

PARAMETERIDENTIFIKASIE EN MODELLERING VAN DIE SISHEN AKWIFEER

deur

**S.D. Lynch
F.D.I. Hodgson**

Navorsing deur die Instituut vir Grondwaterstudies,
in samewerking met die Departement van Waterwese,
onder kontrak met die Waternavorsingskommissie

November 1983

113/2/87

ISBN 0 86886 314 9

Stel 0 86886 316 5

INHOUDSOPGAWE

HOOFSTUK 1	INLEIDING	1
1.1	Doel van ondersoek	1
1.2	Lokaliiteit van gebied	2
1.3	Vorige werk	3
1.4	Bedankings	4
HOOFSTUK 2	GEOLOGIE	5
2.1	Inleiding	5
2.2	Die Griekwaland-Wes Opeenvolging	5
2.3	Kalahari-Formasie	7
2.4	Dolerietindringings	8
2.5	Struktuur	8
2.6	Karstontwikkeling	9
HOOFSTUK 3	HIDROLOGIE	10
HOOFSTUK 4	GEOHIDROLOGIE	13
4.1	Inleiding	13
4.2	Pomptempo's	13
4.3	Grondwatervlakke	16
HOOFSTUK 5	ONTWIKKELING VAN MODEL	29
5.1	Inleiding	29
5.2	Grondwatervloeiervergelyking	31
5.3	Eindige element-voorstelling	32
5.3.1	Matriksverwerkings	34
5.3.2	Randvoorwaardes	35
5.3.3	Randvloed-metode	35
5.3.4	Die optimale θ -metode	36
5.4	Die rekenaarprogram - invoer en uitvoer	37
5.4.1	Inleiding	37
5.4.2	Programstruktuur	37
5.5	Invoerdata	38

HOOFSTUK 6	KALIBRASIE VAN MODEL	46
6.1	Inleiding	46
6.2	Opstelling van eindige element-netwerk	47
6.3	Tydstapinkremente	50
6.4	Randvoorwaardes	53
6.5	Aanvangsvoorwaardes	56
6.6	Transmissiwiteits- en bergingswaardes	60
6.7	Voorspelling vir tydperk Junie 1979 tot Mei 1982	65
6.8	Simulasie van watervlakke vir periode 1972 - 1979	69
6.9	Sensitiwiteitsanalise	72
HOOFSTUK 7	MODELTOEPASSINGS	80
7.1	Inleiding	80
7.2	Voorspellings volgens mynuitleg 1	81
7.3	Voorspellings volgens mynuitleg 2	103
7.4	Toekomstige watervoorsiening	118
HOOFSTUK 8	GEVOLGTREKKINGS	123
HOOFSTUK 9	AANBEVELINGS	125
	VERWYSINGS	126
	BYLAE I	

LYS VAN FIGURE

2.1	Geologiese kaart van die Sishen-omgewing	6
3.1	Jaarlikse reëval in die Sishen-gebied	11
3.2	Westelike uitsig oor die oop groef in die Suidmyn-gebied	12
4.1	Enkele van die pompgate met pomptoeusting in die Heuwel 2-gebied	14
4.2	Totale pomptempo's in die Heuwel 2-gebied	15
4.3	Totale pomptempo's in die Noordmyn-gebied	17
4.4	Totale pomptempo's in die Kathu-gebied	18
4.5	Totale pomptempo's in die Khai Appel-gebied	19
4.6	Diagrammatiese voorstelling van die relatiewe onttrekkingstempo's in die Sishen-gebied	20
4.7	Watervlakkontoerkaart van die Sishen-gebied vir Januarie 1972 (volgens Smit)	21
4.8	Watervlakkontoerkaart van die Sishen-gebied vir Junie 1976 (volgens Dziembowski)	22
4.9	Watervlakkontoerkaart van die Sishen-gebied vir Julie 1977 (volgens Dziembowski)	23
4.10	Watervlakkontoerkaart van die Sishen-gebied vir Junie 1978 (volgens Dziembowski)	24
4.11	Watervlakkontoerkaart van die Sishen-gebied vir Junie 1979 (volgens Dziembowski)	25
4.12	Watervlakkontoerkaart van die Sishen-gebied vir Junie 1980 (volgens Dziembowski)	26
5.1	'n Vervormde isoparametriesse vierhoekige element in globale (x,y) en lokale (ξ, η) koördinate	33
5.2	Elementraakpunt-voorstelling	44
6.1	Eindige element-netwerk vir die Sishen-gebied	49
6.2	Grafiese voorstelling van die foutfaktor EPS teenoor die aanvangstyd	52
6.3	Grafiese voorstelling van die vermindering van die begintydstep indien 'n te groot begintydstep gespesifiseer word	54
6.4	Grafiese voorstelling van die verhouding tussen EPS en die relatiewe fout	55
6.5	Vergladde watervlakkontoere vir Junie 1979 wat as aanvangsvoorwaardes in die model gespesifiseer is	58
6.6	Watervlakkontoerkaart vir Junie 1979 van 'n gebied noordwes van die Noordmyn	59
6.7	Driedimensionale voorstelling van die watervlakke in die suidelike kompartement	61
6.8	Transmissiwiteitsverspreiding soos dit in die model gebruik is	63

6.9	Watervlakkontoerkaart van die Sishen-gebied vir Junie 1980 (volgens Dziembowski) . . .	66
6.10	Voorspelde watervlakkontoerkaart van die Sishen-gebied vir Junie 1980	67
6.11	Voorspelde watervlakkontoerkaart van die Sishen-gebied vir Mei 1982	68
6.12	Gesimuleerde watervlakke in die Suidmyn-gebied vir die periode 1972 tot 1979	71
6.13	Sensitiwiteitsanalise van die akwifereer by die Suidmyn	73
6.14	Sensitiwiteitsanalise van die akwifereer by die Noordmyn	74
6.15	Sensitiwiteitsanalise van die bergingskoëffisiënt en die aanvulling by die Suidmyn	77
6.16	Sensitiwiteitsanalise van die bergingskoëffisiënt en die aanvulling by die Noordmyn . . .	78
6.17	Sensitiwiteitsanalise van die bergingskoëffisiënt en die aanvulling in die gebied suid van Heuwel 2	79
7.1	Langtermynmynbou- en ontwateringsbeplanning vir 1981 tot 1990	83
7.2	Voorspelde watervlakdaling by die Suidmyn vir mynuitleg nr. 1	84
7.3	Voorspelde pomptempo's by Suidmyn vir mynuitleg nr. 1	85
7.4	Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn-gebied by node 122 vir mynuitleg nr. 1 . .	87
7.5	Voorspelde totale pomptempo's by die Noordmyn vir mynuitleg nr. 1	88
7.6	Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 123 vir mynuitleg nr. 1	90
7.7	Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 130 vir langtermynbeplanning nr. 1	91
7.8	Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 138 vir mynuitleg nr. 1	92
7.9	Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 142 vir mynuitleg nr. 1	93
7.10	Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 151 vir mynuitleg nr. 1	94
7.11	Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 161 vir mynuitleg nr. 1	95
7.12	Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 122 indien pompe op 'n rotasie- basis afgeskakel word	96
7.13	Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 123 indien pompe op 'n rotasie- basis afgeskakel word	97
7.14	Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 130 indien pompe op 'n rotasie- basis afgeskakel word	98
7.15	Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 138 indien pompe op 'n rotasie- basis afgeskakel word	99
7.16	Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 142 indien pompe op 'n rotasie- basis afgeskakel word	100
7.17	Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 151 indien pompe op 'n rotasie- basis afgeskakel word	101

7.18	Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 161 indien pompe op 'n rotasie-basis afgeskakel word	102
7.19	Pomptempo by node 123 indien pompe op 'n rotasiebasis afgeskakel word	104
7.20	Mynuitleg nr. 2 vir periode 1982 tot 1986 in die Suidmyn	105
7.21	Mynuitleg nr. 2 vir die periode 1982 tot 1986 in die Noordmyn	106
7.22	Voorspelde pomptempo's by die Suidmyn vir mynuitleg nr. 2	107
7.23	Voorspelde pomptempo's by die Noordmyn vir mynuitleg nr. 2	108
7.24	Voorspelde watervlakdalings in die Suid- en Noordmyn vir mynuitleg nr. 2	110
7.25	Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 123 vir mynuitleg nr. 2	111
7.26	Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 130 vir mynuitleg nr. 2	112
7.27	Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 138 vir mynuitleg nr. 2	113
7.28	Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 142 vir mynuitleg nr. 2	114
7.29	Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 151 vir mynuitleg nr. 2	115
7.30	Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 161 vir mynuitleg nr. 2	116
7.31	Voorspelde watervlakdalings in die Suid- en Noordmyn indien daar teen 85 persent kapasiteit gepomp word	117
7.32	Voorspelde watervlakdalings in die Suid- en Noordmyn indien daar teen 85 persent kapasiteit gepomp word en 8 persent aanvulling vanuit reënval bygereken word	119
7.33	Voorstelling van die effek van 'n abnormale hoë reënvalperiode op die gesimuleerde watervlakdalings	120
7.34	Grafiese voorstelling van waterbenodigdhede en totale onttrekkingstempo's in die Sishen-gebied	121

TABEL

7.1	Pomptempo's by individuele boorgate	82
-----	---	----

HOOFSTUK 1

INLEIDING

1.1 DOEL VAN ONDERSOEK

Die Instituut vir Grondwaterstudies aan die Universiteit van die Oranje-Vrystaat het 'n navorsingskontrak met die Waternavorsingskommissie gesluit, ten einde die toepaslikheid van grondwatermodelle as 'n hulpmiddel in die bestudering en evaluering van grondwaterinvloei in die Sishen-myn te ondersoek. In die algemeen kan die doelstellings van hierdie ondersoek as volg aangedui word :

- Die konstruering van 'n gepaste numeriese model wat die fisiese toestand volgens bestaande inligting beskryf.
- Ontleding van die sisteem ten einde die relatiewe bydrae van elk van die hidrouliese komponente te bepaal.
- Die definiëring van onsekerhede in die model en 'n aanduiding van gebiede waar verdere inligting gegenereer moet word, voordat 'n model wat vir bestuursdoeleindes gebruik kan word, opgestel kan word.

