n staalborsel rof gemaak sodat die aggregaat uitstaan en meer erosie veroorsaak.

Met hierdie toets is twee metodes gebruik om die watersnuiheid te bepaal. Die stuwal metode en die vloeiometer metode is gebruik. Die waardes tussen die twee metodes verskil baie en 'n gemiddelde van die waardes is geneem.

Vloei A (0 - 20 min)

V = 1,5 m/s - 2,7 m/s (Stuwal = 1,52 m/s; Vloeiometer = 3,5 m/s - foutief)

Erosiekonsentrasiepunte ontwikkel waar daar holtes of "knakpunte" is. (Dit is waar aggregaat uitstaan om erosie te versnel). Die water lig die monster op.

Lesings na 20 min:

1. 24,5
2. 24,5
3. 25,5
4. 28,9
5. 28,4

Vloei B - vol oop: (klep 1)

Waarneming: Hol monster uit. Meer erosie by stroomafkant.

Erosie lesing:	Kum. erosie:	Aparte erosie:
1)19,38	1)12,48	1)5,92
2)25,27	2)18,76	2)12,32
3)27,48	3)20,66	3)18,14*
4)14,66	4)8,29*	4)5,21
5)20,54	5)15,02	5)10,7

Vloei C - 8 draaie toe: (klep 2)

Waarneming: Na 7 min. breek 'n stuk van die monster uit. Monster was waarskynlik swakker a.g.v. die lang staan periode.

Erosie lesing:	Kum. erosie:	Aparte erosie:
1)24,10	1)17,20	1)4,72
2)56,51	2)50,00*	2)31,24
3)34,46	3)27,64	3)6,98
4)16,12	4)9,75	4)1,46
5)55,52	5)50,00	5)34,98*

* - Uitskoeterwaarde

Toets 8.5 (60% - Guitund - 1 uur versadig)

Mengsel :60% klei	Indekstoefse:
Datum gemaak :23/8/91	Penetrasie: 3,2 kg/cm ²
Datum getoets :18/3/92	Boor (20) : 8,88 mm
Tipe toets :Nat	

Lesings voor :	1)4,42
	2)5,08
	3)4,24
	4)4,67
	5)4,48

Vloei A - 2 draaie oop: (klep 1)

Waarneming: Erosiestrepe parallel met vloei.

Erosie lesing:	Kumulatiewe/aparte erosie:
1)14,09	1)9,67
2)11,50	2)6,42
3)15,06	3)10,82*
4)11,30	4)6,63
5)11,60	5)7,12

Vloei B - vol oop: (klep 1)

Waarneming: Erosie hol die monster uit.

Erosie lesing:	Kum. erosie:	Aparte erosie:
1)16,60	1)12,18	1)2,51
2)20,05	2)14,97	2)8,55*
3)22,62	3)18,38*	3)7,56
4)13,56	4)8,89	4)2,26
5)19,48	5)15,00	5)7,88

Vloei C - 8 draaie toe: (klep 2)

Waarneming: Meer erosie by afrit a.g.v. werwels.

Erosie lesing:	Kum. erosie:	Aparte erosie:
1)21,07	1)16,65	1)4,47
2)48,95	2)43,87*	2)28,90*
3)35,75	3)31,51	3)13,13
4)17,69	4)13,02	4)4,13
5)40,72	5)38,24	5)21,24

* - Uitskoeterwaarde

TOETS 9

Toets 9.1 (15% - Kaolin)

Mengsel :15% klei-kaolin
Datum gemaak :03/3/92
Datum getoets:10/3/92
Tipe toets :Droog

Lesings voor :	1)6,84
	2)5,23
	3)6,11
	4)6,72
	5)5,64

Vloei A - 2 draaie oop: (klep 1)

Waarneming: Erosie begin by stroomafkant en wrik retrogressief terug. Erosie is sporadies. Na 15 min. het feitlik alles erodeer en na 17 min. het alles erodeer.

Toets 9.2 (23% - Kaolin)

Mengsel :23% klei
Datum gemaak :03/3/92
Datum getoets:10/3/92
Tipe toets :Droog

Lesings voor :	1)6,65
	2)5,54
	3)5,95
	4)6,00
	5)4,65

Vloei A - 2 draaie oop: (klep 1)

Waarneming: Na 15 min. in vloei A het alles erodeer.

Toets 9.3 (30% - Kaolin)

Mengsel :30% klei
Datum gemaak :03/3/92
Datum getoets:10/3/92
Tipe toets :Droog

Lesings voor :	1)6,75
	2)5,39
	3)6,03
	4)6,36
	5)5,15

Vloei A - 2 draaie oop: (klep 1)

Waarneming: Erosie vind plaas na 3 min. Na 7 min. het baie erosie al plaasgevind. Na 12 min. het byna die hele monster erodeer. Alles erodeer tussen 12 tot 17 min.

Toets 9.4 (40% - Kaolin)

Mengsel :40% klei
Datum gemaak :03/3/92
Datum getoets:10/3/92
Tipe toets :Droog

Lesings voor :	1)6,43
	2)5,60
	3)5,90
	4)6,38
	5)5,92

Vloei A - 2 draaie oop: (klep 1)

Waarneming: Na 2 min. begin erosie plaasvind by kontak tussen monster en afrit. Onderstaande sketse dui die erosieprofiel na 5 en 12 min. onderskeidelik aan. Na 17 min. erodeer feitlik alles. Die hele monster erodeer tussen 18 en 19 min.