Indien die inligting wat voorheen in die Sishen-gebied gegenereer is, voldoende blyk te wees vir die opstelling van 'n model, moet die model so ontwikkel word dat dit spesifiek antwoorde oor die volgende aspekte kan verskaf :

- Die reaksie van die akwifereer moet voorspel kan word ten einde in die behoeftes van die myn te voorsien.
- Vanuit 'n waterverskaffingsoogpunt, moet die model in staat wees om toekomstige pompsyfers vanuit die myn te voorspel. Hierdie syfers is noodsaaklik aangesien bykomende water waarskynlik vanaf die Vaalrivier verkry sal moet word, ten einde in toekomstige aanvraag in die gebied te voorsien.
- Aangesien grondwateronttrekking reeds 'n geruime tyd in die Sishen-myn plaasvind, ontstaan die vraag op welke stadium 'n grondwatermodel suksesvol gekonstrueer sou kon word. Gevolglik sal daar in hierdie ondersoek ook na historiese watervlakke gekyk word, ten einde te probeer bepaal op welke vroeë stadium in die ontwateringsgeskiedenis modelle reeds 'n bydrae tot 'n beter begrip van die sisteem kon gelewer het.

1.2 LOKALITEIT VAN GEBIED

Die Sishen-myn is in Noord-Kaapland geleë. Die totale oppervlakte van die gebied wat deur die uitpompings van grondwater by die myn geaffekteer word, word tans op 1 700 km² geraam. Die myndorp Kathu met 'n totale bevolking van ongeveer 8 000 volgens die 1981 opname, is in die noordwestelike gedeelte van die ondersoekgebied geleë. Aangrensende dorpe is Kuruman, ten noorde van Sishen, en Postmasburg na die suide.

1.3 VORIGE WERK

Vorige werk wat betrekking op hierdie ondersoek het, kan basies in twee kategorieë, naamlik geohidrologiese studies en modelleringstudies, ingedeel word.

Reeds so vroeg as 1909 het Rogers *et al* die gebied geologies beskryf. 'n Geologiese kaart van die gebied is na aanleiding van die werk van Boardman *et al* (1936) deur die Geologiese Opname gepubliseer. In 1938 het Truter *et al* 'n beraming van die metaalinhoud van die ystererts in die gebied op die plase omliggend tot Sishen gemaak. Verdere geologiese ondersoeke wat verband met hierdie ondersoek hou, is dié van Van der Merwe (1973), Moen (1977), Beukes (1978) en Van der Merwe *et al* (1981). Indien aanvaar word dat die gesteentes grootliks deur kalkreet en waaisand oorlê word, is die gebied geologies redelik goed beskryf.

Geohidrologiese ondersoeke het in die vroeë sewentigerjare toegeneem en die werk van Smit (1972) verskaf 'n idee van die grondwatervlakke in die gebied voordat intensiewe uitpompings 'n aanvang geneem het. Hierna het Dziembowski (1974, 1975, 1976, 1977, 1978, 1979 en 1980) geweldig baie werk in die Sishen-gebied gedoen. Gedetailleerde grondwaterkontoure vir elk van hierdie tydperke is onder meer deur hom opgestel. 'n Groot aantal boorgate is ook onder sy toesig geboor ten einde meer inligting oor die akwifere te bekom. Meer as 600 boorgatposisies is tans bekend. In verdere werk van die NPRU (1979) is gedetailleerde ondersoeke met behulp van radioaktiewe isotope in die gebied uitgevoer. Daaropvolgend is twee pogings vir die modellering van die grondwatersisteem aangewend. Die eerste hiervan was deur Bezuidenhout (1978), wat deur die werk van Gilding (1979) opgevolg is. Beide hierdie modelleringspogings was nie suksesvol nie.

Werk wat voorheen op die gebied van ontwikkeling van modelleringstegnieke gedoen is, behels kortliks dié van Pinder (1975), Pinder *et al* (1977), Botha

et al (1981) en Bakkes *et al* (1981). Die werk wat deur hierdie persone gedoen is, het die basis vir die konstruksie van die model vir die Sishen-gebied gevorm. Meer inligting oor die bydraes van die verskillende outeurs sal in die opvolgende hoofstukke verskaf word.

1.4 BEDANKINGS

Hierdie navorsing is finansiële deur die Waternavorsingskommissie en die Universiteit van die Oranje-Vrystaat ondersteun. Hierdie bydrae word hoog op prys gestel en met dank erken.

Mnre. J.R. Vegter en Z.M. Dziembowski verdien spesiale vermelding en dank vir uitstekende samewerking, hulp en opbouende kritiek.

Graag word mnre. M.J. Bisset en J.H. Oosthuizen van die Geologie Departement by die Sishen-myn bedank vir inligting en hul bereidwilligheid om te help gedurende hierdie ondersoek.

Graag word personeel in die Instituut vir Grondwaterstudies bedank vir hulp gedurende hierdie ondersoek. Mnr. J.J. Mouton word spesifiek vir die teken van Figuur 2.1 bedank. Dank gaan ook aan mev. M.J. Botha wat die woordverwerking van hierdie verslag behartig het.

HOOFSTUK 2

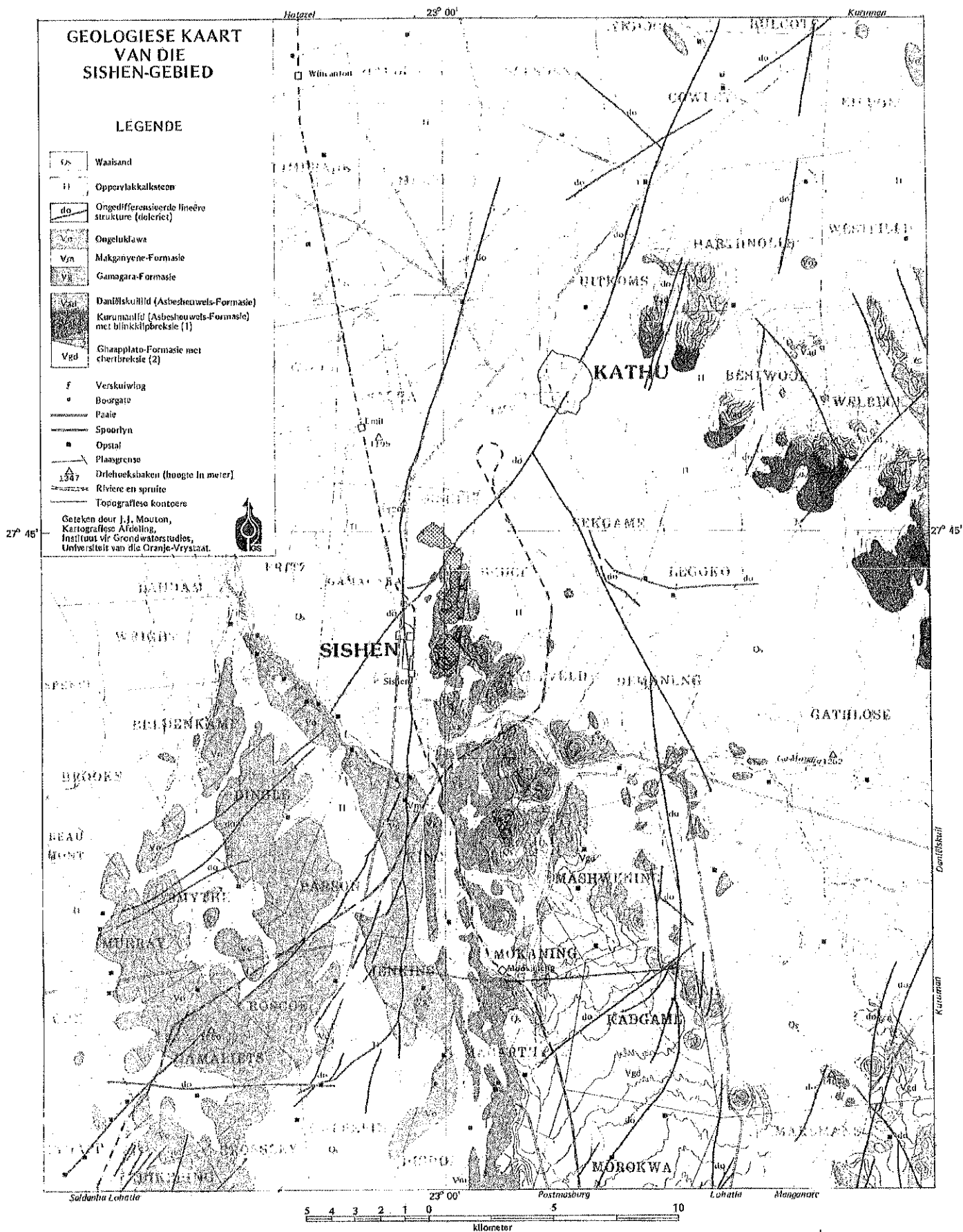
GEOLOGIE

2.1 INLEIDING

Alhoewel dit moontlik is om die hoof stratigrafiese eenhede in die Sishen-gebied sonder veel moeite te herken, word die geologie tog weens swak dag-some in die gebied verskuil. Veral strukturele elemente soos nate en verskuiwings kan nie voldoende op lugfoto's of in die veld uitgevolg word nie. Ten einde 'n geheelbeeld van die verspreiding van die verskillende geologiese eenhede te verkry, is 'n geologiese kaart aan die hand van gepubliseerde inligting oor die gebied en ook bykomstige inligting wat vanaf die Departement van Omgewingsake en Visserie bekom is, opgestel (Figuur 2.1).

2.2 DIE GRIEKWALAND-WES OPEENVOLGING

Die basale eenheid van die Griekwaland-Wes Opeenvolging, naamlik die Vryburg-Formasie, is nie in die Sishen-gebied blootgestel nie. Net so is die Schmidtsdrif-Formasie ook lokaal afwesig. Die oudste gesteentes in die gebied word gevolglik met die Ghaaplatto-Formasie gekorreleer. Dit bestaan hoofsaaklik uit karbonaatryke gesteentes in die vorm van kalksteen en dolomiet met volop chert en chertbreksie. Ondergeskikte gestreepte ysterklip en lense van sliksteen en skalie kom ook in hierdie eenheid voor.



Figuur 2.1. Geologiese kaart van die Sishen-omgewing (volgens gepubliseerde kaart 2722 Kuruman).

Die oorliggende Asbesheuwels-Formasie word lokaal in die Kurumanlid en die Daniëlskuillid onderverdeel. In die Kurumanlid wat hoofsaaklik uit gestreepte ysterklip bestaan, word die welbekende blinkklipbreksie ook aangetref. Daarenteen bestaan die Daniëlskuillid hoofsaaklik uit jaspiliete.