Toets 9.5 (60% - Kaolin)

Menasele :60% klei
Datum gemaak :03/3/92
Datum getoets:10/3/92
Tipe toets :Oroog

Lesings voor : 1)5.73
2)4.50
3)5.28
4)5.93
5)5.15

Vloei A - 2 draais oop:(klep 1)

Waarneming: Na 4 min. vind kleinskaalse erosie plaas. Turbulensie en eddies veroorsaak skeur by stroomafpount of by kontak en 'n holte by stroomopunt soos in die skets en foto 7 aangedui.

<u>Erosie lesing:</u>	<u>Kumulatiewe/abarte erosie:</u>
1)23,51	1)17,78
2)50,00	2)45,50*
3)37,02	3)31,74
4)20,44	4)14,51
5)46,40	5)41,25

Vloei B - vol oop: (klep 1)

Waarneming: Na 2 min. in vloei B erodeer die heie monster.

TOETS 10

Toets 10.1

Menasele :15% Culbond Datum getoets :25/3/92
Tipe toets :8 ure Hoogte oor meetplaat:26 mm
Drumpoerwaarde:2,4 m/sek.

Lesing voor: 1:6.31
2:5.81
3:6.30
4:6.40
5:5.83

<u>Na 1 uur:</u>	<u>Erosie:</u>
1:10,66	1:4,35
2:9,75	2:3,94
3:7,22	3:0,92*
4:11,90	4:5,50
5:10,94	5:5,11

Waarneming: Erosie vind al plaas. Oplossingsgate en erosiestrepe

<u>Na 2 ure:</u>	<u>Erosie:</u>
1:16,02	1:9,71
2:12,04	2:6,23
3:8,67	3:2,37*
4:14,68	4:8,28
5:13,97	5:8,14

Waarneming: Groter gate a.g.v. turbulensie.

<u>Na 4 ure:</u>	<u>Erosie:</u>
1:19,0	1:12,69
2:17,10	2:11,29
3:27,0	3:20,70*
4:16,61	4:10,21
5:17,35	5:11,52

Waarneming: Erosiestrepe weg. Turbulensie.

Na 6 ure:

<u>Na 6 ure:</u>	<u>Erosie:</u>
1:22,56	1:16,25
2:29,90	2:24,09
3:34,82	3:28,52*
4:18,0	4:11,60
5:21,26	5:15,43

Waarneming: Erosie by afrit. Werwels hol monster uit.

Na 8 ure:

<u>Na 8 ure:</u>	<u>Erosie:</u>
1:26,40	1:20,09
2:40,48	2:34,67
3:38,25	3:31,95
4:20,65	4:14,25*
5:26,65	5:20,82

Waarneming: Erosie hol monster uit. Meer erosie stroomaf.

* Uitskietwaarde

Toets 10.2

Menasele :23% Culbond Datum getoets :9/4/92
Tipe toets :8 ure Hoogte oor meetplaat:30 mm
Drumpoerwaarde:3,0 m/sek.

Lesing voor: 1:5,71
2:6,51
3:5,94
4:5,70
5:6,21

Na 2 ure:

<u>Na 2 ure:</u>	<u>Erosie:</u>
1:10,46	1:4,75
2:8,70	2:2,19
3:9,43	3:3,49
4:12,53	4:6,63*
5:9,42	5:3,21

Waarneming: Erosiestrepe parallel aan vloei.

Na 4 ure:

<u>Na 4 ure:</u>	<u>Erosie:</u>
1:13,04	1:7,33
2:9,80	2:3,29*
3:11,52	3:5,58
4:13,35	4:7,65
5:11,70	5:5,49

Na 6 ure:

<u>Na 6 ure:</u>	<u>Erosie:</u>
1:14,66	1:8,95
2:10,16	2:3,65*
3:13,00	3:7,00
4:14,70	4:9,0
5:12,20	5:5,99

Na 8 ure:

<u>Na 8 ure:</u>	<u>Erosie:</u>
1:15,67	1:9,96
2:11,28	2:4,77*
3:14,53	3:8,59
4:16,08	4:10,38
5:13,94	5:7,73

Waarneming: Erosie strepe en hol uit.

* Uitskietwaarde

Toets 10.3

Mengsel :40% Culbond Datum getoets :26/3/92
Tipe toets :8 ure Hoogte oor meetplaat:35 mm
Drumpelwaarde:3,8 m/sek.

Lesing voor: 1:6,31
2:6,65
3:6,36
4:5,90
5:6,20

<u>Na 1 uur:</u>	<u>Erosie:</u>
1:7,52	1:1,21
2:7,93	2:1,28
3:8,35	3:1,99*
4:7,57	4:1,67
5:7,70	5:1,50

Waarneming: Erosiestrepe parallel aan vloeiingting.

<u>Na 2 ure:</u>	<u>Erosie:</u>
1:8,76	1:2,45
2:8,28	2:1,63*
3:9,19	3:2,83
4:8,80	4:2,90
5:8,46	5:2,26

Waarneming: Strepe parallel met vloei.

<u>Na 4 ure:</u>	<u>Erosie:</u>
1:10,02	1:3,71
2:9,27	2:2,62*
3:9,55	3:3,19
4:9,29	4:3,39
5:9,97	5:3,77

Waarneming: Erosie begin by afrit.

<u>Na 6 ure:</u>	<u>Erosie:</u>
1:10,82	1:4,51
2:10,12	2:3,47*
3:11,02	3:4,66
4:10,68	4:4,78
5:10,67	5:4,47

Waarneming: Erosiestrepe parallel aan vloei. Werwels.

<u>Na 8 ure:</u>	<u>Erosie:</u>
1:11,75	1:5,44
2:11,25	2:4,60
3:12,60	3:6,24*
4:11,56	4:5,66
5:10,82	5:4,62

Waarneming: Min erosie vind plaas. Erosie hol monster uit. Geen erosiestrepe.