'n Diskordansie word tussen die jaspiliete en die oorliggende Gamagara-Formasie gevind. Laasgenoemde bestaan oorwegend uit skalie met ondergeskikte konglomeraat en kwartsiet. Waar hierdie gesteentes op die gestreepte ysterklip lê, het sekondêre verryking in yster plaasgevind. Daarenteen is die gesteentes mangaanryk waar dit direk op die Ghaapplato-Formasie lê.

Oorliggend tot die Gamagara-Formasie word die Makganyene-Formasie aangetref. Dit bestaan hoofsaaklik uit diamiktiet, met ondergeskikte grint, moddersteen, sandsteen, gebande jaspis en dolomiet.

Die Ongeluklawaworm die boonste formasie van die Griekwaland-Wes Op-eenvolging in die Sishen-gebied. Dit dagsoom uitsluitlik ten suidweste van die myn en bestaan hoofsaaklik uit andesiet en amandeldraende lawa. Lense van rooi jaspis word ook hierin aangetref.

2.3 KALAHARI-FORMASIE

In groot gedeeltes van die Sishen-gebied word die ouer gesteentes deur tersiêre en jonger afsettings wat as die Kalaharilae bekend staan, bedek. In die Sishen-omgewing is hierdie formasie relatief dun, maar dit verdik in 'n noordelike rigting. Dit bestaan hoofsaaklik uit kleiige sedimente, maar gruis en sandlense met 'n hoë persentasie klei kom ook voor.

2.4 DOLERIETINDRINGINGS

'n Groot aantal lineêre strukture wat gewoonlik prominent dagsoom weens digte plantegroei daarop, kom in die gebied voor. Aan die oppervlak word slegs sekondêre kalk aangetref, maar op grond van inligting in ander gebiede (Van der Merwe *et al*, 1981) kan redelikerwyse aangeneem word dat hierdie strukture in werklikheid dolerietgange is. Slegs een van hierdie gange, naamlik die gang wat die Suidmyn van die Noordmyn in die Sishen-gebied skei, kan sonder twyfel as 'n kwartsmonsoniet geëien word. Op grond hiervan bestaan die moontlikheid dat verskillende periodes van magmatiese indringing in die gebied plaasgevind het. Weens swak dagsome in die gebied is dit egter nie moontlik om verdere afleidings hieroor te maak nie.

2.5 STRUKTUUR

In die Sishen-myngebied is verskeie strukturele komponente mooi blootgelê. Die vernaamste hiervan is ongetwyfeld die grabenverskuiwings wat noord-suid strek. Sekondêre verskuiwings en naatsisteme met 'n noordoostelike strekking is ook teenwoordig. Die moontlikheid bestaan dat verskeie ander hoofverskuiwings ook in die gebied voorkom. Weens swak dagsome kon hierdie verskuiwings egter tot nou toe nie met sekerheid in die karbonaat-gesteentes vasgestel word nie. Waar hierdie strukture egter deur die Asbesheuvels-Formasie sny, kan verplasing duidelik op lugfoto's waargeneem word. Plooiing as gevolg van verskeie periodes van vervorming is duidelik in die myngroef asook in gesteentes omliggend tot die myn waarneembaar.

2.6 KARSTONTWIKKELING

Alhoewel paleokarst wel in die gebied aangetref word, vind min huidige karstontwikkeling waarskynlik in die gebied plaas. Sinkgate is nie 'n algemene verskynsel in die Sishen-gebied nie. Aan die hand van bekende karstmodelle soos die Kentucky-model (Stringfield en Le Grand, 1969) kan die Sishen-gebied huidiglik as 'n ou karstvlakte geklassifiseer word. Selfs as gevolg van die intensiewe uitpompings van grondwater vanuit die myn het geen oplossingsholtes ontstaan nie.

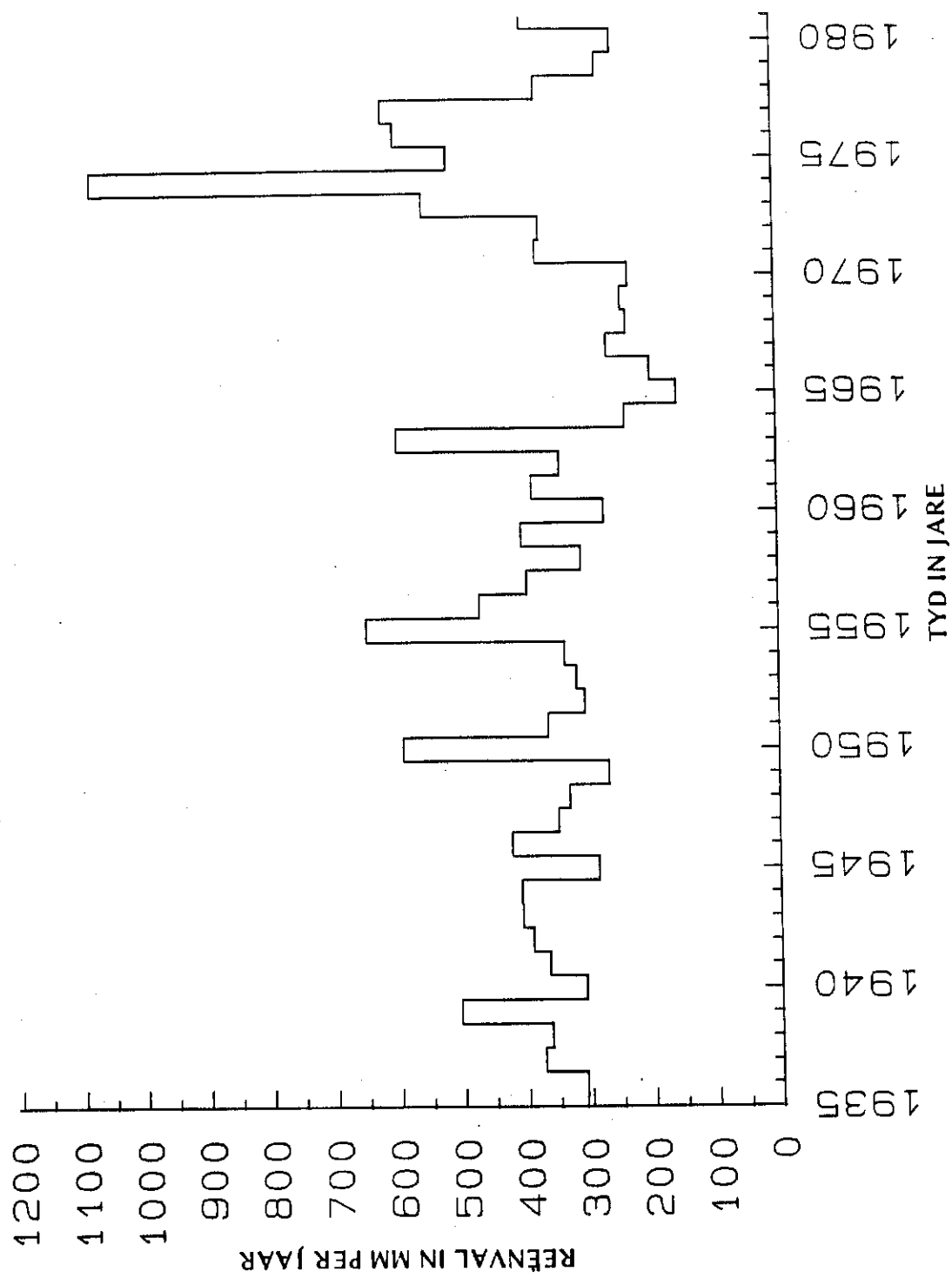
HOOFSTUK 3

HIDROLOGIE

Die gemiddelde reënval in die Sishen-gebied, bereken oor die afgelope 45 jaar, is 390 mm. 'n Voorstelling van die hoeveelheid jaarlikse reënval vir hierdie tydperk word in Figuur 3.1 weergegee. Die buitengewone hoë reënvaltydperk in die vroeë sewentigerjare kan duidelik hierin gesien word.

Die Sishen-omgewing word in die algemeen deur 'n plat topografie gekenmerk (Figuur 3.2). Enkele rante kom wel in die gebied voor en die gebied besit 'n algemene dreinerings vanuit die suidooste en ooste na die weste. Die Gamogarrivier vorm die hoofdreineringsstelsel. Gewoonlik is daar geen water in die rivier nie. Slegs na buitengewone intense reënbuie vind afloop in die rivier plaas.

Die warmste maande is Desember, Januarie en Februarie wanneer die daaglikse temperatuur tussen 18°C en 33°C wissel. Gedurende Junie en Julie is die maksimum daaglikse temperatuur 22°C, terwyl die minimum temperatuur onder vriespunt is. As gevolg van die dorre, warm klimaat is verdamping in die gebied relatief hoog. Panverdamping word op 2 400 mm per jaar gestel (Pitman *et al*, 1981).



Figuur 3.1. Jaarlikse reënval in die Sishen-gebied.



Figuur 3.2. Westelike uitsig oor die oop groef in die Suidmyn-gebied.