* Uitskietwaarde

Toets 10.4

Mengsel :60% Culbond Datum getoets :31/3/92
Tipe toets :8 ure Hoogte oor meetplaat:37 mm
Drumpelwaarde:4,1 m/sek.

Lesing voor: 1:6,33
2:5,65
3:5,84
4:5,95
5:5,05

<u>Na 2 ure:</u>	<u>Erosie:</u>
1:9,22	1:2,89
2:7,85	2:2,20
3:9,38	3:3,54
4:8,31	4:2,36
5:8,80	5:3,75*

Waarneming: Erosiestrepe parallel met watervloei rigting.

<u>Na 8 ure:</u>	<u>Erosie:</u>
1:16,00	1:9,67
2:19,00	2:13,35
3:25,00	3:19,16
4:8,43	4:2,48*
5:15,00	5:9,95

Waarneming: Erosie meer as by 40%

* Uitskietwaarde

Vloei B - vol oop: (klep 1)

Waarneming: Hol monster uit. Meer erosie by strooma/kant.

<u>Erosie lesing:</u>	<u>Kum. erosie:</u>	<u>Aparte erosie:</u>
1)19,38	1)12,48	1)5,92
2)25,27	2)18,76	2)12,32
3)27,48	3)20,58	3)18,14*
4)14,66	4)8,29*	4)5,21
5)20,54	5)15,02	5)10,7

Vloei C - 8 draaie toe:(klep 2)

Waarneming: Na 7 min. breek 'n stuk van die monster uit. Monster was waarskynlik swakker a.g.v. die lang staan periode.

<u>Erosie lesing:</u>	<u>Kum. erosie:</u>	<u>Aparte erosie:</u>
1)24,10	1)17,20	1)4,72
2)56,51	2)50,00*	2)31,24
3)34,46	3)27,64	3)6,98
4)16,12	4)9,75	4)1,46
5)55,52	5)50,00	5)34,98*

* - Uitsloeterwaarde

Toets 8.5 (80% - Cuibund - 1 uur versadig)

<u>Mengsel</u> :60% klei	<u>Indekstoets:</u>
<u>Datum gemaak</u> :23/8/91	Penetrasie: 3,2 kg/cm ²
<u>Datum getoets</u> :18/3/92	Boor (20) : 6,88 mm
<u>Tipe toets</u> :Nat	

<u>Lesings voor</u> :	1)4,42
	2)5,08
	3)4,24
	4)4,67
	5)4,48

Vloei A - 2 draaie oop:(klep 1)

Waarneming: Erosiestrepe parallel met vloei.

<u>Erosie lesing:</u>	<u>Kumulatiewe/aparte erosie:</u>
1)14,09	1)9,67
2)11,50	2)6,42
3)15,08	3)10,82*
4)11,30	4)6,63
5)11,60	5)7,12

Vloei B - vol oop: (klep 1)

Waarneming: Erosie hol die monster uit.

<u>Erosie lesing:</u>	<u>Kum. erosie:</u>	<u>Aparte erosie:</u>
1)16,60	1)12,18	1)2,51
2)20,05	2)14,97	2)8,55*
3)22,62	3)18,38*	3)7,56
4)13,56	4)8,89	4)2,26
5)19,48	5)15,00	5)7,88

Vloei C - 8 draaie toe:(klep 2)

Waarneming: Meer erosie by afnt a.g.v. werwels.

<u>Erosie lesing:</u>	<u>Kum. erosie:</u>	<u>Aparte erosie:</u>
1)21,07	1)16,65	1)4,47
2)48,95	2)43,87*	2)28,90*
3)35,75	3)31,51	3)13,13
4)17,69	4)13,02	4)4,13
5)40,72	5)36,24	5)21,24

* - Uitsloeterwaarde

TOETS 9

Toets 9.1 (15% - Kaolin)

<u>Mengsel</u> :15% klei-kaolin
<u>Datum gemaak</u> :03/3/92
<u>Datum getoets</u> :10/3/92
<u>Tipe toets</u> :Droog

<u>Lesings voor</u> :	1)6,84
	2)5,23
	3)6,11
	4)6,72
	5)5,64

Vloei A - 2 draaie oop:(klep 1)

Waarneming: Erosie begin by strooma/kant en werk retrogressief terug. Erosie is sporadies. Na 15 min. het feitlik alles erodeer en na 17 min. het alles erodeer.

Toets 9.2 (23% - Kaolin)

<u>Mengsel</u> :23% klei
<u>Datum gemaak</u> :03/3/92
<u>Datum getoets</u> :10/3/92
<u>Tipe toets</u> :Droog

<u>Lesings voor</u> :	1)6,65
	2)5,54
	3)5,95
	4)6,00
	5)4,65

Vloei A - 2 draaie oop:(klep 1)

Waarneming: Na 15 min. in vloei A het alles erodeer.

Toets 9.3 (30% - Kaolin)

<u>Mengsel</u> :30% klei
<u>Datum gemaak</u> :03/3/92
<u>Datum getoets</u> :10/3/92
<u>Tipe toets</u> :Droog

<u>Lesings voor</u> :	1)6,75
	2)5,39
	3)6,03
	4)6,38
	5)5,15

Vloei A - 2 draaie oop:(klep 1)

Waarneming: Erosie vind plaas na 3 min. Na 7 min. het baie erosie al plaasgevind. Na 12 min. het byna die hele monster erodeer. Alles erodeer tussen 12 tot 17 min.