HOOFSTUK 4

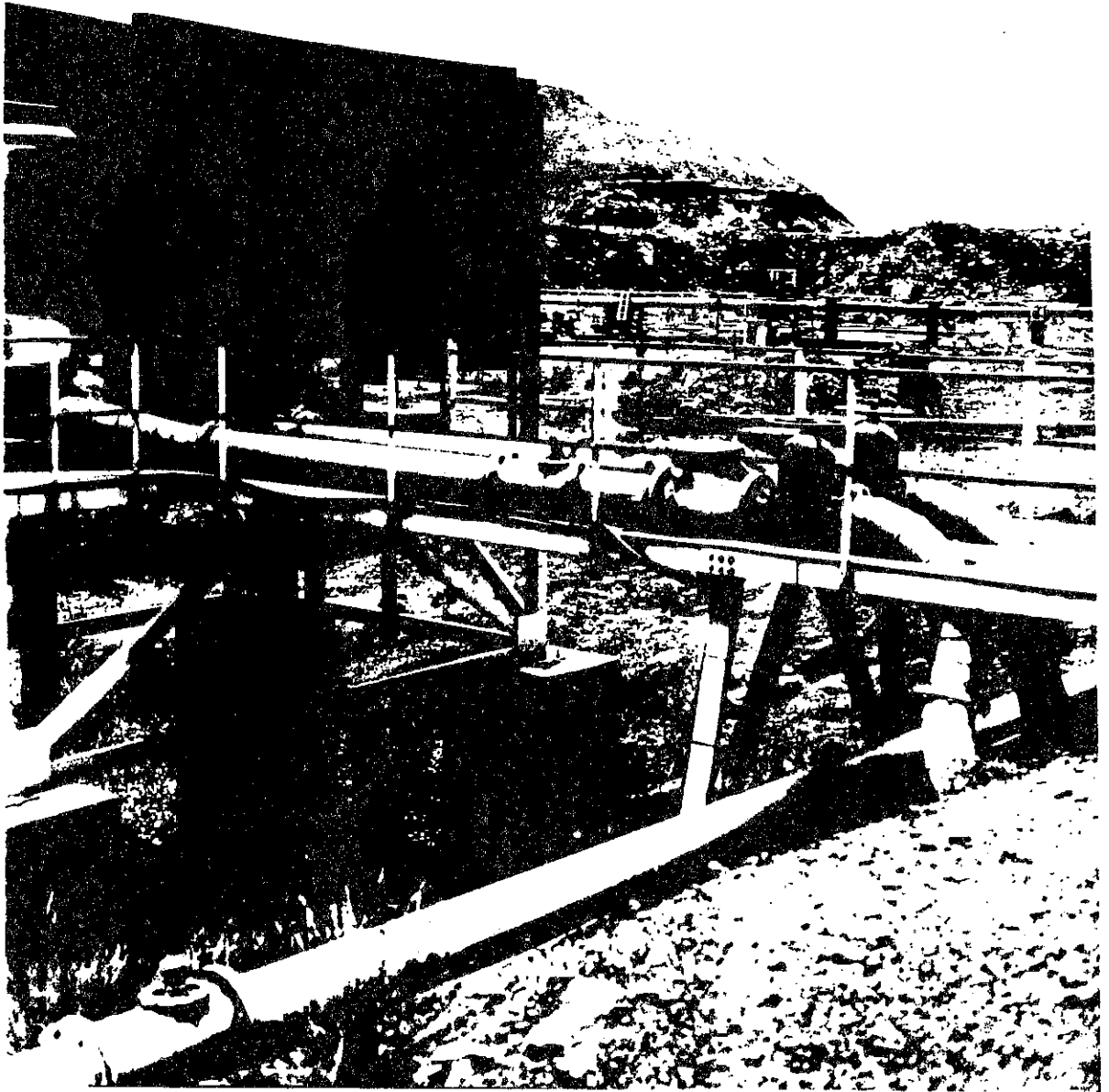
GEOHIDROLOGIE

4.1 INLEIDING

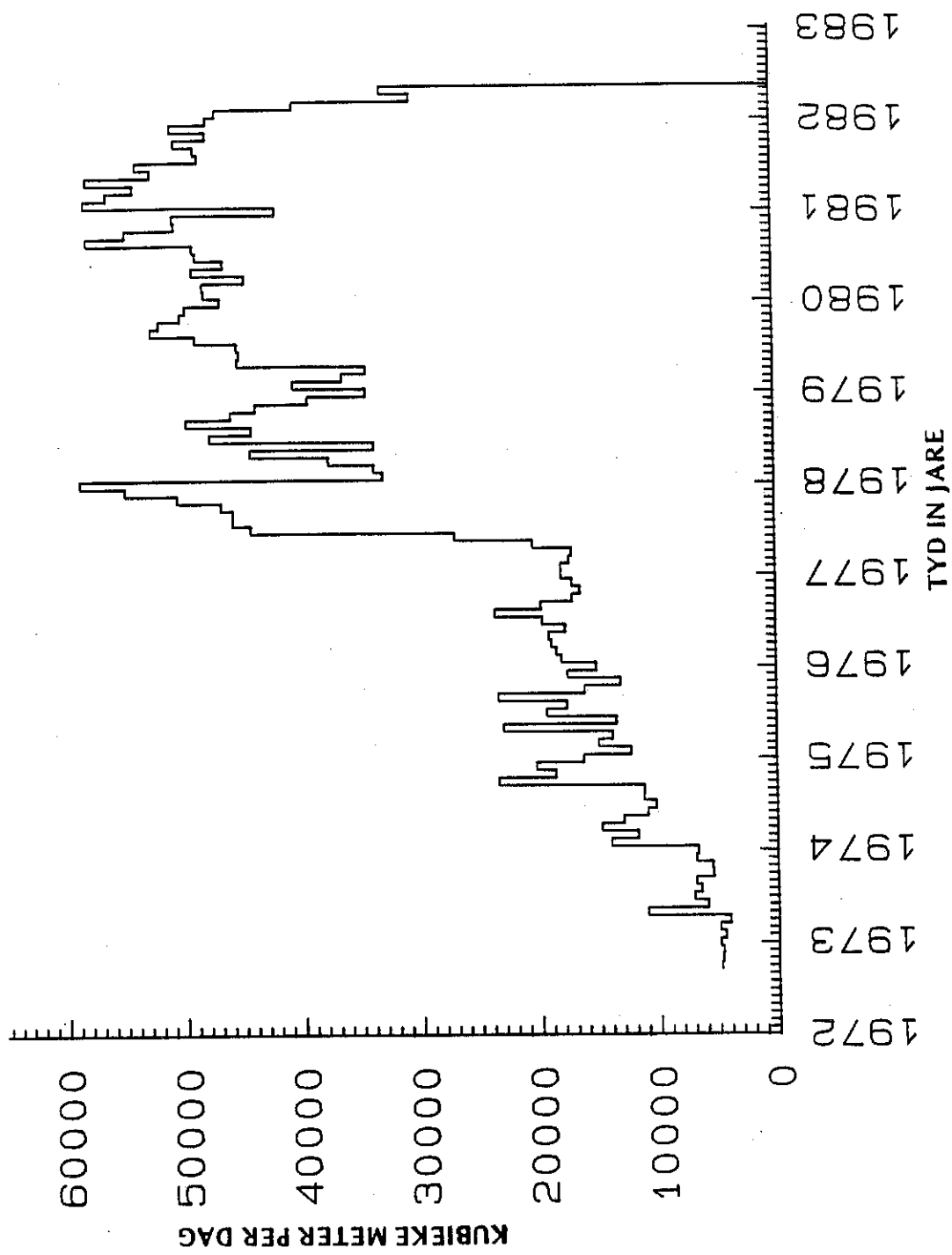
Karbonaatgesteentes in Suid-Afrika is bekend as goeie akwifere. Die hoeveelheid water wat as gevolg van mynbou-aktiwiteite by Sishen in hierdie gesteentes ontbloot is, oorskry egter die meeste ramings wat voorheen in die verband gemaak is. 'n Gevoel vir die hoeveelheid water wat in die gesteentes van die Sishen-omgewing voorkom, kan waarskynlik die beste vanuit pompsyfers en watervlakreaksies verkry word.

4.2 POMPTEMPO'S

In die jare voor 1977 was mynbou-aktiwiteite in die Sishen-gebied van 'n beperkte omvang. As gevolg van groot uitvoerkontrakte vir ystererts, is die myn daarna aansienlik vergroot. Hierna het aansienlike hoeveelhede grondwater die myn binnegestroom. In die suidelike gedeelte van die myn kon die water suksesvol deur 'n groot aantal boorgate in die Heuwel 2-gebied onderskep word. Agt-en-twintig pompe (Figuur 4.1) is hier geïnstalleer en sedertdien word grondwater heeltyds onttrek. Figuur 4.2 gee 'n voorstelling van pomp-tempo's vanaf 1972 tot op hede in die Heuwel 2-gebied.



Figuur 4.1. Enkele van die pompgate met pomptoerusting in die Heuwel 2-gebied.



Figuur 4.2. Totale pomptempo's in die Heuwel 2-gebied.

In die Suidmyn-gebied is gevind dat grondwaterinvloei hoofsaaklik met grabenverskuiwings wat in 'n noordelike rigting strek, geassosieer is. Boorgate wat ten ooste en weste van hierdie strukture geboor is, het veel laer lewerings. Gevolglik kon die hele Suidmyn ontwater word deur slegs die invloei van grondwater vanuit die suide te onderskep.

In die Noordmyn-gebied is die situasie effens anders en die boorgate moes reg rondom die Noordmyn geplaas word sodat die water aan alle kante van die oop groef onderskep kon word. Die pomptempo's in die Noordmyn-gebied word in Figuur 4.3 weergegee. Pomptempo's by individuele boorgate word ter inligting in Bylae I grafies voorgestel.

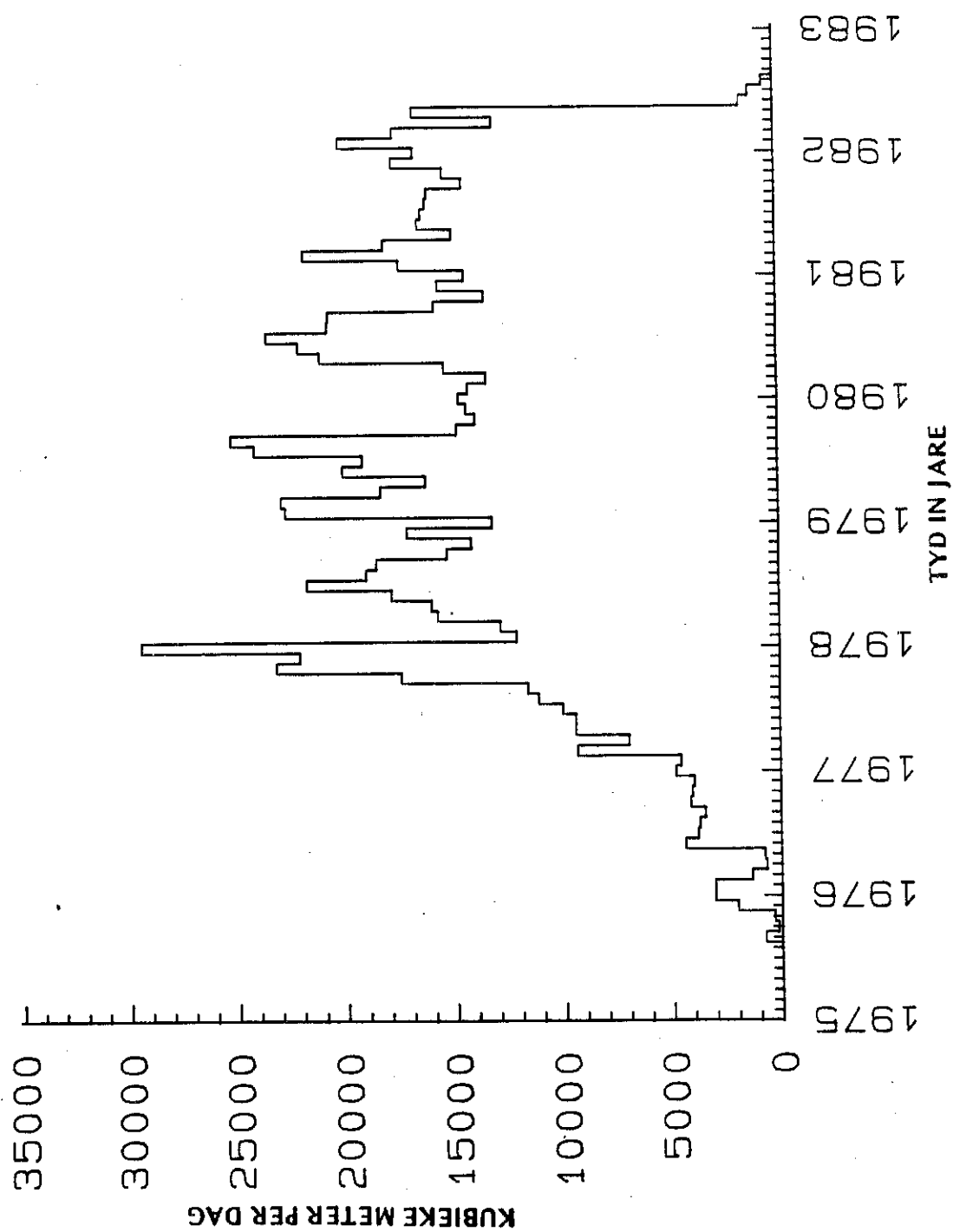
Ander plekke waar ook water intensief onttrek word, is by Kathu en by Khai Appel. Pomptempo's vir hierdie twee lokaliteite word respektiewelik in Figure 4.4 en 4.5 weergegee.