Toets 9.4 (40% - Kaolin)

<u>Mengsel</u> :40% klei
<u>Datum gemaak</u> :03/3/92
<u>Datum getoets</u> :10/3/92
<u>Tipe toets</u> :Droog

<u>Lesings voor</u> :	1)6,43
	2)5,60
	3)5,90
	4)6,38
	5)5,92

Vloei A - 2 draaie oop:(klep 1)

Waarneming: Na 2 min. begin erosie plaasvind by kontak tussen monster en afnt. Onderstaande sketse dui die erosieprofiel na 5 en 12 min. onderskeideik aan. Na 17 min. erodeer feitlik alles. Die hele monster erodeer tussen 18 en 19 min.

Toets 9.5 (60% - Kaolin)

Menasei :60% klei
Datum oemaak :03/3/92
Datum getoets:10/3/92
Tipe toets :Droog

Lesinas voor : 1)5,73
2)4,50
3)5,28
4)5,93
5)5,15

Vloei A - 2 draais oop:(klep 1)

Waarneming: Na 4 min. vind kleinskaalse erosie plaas. Turbulensie en eddies veroorsaak skeur by stroomafpunt of by kontak en 'n hoite by stroomopunt soos in die skets en foto ? aangedui.

<u>Erosie lesing</u> :	<u>Kumulatiewe/aparte erosie</u> :
1)23,51	1)17,78
2)50,00	2)45,50*
3)37,02	3)31,74
4)20,44	4)14,51
5)46,40	5)41,25

Vloei B - vol oop: (klep 1)

Waarneming: Na 2 min. in vloei B erodeer die hele monster.

TOETS 10

Toets 10.1

Menasei :15% Culbond Datum getoets :25/3/92
Tipe toets :8 ure Hoogte oor meetplaat:26 mm
Drumpeelwaarde:2,4 m/sek.

Lesing voor: 1:6,31
2:5,81
3:6,30
4:6,40
5:5,83

<u>Na 1 uur</u> :	<u>Erosie</u> :
1:10,66	1:4,35
2:9,75	2:3,94
3:7,22	3:3,92*
4:11,90	4:5,50
5:10,94	5:5,11

Waarneming: Erosie vind al plaas. Oplossingsgate en erosiestrepe

<u>Na 2 ure</u> :	<u>Erosie</u> :
1:16,02	1:9,71
2:12,04	2:6,23
3:8,67	3:2,37*
4:14,68	4:8,28
5:13,97	5:8,14

Waarneming: Groter gate a.g.v. turbulensie.

<u>Na 4 ure</u> :	<u>Erosie</u> :
1:19,0	1:12,69
2:17,10	2:11,29
3:27,0	3:20,70*
4:16,61	4:10,21
5:17,35	5:11,52

Waarneming: Erosiestrepe weg. Turbulensie.

<u>Na 6 ure</u> :	<u>Erosie</u> :
1:22,56	1:16,25
2:29,90	2:24,09
3:34,82	3:28,52*
4:18,0	4:11,60
5:21,26	5:15,43

Waarneming: Erosie by afrnt. Wenweis hol monster uit.

<u>Na 8 ure</u> :	<u>Erosie</u> :
1:26,40	1:20,09
2:40,48	2:34,67
3:38,25	3:31,95
4:20,65	4:14,25*
5:26,65	5:20,82

Waarneming: Erosie hol monster uit. Meer erosie stroomaf.

* Uitskietewaarde

Toets 10.2

Menasei :23% Culbond Datum getoets :9/4/92
Tipe toets :8 ure Hoogte oor meetplaat:30 mm
Drumpeelwaarde:3,0 m/sek.

Lesing voor: 1:5,71
2:6,51
3:5,94
4:5,70
5:6,21

<u>Na 2 ure</u> :	<u>Erosie</u> :
1:10,46	1:4,75
2:8,70	2:2,19
3:9,43	3:3,49
4:12,53	4:6,83*
5:9,42	5:3,21

Waarneming: Erosiestrepe parallel aan vloei.

<u>Na 4 ure</u> :	<u>Erosie</u> :
1:13,04	1:7,33
2:9,80	2:3,29*
3:11,52	3:5,58
4:13,35	4:7,65
5:11,70	5:5,49

<u>Na 6 ure</u> :	<u>Erosie</u> :
1:14,66	1:8,95
2:10,16	2:3,65*
3:13,00	3:7,00
4:14,70	4:9,0
5:12,20	5:5,99

<u>Na 8 ure</u> :	<u>Erosie</u> :
1:15,67	1:9,96
2:11,28	2:4,77*
3:14,53	3:8,59
4:16,08	4:10,38
5:13,94	5:7,73

Waarneming: Erosie strepe en hol uit.

* Uitskietewaarde

Toets 10.3

Mengsel :40% Culbond Datum getoets :26/3/92
Tipe toets :8 ure Hoopte oor meetplaat:35 mm
Drumpelwaarde:3,8 m/sek.

Lesing voor: 1:6,31
2:6,65
3:6,36
4:5,90
5:6,20

<u>Na 1 uur:</u>	<u>Erosie:</u>
1:7,52	1:1,21
2:7,93	2:1,28
3:8,35	3:1,99*
4:7,57	4:1,67
5:7,70	5:1,50

Waarneming: Erosiestrepe parallel aan vloeiingting.

<u>Na 2 ure:</u>	<u>Erosie:</u>
1:8,76	1:2,45
2:8,28	2:1,63*
3:9,19	3:2,83
4:8,80	4:2,90
5:8,46	5:2,26

Waarneming: Strepe parallel met vloei.

<u>Na 4 ure:</u>	<u>Erosie:</u>
1:10,02	1:3,71
2:9,27	2:2,62*
3:9,55	3:3,19
4:9,29	4:3,39
5:9,97	5:3,77

Waarneming: Erosie begin by afrit.

<u>Na 6 ure:</u>	<u>Erosie:</u>
1:10,82	1:4,51
2:10,12	2:3,47*
3:11,02	3:4,66
4:10,68	4:4,78
5:10,67	5:4,47

Waarneming: Erosiestrepe parallel aan vloei. Wenwels.

<u>Na 8 ure:</u>	<u>Erosie:</u>
1:11,75	1:5,44
2:11,25	2:4,60
3:12,60	3:6,24*
4:11,56	4:5,66
5:10,82	5:4,62

Waarneming:Min erosie vind plaas. Erosie hol monster uit. Geen erosiestrepe.

* Uitskietewaarde

Toets 10.4

Mengsel :60% Culbond Datum getoets :31/3/92
Tipe toets :8 ure Hoopte oor meetplaat:37 mm
Drumpelwaarde:4,1 m/sek.

Lesing voor: 1:6,33
2:5,65
3:5,84
4:5,95
5:5,05

<u>Na 2 ure:</u>	<u>Erosie:</u>
1:9,22	1:2,89
2:7,85	2:2,20
3:9,38	3:3,54
4:8,31	4:2,36
5:8,80	5:3,75*

Waarneming: Erosiestrepe parallel met watervloei rigting.

<u>Na 8 ure:</u>	<u>Erosie:</u>
116,00	1:9,67
2:19,00	2:13,35
3:25,00	3:19,16
4:8,43	4:2,48*
5:15,00	5:9,95

Waarneming: Erosie meer as by 40%

* Uitskietewaarde

AANHANGSEL F

Beskrywing van erosiepunte en parameters vir Kirsten waarde (Kn) bepaling.

Beskrywing van naatstelle.

Toekenning van die $J_r \setminus J_a$ waarde by elke erosiepunt.

Nr	Darnaam	Gesteente	EAD MPa	Kirsten parameters					Kirsten (Kn)	φ	Erosie (m)	Beskrywing	
				Ms	RKW	Jn	Js	Jr/Ja					
1	Applethwaitedam	E1: SST/kwa.t. 20m stroomaf van brug.	100	70	60	4.09	0.63	1.0	647	45	Matig	Die water loop 0.73m oor kruin van oorloop. 3-5m/sek.	
2	Bellairdam	E1: Mod-sliksteen. 120m stroomaf.	150	140	70 ✓	2.73 ✓	0.63	0.52	1 176	27	Geen 0.2m	Los bogrond (Ms = >0.1) het 1-2m erodeer. 0.2m erosie	32,4
		E2: Sliksteen. 170m stroomaf.	20	17.7	5	2.73	0.56	0.7	14	35	Matig 1m	Lae vloel. Foliasie van gesteente in berekening gebring.	<0,1
3	Bridle Drifdam	E1: Doleriet. Op 50m lyn op kaart.	200	140	80 ✓	5.0 ✓	0.49	0.86	944	41	Min-geen	Skietmerke. Plek-plek nate gevul met beton.	2,1
		E2: Doleriet. 130-160m stroomaf by versk.	110	140	50 ✓	5.0 ✓	1.0	0.78	1 092	38	Matig 1-2m	Meer genaat en willekeurige nate. Rots meer verweerd.	15,7
		E3: Vw.doleriet. 320m strmaf by waterval	20	17.7	15 ✓	4.09 ✓	1.0	0.51	33	27	Baie 5m	Baie swak gebreksieerde materiaal het erodeer.	3
4	Cragie Burdam	E1: Doleriet. Regs in skort.	200	140	50 ✓	3.34 ✓	0.72	0.75	1 132	36	Matig 0.5-1m	Rots in RF is nou vasgeanker en nata is gesementeer.	23,8
5	Floriskraaldam	E1: Tilliet. 50m stroomaf v.hulpwal.	180	140	65 ✓	3.34 ✓	1.0	0.84	2 289	40	Matig 1-2m	Harde rots. Verwering laat rots opbreek.	23,1
		E2: Tilliet. In LF van oorloop.	106	70	50 ✓	4.09 ✓	0.8	0.47	322	25	Matig 2m	Begin van sferiodale verwering. Nat en droog siklusse.	10,7
6	Gamkapoordam	E1: Kwart.SST. Onder laer skoop.	212	140	45 ✓	3.34 ✓	0.57	0.48	538	26	Baie 2.5m	Laagvlakke ongunstig oriënteer. Maalaksie.	14
7	Goedertrouwdam	E1: Tilliet. 20m stroomaf v wip, blok 4	40	35	85	4.09	0.70	0.56	285	29	Matig 1m	Boonste mat verweer. Dieper af materiaal meer intak.	10,7
		E2: Tilliet. naby blykke 9,10,13.	26	35	5	3.34	0.72	0.75	28	37	Baie 3m	Hoogs verweerde tilliet. Los grond bo.	<0,1
		E3: Tilliet. By punt 20. 60m strmaf v brug.	106	70	90	4.09	1.0	0.58	893	30	Min-Geen	Rots wat oorgebly het na 'n vloed. Intakte rots.	110
		E4: Tilliet. 50m strmaf van brug in LF.	40	35	25	5.0	0.68	0.50	60	30	Baie 4m	Indikasie van tipe materiaal wat erodeer het.	
8	Hans Strydomdam	E1: Kwart.SST. 82m strmaf van struktuur.	200	140	85	3.34	0.81	0.94	2 713	43	Min. 0.5m	Harde rots. Skietskade.	
		E2: Kwart.SST+ skalie. By C7 Versk. sone	100	70	25	5.0	0.71	0.74	183	36	Baie 8m	Gebreksieerde rots in verskewing sone. Klein rotsblokke.	
		E3: Kw.SST + SST + skalie. 60m strmaf v.C7	40	35	25	4.09	0.71	0.57	87	30	Baie 5m	In skeursone. Gel. gevul met 20cm sagte mat (mat. erodeer: het)	
		E4: Kwart.SST. Op lyn 18.	70	70	80	4.09	0.71	0.58	564	30	Geen 0.2m	Harde rots. Gebreek deur skietwerk.	
		E5: Dertritus. Onder D7	-	-	-	-	-	-	0.10	-	Baie 8m	Heuningkoek konkresie. 2.5m diep en 2-3m breed. In skiksone	
9	Hartebeespoorddam	E1: Kwart./SST. Tussen 1 en P op kt(17°)	20	17.7	50	3.34	1.2	1.24	394	51	Matig 1m	Boonste oppervlak materiaal is verwyder. Harde rots onder.	
		E2: Kwart./SST RF. In kanaal 2 (28°)	100	70	55	3.34	1.2	1.0	1 383	45	Matig 1m	Harde rots. Boonste laag het erodeer.	
10	Kammanassiedam	E1: SST/mod/slikstn.LF naby punt 9 kaart	120	140	5.0	5.0	1.33	0.76	142	37	Min 0.5m	Rots is hard. Intens genaat tot gebreksieerd.	
		E2: SST/mod/slikstn.20m strmaf van pad	150	140	85	2.73	0.63	0.56	1 538	29	Min-geen	Harde intakte rots op vloelyn.	
		E3: SST/mod/slikstn.Onder in oorloop.	26	35	5.0	3.34	1.0	0.36	19	20	Baie 3-5m	Rots is verweer en sagter. Oop nate en los rotsblokke.	