By verre die grootste hoeveelheid grondwater word vanuit die Suidmyn onttrek (70 persent). Vier-en-twintig persent van die grondwater word vanuit die Noordmyn onttrek, terwyl slegs vyf persent en een persent respektiewelik vanuit die Kathu- en Khai Appel-gebiede gepomp word. 'n Diagrammatiese voorstelling hiervan word in Figuur 4.6 weergegee.

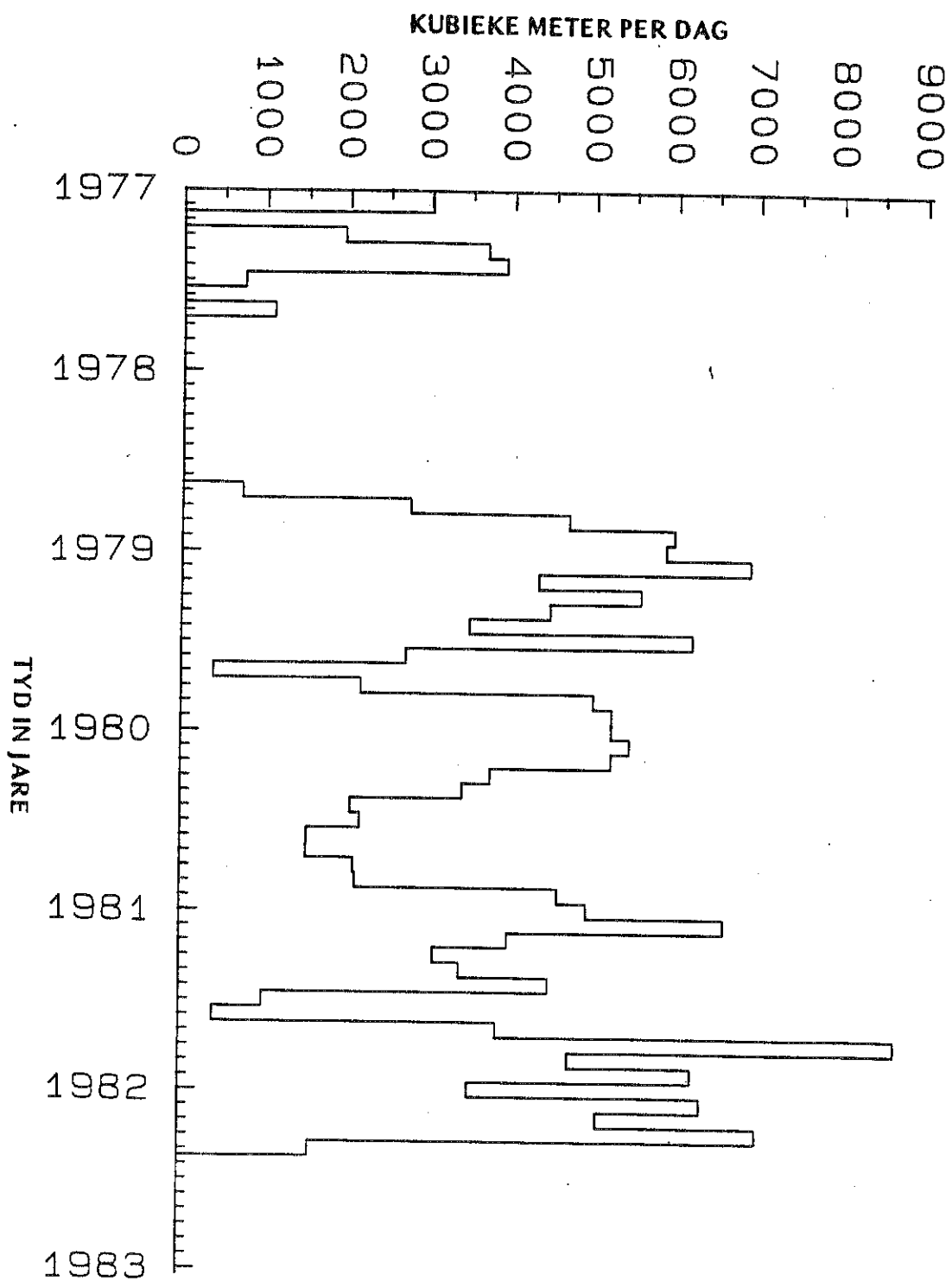
Tot op hede word die oormaat grondwater deur middel van 'n afvoersloot in 'n westelike rigting tot by die Gamogarrivier weggevoer. Hierdie sloot is nie van 'n ondeurlatende bodemlaag voorsien nie, maar aangesien dit hoofsaaklik oor Kalahariskalies strek, is terugvloei vanuit hierdie sloot waarskynlik weglaatbaar klein.

4.3 GRONDWATERVLAKKE

Kontoerkaarte van grondwatervlakke in die Sishen-gebied is vanaf 1972 beskikbaar. Kontoerkaarte vir die jare 1972, 1976, 1977, 1978, 1979 en 1980 word as Figure 4.7 tot 4.12 hierby ingesluit. Die volgende aspekte is hier van belang :