Nr	Damnaam	Ger.teente	EAD mPa	Kirsten parameters					Kirsten (Kn)	φ	Erosie (m)	Beskrywing
				Ms	RKW	Jn	Js	Jr/Ja				
11	Katrivierdam	E1: Doleriet. 14m stroomaf van wal.	200	140	70	4.0	0.63	0.70	1 080	35	Matig ± 1m	Los opp.materiaal. Sferiodale verwerking in berekening gebring.
		E2: Doleriet. 50m stroomaf van wal.	200	140	80	5.0	0.72	0.82	1 322	40	Min 0.5m	Meer Intakte materiaal as E1. Die rots is hard. Geen sf. verw.
12	Klipfontein dam	E1: Doleriet. 32m strmaf v.punt 1 op krt 2°	212	140	85	3.34	0.72	0.80	2 052	39	Min-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 2m	Sferiodale verw. Sagte materiaal tussen harde rots erodeer.
		E3: Verw. doleriet. By a v. S3 op krt 23°	20	17.7	5.0	5.0	0.72	0.82	10	39	Baie 3m	Sferiodale verw. 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	Min 0.2m	Skietmerke dui aan rots is hard. Sag plek-plek en skilfer af.
13	Marico Bosvelddam	E1: Kwartsiet. In diep sloot.	70	70	20	5.0	0.84	1.0	235	45	Matig ± 1m	Materiaal wat erosie weerstaan 100m stroomaf van boog.
		E2: Kwartsiet. Knop - Ekstrapoleer.	100	70	35	4.0	0.49	1.86	558	62	Matig 1-2m	Knop van swak materiaal is ekstrapoleer na waar erosie is.
		E3: Kwartsiet. Langs knop - hard.	180	140	90	3.34	0.67	1.88	4 752	62	Min-geen	Blok langs knop. Harde rots. Nate toe.
		E4: Diabaas. Verweerde materiaal.	0.1	0.04	-	-	-	-	0.04	-	Baie 4-5m	Hoogs verweerde diabaas stroomaf van walleltjie.
14	Mzikidam	E1: Tuff. Diep sone 20m strmaf	1.7	0.87	-	-	-	-	0.87	-	Baie 4m	Swak materiaal. Skraap los met hamer punt.
		E2: Vulkaanas of tuff. 2m stroomaf.	15	17.7	25	3.34	0.5	0.82	54	39	Matig 1m	Harde materiaal. Nate moeilik identifiseerbaar.
15	Prinsrivierdam	E1: Mod/sliksteen. Regs van punt 3.	26	17.7	15	3.34	0.71	0.84	47	40	Baie 1.5-2.5m	Rots is sag. Antiklien. Dele is sterker. Fe oksied lae.
		E2: Mod/sliksteen. By punt 12 op kaart.	30	35	5.0	3.34	1.2	0.73	46	36	Matig 1m	Oriëntasie is ongunstig t.o.v. waterMoel. Fe oksied laag.
		E3: Mod/sliksteen. By punt 18 op kaart.	50	35	5.0	3.34	0.99	0.73	38	36	Baie 6m	Sagte materiaal. Geen harde Fe oksied laag bo.
16	Roodeplaatdam	E1: Felsiet. Hoër tegn LF - swak sone.	70	70	5.0	3.34	1.2	1.5	189	56	Min-matig	Gebreksleerde sone (<Ms). Waarde hoër a.g.v. sementasie.
		E2: Felsiet. Laer tegn LF - goeie rots.	200	140	95	3.34	0.72	1.2	3 440	50	Geen	Spannings verligting nate. Harde intrusiewe rots.
17	Tuinroetedam	E1: Kaaimans skis. 5m strmaf v. meetwal.	15	17.7	40	4.09	0.6	0.73	76	36	Matig 1m	Die boonste swak materiaal het erodeer. Sterker rots bly oor.
18	Wagendriftdam	E1: Skalie/modstn. 20m stroomaf - regs.	150	140	10	3.34	1.0	0.46	192	25	Matig 1.5m	Intens genaat. < rotsblokke in skalie. Skort is belyn.