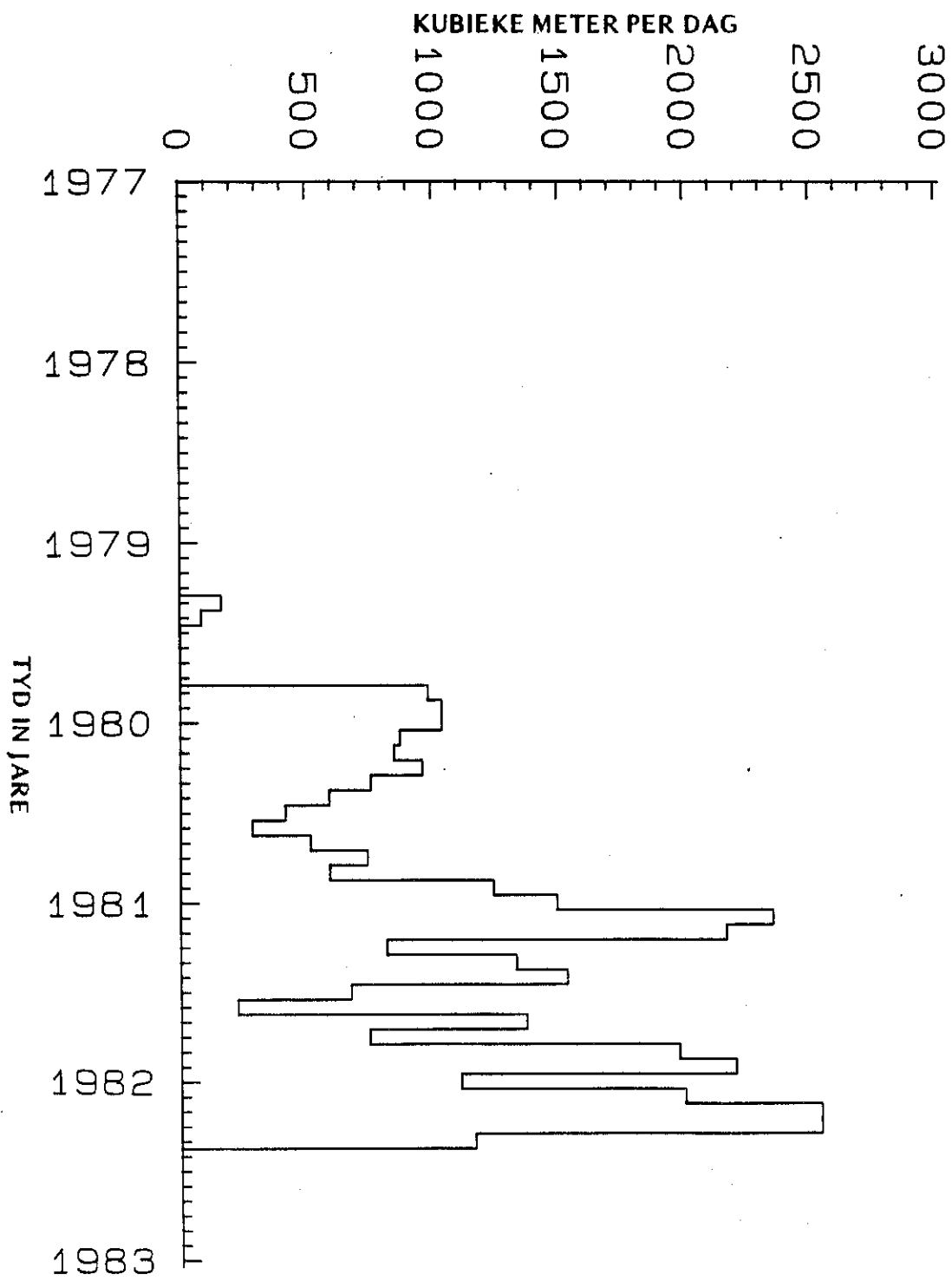


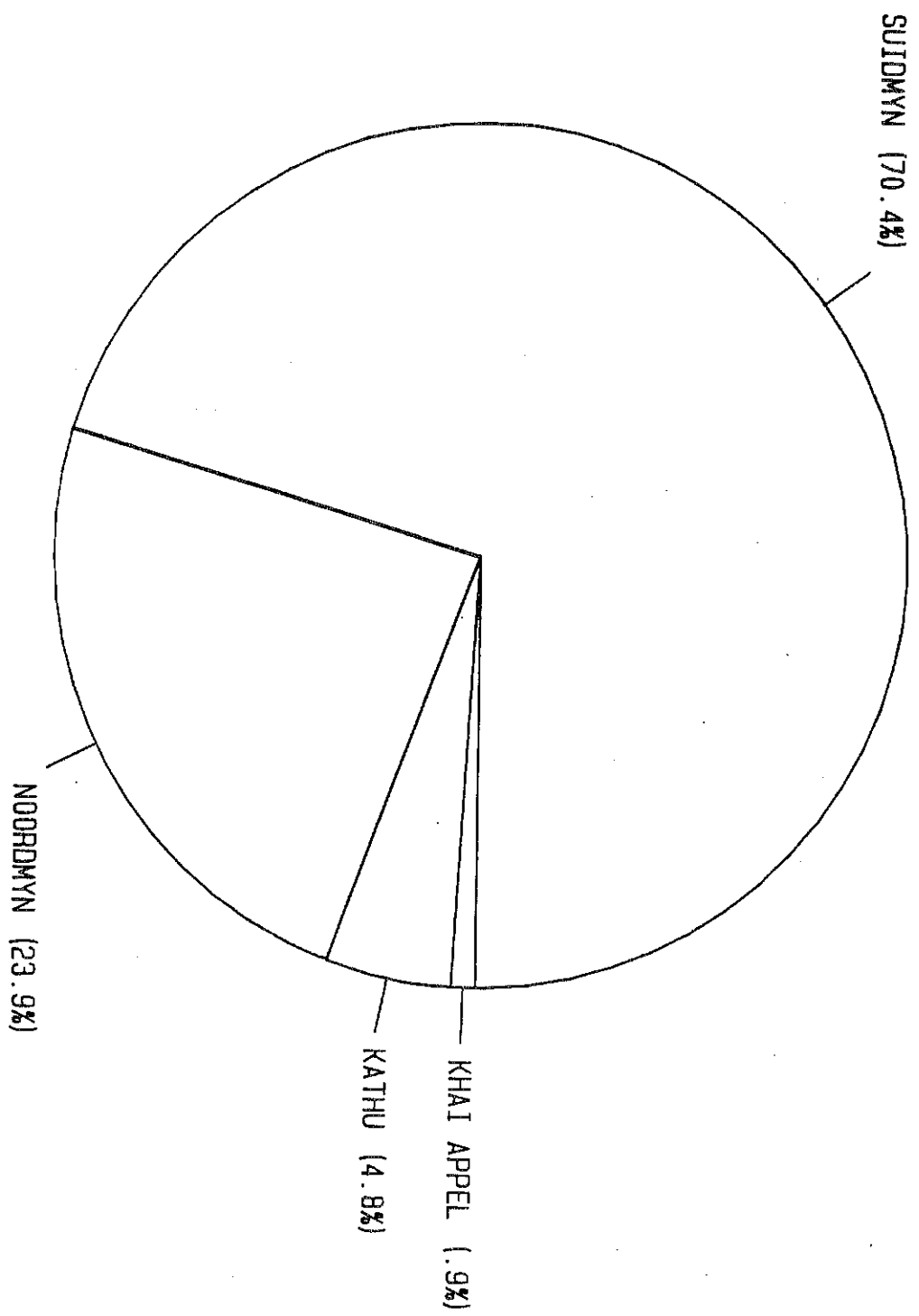
Figuur 4.3. Totale pomptempo's in die Noordmyn-gebied.



Figuur 4.4. Totale pomptempo's in die Kativ-gebied.

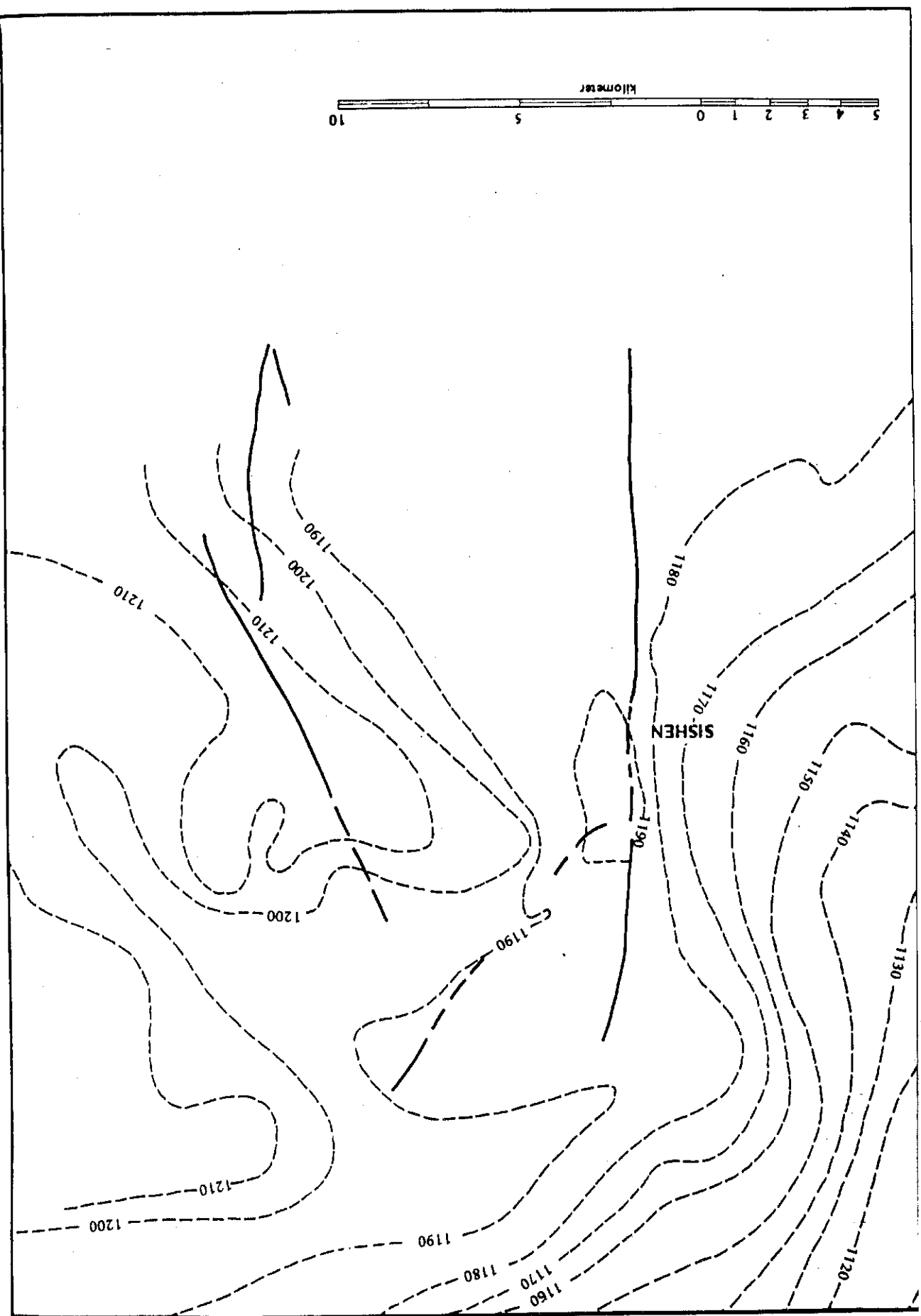
Figur 4.5. Totale pomptempo's in die Khai Appel-gebied.





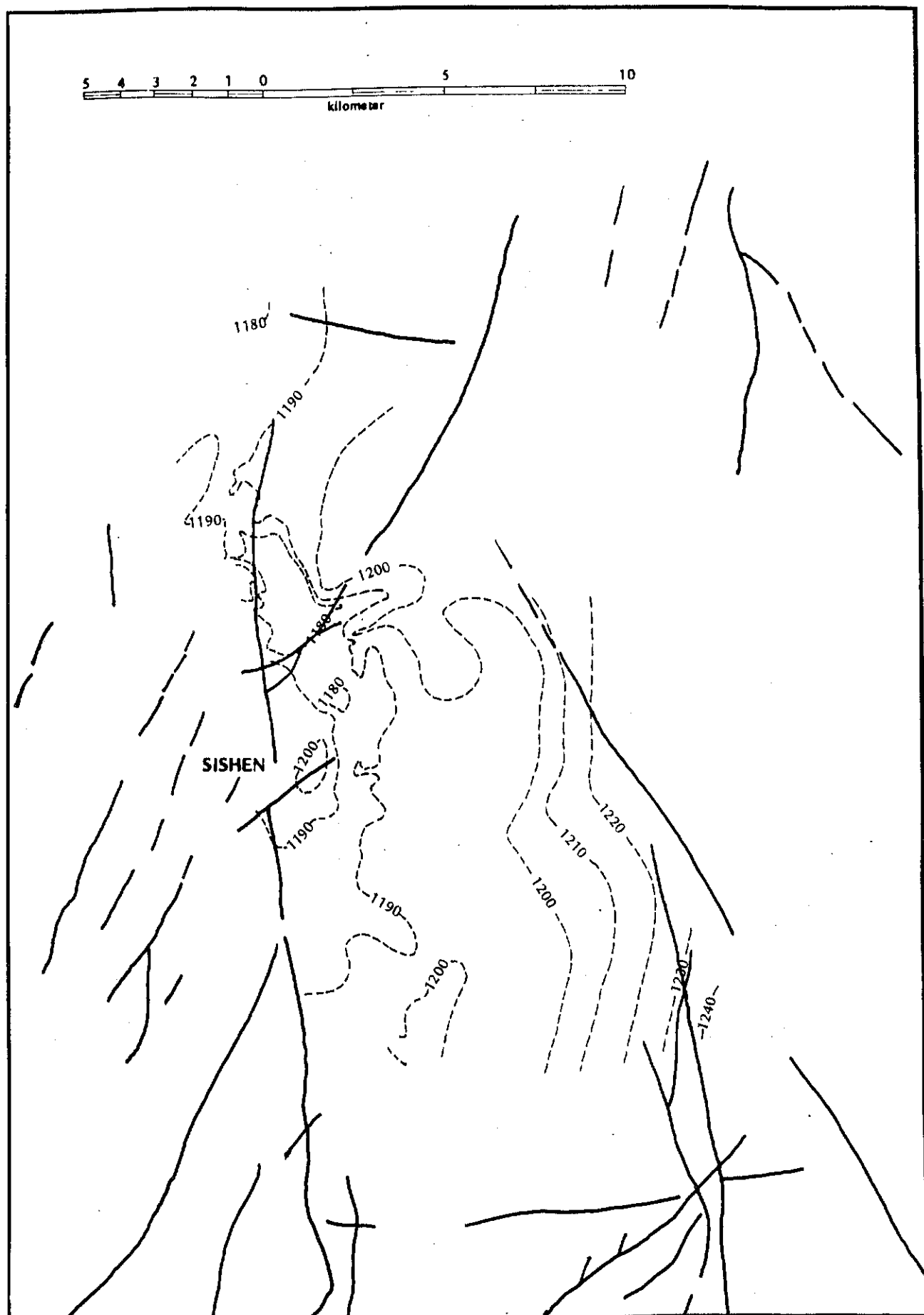
Figuur 4.6. Diagrammatiese voorstelling van die relatiewe onttrekkings tempo's in die Sishen-gebied (1982).

Figuur 4.7. Watervlakkontoerkaart van die Sishen-gebied vir Januarie 1972
(volgens Smit).

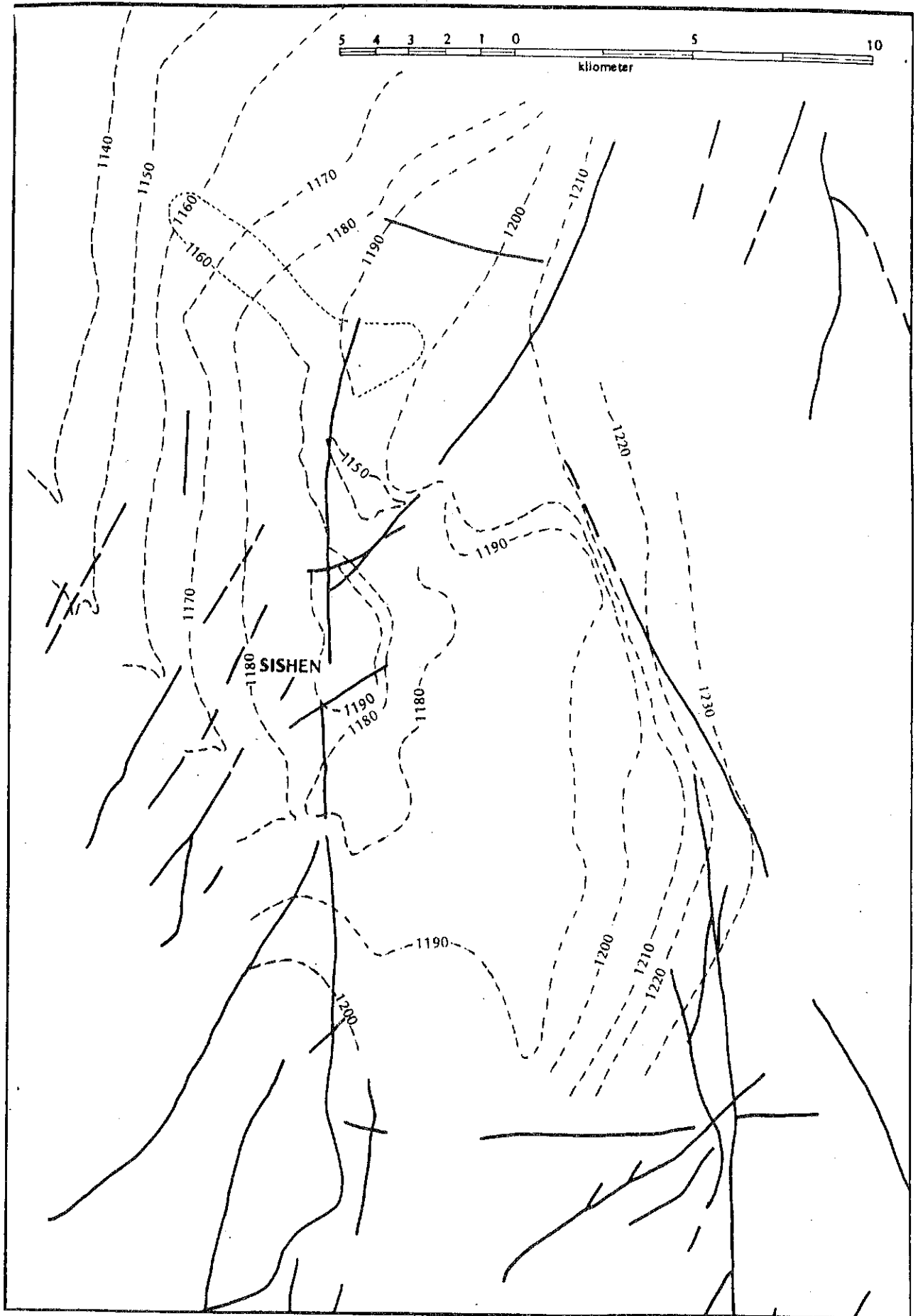




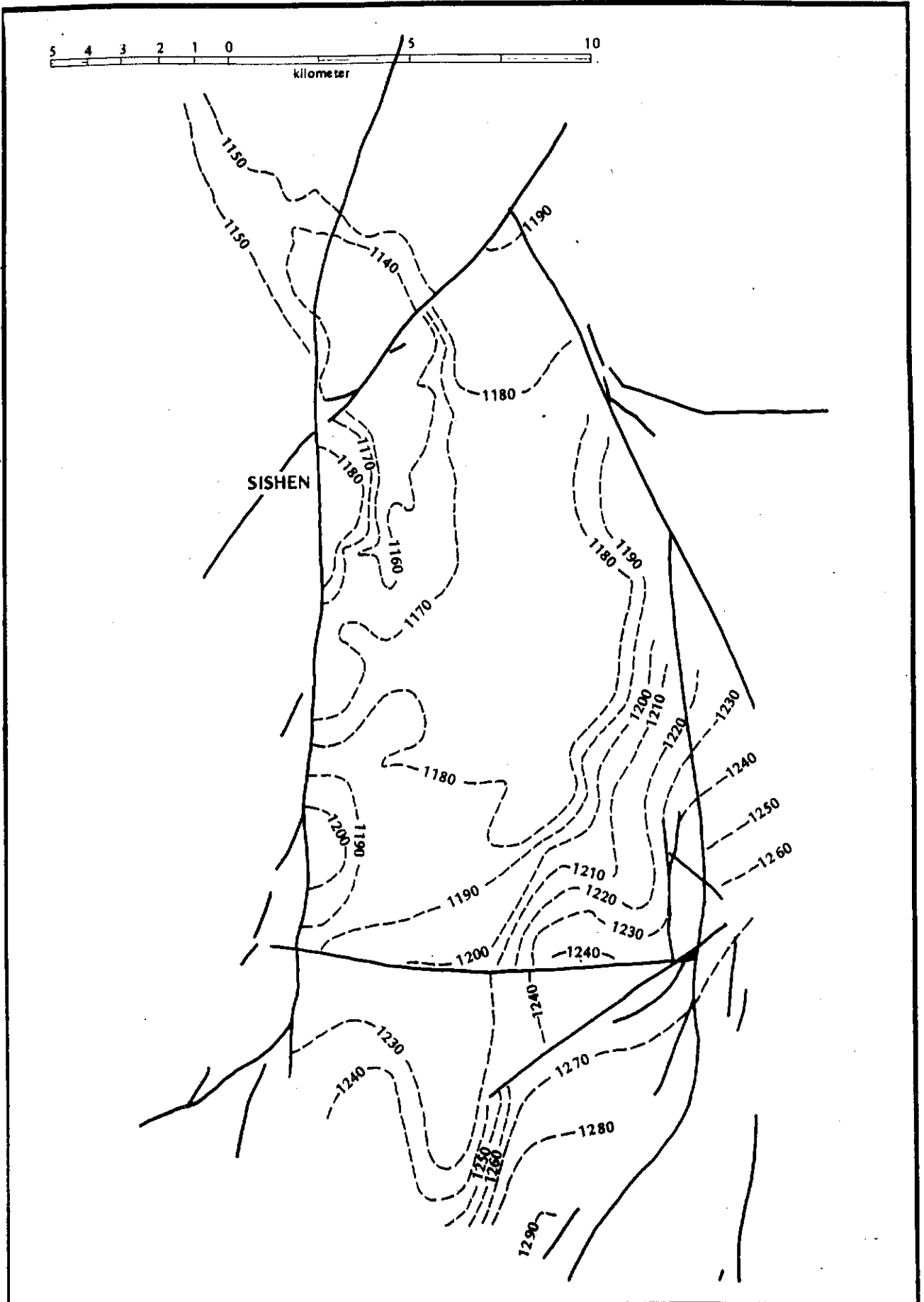
Figuur 4.8. Watervlakkontoerkaart van die Sishen-gebied vir Junie 1976 (volgens Dziembowski).