Damnaam	Punt	Naatstel	Spas (m)	N/m	Skeiding (m)	Jr	Ja	Jr/Ja	Cj
Applethwaitedam	E1	—	—	—	—	1.0	1.0	1.0	—
Bellairdam	E1	1 =	0.3	3.3	0.005	3.0	4.0	0,75	400
		2	0.2	5.0	0.002	1.5	4.0		400
		3 ⊥	0.2	5.0	0.005	1.5	3.0	0,5	500
		Jc = 13							0.52
Bellairdam	E2	1 =	0.1	10.0	0.002	1.5	4.0	0,38	200
		2	0.2	5.0	0.002	1.5	0.75		300
		3 ⊥	0.01	100	0.001	4.0	6.0	0,67	200
		Jc = 115							0.7
Bridle Driftdam	E1	1 =	1.0	1.0	0.005	3.0	4.0	0,75	400
		2 ⊥	0.5	2.0	0.002	2.0	3.0		0,67
		3	0.5	2.0	0.005	1.5	4.0	1,3	
		4 †	0.2	5.0	0.002	4.0	3.0		200
		5 //	1.0	1.0	0.001	1.5	3.0	0,5	200
		Jc = 11.0							0.86
Bridle Driftdam	E2	1 =	0.5	2.0	0.002	3.0	4.0	0,75	500
		2	0.5	2.0	0.03	1.5	6.0		200
		3 ⊥	0.2	5.0	0.02	3.0	6.0	0,5	200
		4 //	1.0	1.0	0.005	3.0	3.0		400
		5 †	0.1	10.0	0.002	4.0	4.0	1	200
		Jc = 20.0							0.78
Bridle Driftdam	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
		Jc = 30.0							0.51
Craigie Burndam	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	0.00?	3.0	3.0		400
		4 √	0.2	5.0	0.001	4.0	2.0		500
		Jc = 15.0							0.75

2,24 32,4

5 < 0,1

1,83 41,0

3,34 15,7

>5 3

2,73 23,8

= Gelaagdheid

// Skuins nate (\ is ook skuins in ander rigting

| Nate parallel aan watervloei rigting

√ Willekeurige nate

⊥ Nate loodreg op watervloei rigting

->/ Nate hel teen vloei rigting

☒ Gesteente wat skisagtig is

->\ Nate hel saam met vloei rigting

Damnaam	Punt	Naatstel	Spas. (m)	N/m	Skeiding (m)	Jr	Ja	Jr/Ja	Cj
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
		Jc = 15.0			0.84				
								2,73	23,8
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		—
		Jc = 18.7			0.47				
								3,34	15,7
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
		Jc = 20.3			0.48				
								3,8	14
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
		Jc = 9.0			0.56				
								1,22	69,7
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
		Jc = 107.0			0.75				
								5	<0,1
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
		Jc = 7.0			0.58				
								1,1	110

= Geiaagdheid

// Skuins nate (\\) is ook skuins in ander rigting

| Nate parallel aan watervloei rigting

√ Willekeurige nate

⊥ Nate loodreg op watervloei rigting

→/ Nate hel teen vloeirigting

☐ Gesteente wat skisagtig is

→\ Nate hel saam met vloeirigting

Damnaam	Punt	Naatstel	Spas. (m)	N/m	Skeiding (m)	Jr	Ja	Jr/Ja	Cj
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
		Jc = 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
		Jc = 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
		Jc = 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
		Jc = 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
		Jc = 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
		20.0							1.24

= Gelaagdheid

// Skuins nate (\\ is ook skuins in ander rigting

| Nate parallel aan watervloei rigting

√ Willekeurige nate

⊥ Nate loodreg op watervloei rigting

->/ Nate hel teen vloei rigting

Gesteente wat skisagtig is

->\ Nate hel saam met vloei rigting

Damnaam	Punt	Naatstel	Spas. (m)	N/m	Skeiding (m)	Jr	Ja	Jr/Ja	Cj
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
		Jc = 18							
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
		Jc = 37							
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
		Jc = 9							
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
		Jc = 33							
Katrivierdam	E1	1 =	0.5	2.0	0.005	3.0	4.0	0.94	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 √	0.1	10.0	0.001	4.0	4.0		400
		Jc = 14							
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	0.6	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
		Jc = 11							

= Gelaagtheid

| Nate parallel aan watervloei rigting

⊥ Nate loodreg op watervloei rigting

☒ Gesteente wat skisagtig is

// Skuins nate (\\ is ook skuins in ander rigting

√ Willekeurige nate

->/ Nate hel teen vloei rigting

->\\ Nate hel saam met vloei rigting

Damnaam	Punt	Naatstel	Spas. (m)	N/m	Skeiding (m)	Jr	Ja	Jr/Ja	Cj
Klipfonteindam	E1	1 //	0.5	2.0	0.002	2.0	4.0	0.8	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
		Jc = 9							
Klipfonteindam	E2	1 ⊥	0.3	3.0	0.005	2.0	4.0	0.9	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
		Jc = 26							
Klipfonteindam	E3	1 ⊥	0.5	2.0	0.005	2.0	3.0	0.82	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
		Jc = 37							
Klipfonteindam	E4	1 //	0.3	3.3	0.001	2.0	3.0	0.85	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
		Jc = 10							
Marico Bosvelddam	E1	1 =	0.5	2.0	0.005	--	--	1.0	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
		Jc = 29							

= Gelaagdheid

// Skuins nate (\\ is ook skuins in ander rigting

| Nate parallel aan watervloei rigting

√ Willekeurige nate

⊥ Nate loodreg op watervloei rigting

--/ Nate hel saam met vloei rigting

☒ Gesteente wat skisagtig is

--\ Nate hel teen vloei rigting

Damnaam	Punt	Naatstei	Spas. (m)	N/m	Skeiding (m)	Jr	Ja	Jr/Ja	Cj
Marico Bosvelddam (ver.)	E2	1 =	0.2	5.0	0.01	3.0	6.0		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
			25.0						1.86
Marico Bosvelddam	E3	1 =	0.2	5.0	0.001	1.5	1.0		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
			8.0						1.88
Marico Bosvelddam	E4								
Mzikidam	E1								
Mzikidam	E2	1 =	1.0	1.0	0.01	3.0	6.0		--
		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		--
			27.6						0.82
Prinsrivierdam	E1	1	0.2	5.0	0.005	1.5	4.0		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
			31.0						0.84
Prinsrivierdam	E2	1 =	0.2	5.0	0.005	3.0	4.0		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
			120						0.733
Prinsrivierdam	E3	1 =	0.2	5.0	0.005	3.0	4.0		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
			120						0.733

= Gelaagdheid

// Skuins nate (\\ is ook skuins in ander rigting

| Nate parallel aan watervloei rigting

√ Willekeurige nate

⊥ Nate loodreg op watervloei rigting

->/ Nate hel teen vloei rigting

☼ Gesteente wat skisagtig is

->\\ Nate hel saam met vloei rigting

Damnaam	Punt	Naatstel	Spas. (m)	N/m	Skeiding (m)	Jr	Ja	Jr/Ja	Cj
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
				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		
									1.2
Tuinroetedam	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
				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
				32.0					0.46

= Gelaagtheid

// Skuins nate (\\ is ook skuins in ander rigting

| Nate parallel aan watervloei rigting

√ Willekeurige nate

⊥ Nate loodreg op watervloei rigting

->/ Nate hel teen vloei rigting

☒ Gesteente wat skisagtig is

->\ Nate hel saam met vloei rigting

AANHANGSEL G

Vloei berekeninge vir erosiepunte waar die totale vloei opgebreek word.

Vloei berekeninge

Floriskraaldam

Water vloei Q_T	= 4 620 m ³ /sek.
Waterhoogte oor NOK	= 3,5 m
Waterhoogte oor oorloop	= 7,5 m
Kruinlengte totaal	= 185 m
Hulpwal lengte	= 62 m
Oorloop kruin lengte	= 61 m
Kruinlengte - hulpwal	= 123 m

AREA:

Kruin	123 * 3,5 = 431 m ²
Hulpwal	62 * 3,5 = 217 m ²
Oorloop	61 * 7,5 = 458 m ²
Totaal	= 1106 m ²

VLOEI:

Hulpwal	(217/1 106) * 4 620 = 906,5 m ³ /sek.
Oorloop	(458/1 106) * 4 620 = 1 913,2 m ³ /sek.

Goedertrouwdam

By Goedertrouwdam vloei 3/4 van die totale water by E1 en E2. By E3 en E4 vloei Q_T .

$$\text{Watervloei } Q_T = 590 \text{ m}^3/\text{sek.}$$

VLOEI:

E1	3/4 * 590 = 443 m ³ /sek.
E2	3/4 * 590 = 442,5 m ³ /sek.

Hans Strydomdam

Hier is slegs E1 nie blootgestel aan die totale vloei van water nie. By E1 vloei 3/4 van Q_T .

$$\text{Watervloei } Q_T = 82,3 \text{ m}^3/\text{sek.}$$

VLOEI:

$$E1 \quad 3/4 * 82,3 = 61,7 \text{ m}^3/\text{sek.}$$

Hartebeespoortdam

1/4 van die water vloei by E1 en 60 kumek vloei nie in een van die twee kanale nie.

$$\text{Watervloei } Q_T = 1 046 \text{ m}^3/\text{sek.}$$

VLOEI:

$$E1 \quad 1/4 * 1046 = 260 \text{ m}^3/\text{sek.}$$

DUS:

$$E2 \quad 1 046 - 260 - 60 = 726 \text{ m}^3/\text{sek.}$$

Kammanassiedam

By E3 is Q_T van 2 471 m³/sek. E1 en E2 het 3/4 van die vloei.

$$\text{Watervloei } Q_T = 2 471 \text{ m}^3/\text{sek.}$$

VLOEI:

E1	3/4 * 2 471 = 1 853,3 m ³ /sek.
E2	3/4 * 2 471 = 1 853,3 m ³ /sek.

Klipfonteindam

By E1, E2 en E3 vloei 3/4 van Q_T in die kanaal. By E4 vloei 1/4 van Q_T .

$$\text{Watervloei } Q_T = 980 \text{ m}^3/\text{sek.}$$

VLOEI:

E1, E2, E3	3/4 * 980 = 735 m ³ /sek.
E4	1/4 * 980 = 245 m ³ /sek.

Marico Bosvelddam

By E1 en E4 vloei 1/2 van Q_T . By E2 en E3 vloei Q_T .

$$\text{Watervloei } Q_T = 400 \text{ m}^3/\text{sek.}$$

VLOEI:

$$E1, E4 \quad 1/2 * 400 = 200 \text{ m}^3/\text{sek.}$$

Prinsrivierdam

Slegs E2 het 'n waarde 4/5 laer as Q_T a.g.v die sekondêre kanaal in die RF van die kanaal.

$$\text{Watervloei } Q_T = 1 030 \text{ m}^3/\text{sek.}$$

VLOEI:

$$E2 \quad 4/5 * 1 030 = 824 \text{ m}^3/\text{sek.}$$