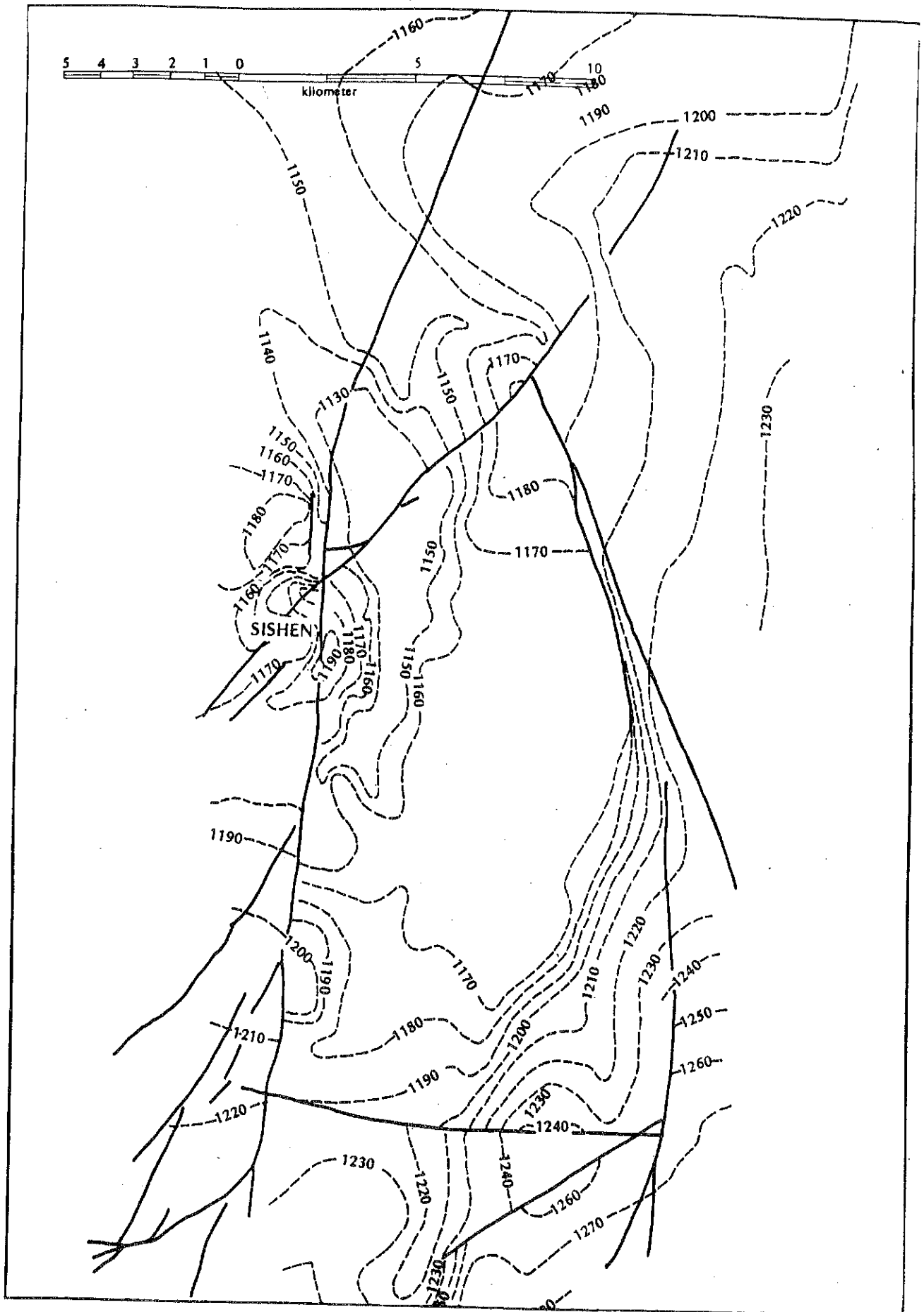
Figuur 4.9. Watervlakkontoerkaart van die Sishen-gebied vir Julie 1977 (volgens Dziembowski).



Figuur 4.10. Watervlakkontoerkaart van die Sishen-gebied vtr Junie 1978
(volgens Dziembowski).



Figuur 4.11. Watervlakkontoerkaart van die Sishen-gebied vir Junie 1979 (volgens Dziembowski).



Figuur 4.12. Watervlakkontoerkaart van die Sishen-gebied vir Junie 1980 (volgens Dziembowski).

- Die normale grondwatergradiënt is vanuit die suidooste en ooste na die weste.
- Die effek van die dolerietgange kan nie in die vroeëre kontoerkaarte gesien word nie.
- Al die kontoerkaarte dui op 'n moontlike variësie in die transmissiwiteitsverspreiding, aangesien kontoere in sekere gebiede versteil of verplat.
- 'n Vergelyking tussen die watervlakke van 1972 en die vlakke van 1976 dui op 'n algemene styging gedurende hierdie periode. Hierdie styging kan aan die buitengewone goeie reënvalperiode van 1973/74 toegeskryf word.
- Gedurende Junie 1978, d.w.s. ongeveer 18 maande nadat intensiewe uitpompings 'n aanvang geneem het, het die ontwateringskeël in die Suidmyn-gebied tot by die dolerietgange ten ooste en suide van die myn uitgesprei. Op hierdie stadium was die effek van die gange op die ontwateringskeël egter nog nie duidelik nie. In die Noordmyn-gebied lyk dit asof die noord-strekkende dolerietgang ten weste van die Noordmyn, 'n sekere mate van deurlatendheid besit, aangesien watervlakke in boorgate aan die westekant van die gang 'n daling begin toon.
- Die watervlakkontoere van Junie 1979 en net so die kontoere van Junie 1980 bevestig die tendens wat in 1978 ontwikkel het. 'n Verdere afleiding is ook dat die suidelike en oostelike gange wat die Suidmyn begrens, oor 'n sekere mate van deurlatendheid beskik.
- Die noordoos-strekkende gang wat die Suidmyn van die Noordmyn skei, is blykbaar ondeurlatend en kan waarskynlik as uniek geklassifiseer word.

seer word. Dit is 'n kwartsmonsoniet, terwyl al die ander gange waarskynlik van doleritiese samestelling is. As gevolg van die tipiese verwerking van die kwartsmonsoniet, waartydens kleimineraal vorm, is dit ondeurlatend.

- Al die kontoerdiagramme dui op 'n aanmerklike transmissiwiteitsvariasie in die gebied. Die drastiese versteiling van die grondwaterkontoere in die suidoostelike hoek van die Sishen-kompartement kan byvoorbeeld aan lae transmissiwiteitswaardes in hierdie gebied toegeskryf word.
- In die gebied ten weste van die Noordmyn word die ouer gesteentes deur Kalaharilae oorkleef. Hierdie gesteentes is baie kleiig en alhoewel meer as een watervlak tans in hierdie gebied voorkom, lyk dit nie asof noemenswaardige lekkasie vanuit die Kalaharilae na die onderliggende gesteentes plaasvind nie.
- Die grondwaterkontoere dui daarop dat die vernaamste grondwaterbeweging in gesteentes van voor-Kalahari-ouderdom plaasvind. Grondwaterbeweging in hierdie gesteentes vind slegs deur krike, nate of verskuiwings plaas. Die feit dat die ontwateringskeël deur die hele gebied uitsprei, dui daarop dat die sekondêre strukture goed ontwikkel is.
- 'n Vergelyking tussen die grondwaterkontoere en die geologiese kaart van die gebied dui nie op wesenlike verskille in die vloei patroon deur die verskillende gesteentetipes nie, behalwe natuurlik in die geval van gange.
- Vir die doeleindes van 'n simulasiemodel kan die gewone poreuse vloei benadering toegepas word. Die sisteem voldoen aan die basiese vereistes vir so 'n model, aangesien die sekondêre strukture waarlangs grondwaterbeweging plaasvind, volop in vergelyking met die grootte van die gebied is.

HOOFSTUK 5

ONTWIKKELING VAN MODEL

5.1 INLEIDING

Nadat voldoende kennis oor die voorkoms en verspreiding van grondwater in 'n akwifer met behulp van veldstudies bekom is, moet die modelkeuse van so 'n aard wees dat dit by die kompleksiteit daarvan aanpas. Een van die grootste probleme in modelleringstudies is dikwels die feit dat modelle die situasie te veel vereenvoudig of onnodig kompliseer. 'n Goeie balans tussen die oplossingstegniek en die hoeveelheid inligting wat beskikbaar is, moet gevolglik gehandhaaf word. Ten einde agtergrondinligting oor beskikbare modelleringstegnieke en ook die kompleksiteit daarvan te verskaf, is dit goedgevind om in hierdie hoofstuk kortliks 'n bespreking van modelleringstegnieke te gee. Die doel hiervan is om die leser op die voor- en nadele van die verskillende modelleringstegnieke te wys, asook om 'n motivering vir die tegniek wat gedurende hierdie ondersoek gebruik is, daar te stel.

Vir eers moet daar duidelik tussen twee basiese tipes modelle onderskei word. Analitiese modelle val in die eerste kategorie. Hierdie modelle word in die algemeen onder minder komplekse toestande gebruik, waar die hidrouliese parameterwaardes byvoorbeeld gedurende pomptoetsing bereken moet word. Sodra daar op 'n regionale skaal na grondwaterbeweging deur heterogene en anisotrope media, soos in die geval van die Sishen-omgewing gekyk moet word, skiet analitiese tegnieke vanweë die komplekse aard van

die sisteem ver te kort. Die enigste uitweg onder sulke omstandighede is die gebruik van numeriese oplossingstegnieke, waardeur die analitiese vergelykings gewoonlik stuksgewys opgelos word. Wanneer daar in hierdie werk na modelle of modelleringstegnieke verwys word, word die numeriese oplossing van paraboliese differensiaalvergelykings gevolglik geïmpliseer.

Die eerste suksesvolle pogings tot die numeriese simulاسie van grondwaterbeweging was in 1968 deur Pinder *et al* en in 1971 deur Prickett en Lonnquist uitgevoer. Hierdie modelle was relatief onverfynd en op 'n eindige verskil oplossingstegniek gebaseer. Reeds in 1974 het Pinder die eerste eindige element simulاسie van grondwaterbeweging uitgevoer, terwyl kontaminantbeweging deur 'n akwifere in 1975 deur Pinder suksesvol met behulp van sy eindige element oplossingstegniek geïllustreer is. Verskeie ander modelle waardeur die beweging van kontaminante in akwifere gesimuleer kan word, is daarna opgestel. Hiervan is die mees bekende waarskynlik die model van Konikow *et al* (1977) wat van 'n eindige verskil oplossingstegniek gebruik gemaak het. Reeds in 1975 is beseft dat die implementering van stogastiese tegnieke in numeriese modelle voordele mag inhou. Freeze (1975) was een van die eerstes wat oor hierdie aspek navorsing gedoen het.

Hedendaags word daar hoofsaaklik op die verfyning van bestaande modelle gekonsentreer. In hierdie verband kan die inkorporering van die optimale ϕ -tegniek (Botha *et al*, 1981) en die verwydering van singulariteite (Bakkes *et al*, 1981) genoem word. Verdere ontwikkelings op die gebied van numeriese analise wat van betekenis in grondwatermodellerings is, is byvoorbeeld die gebruik van randelemente (Brebba, 1980) en globale elemente (Delves *et al*, 1979). Gesien in die lig van die groot aantal keuses wat vir die modelleerder bestaan, is dit van pas om meer inligting oor sekere aspekte van die model soos dit vir hierdie ondersoek gebruik is, te verskaf.

5.2 GRONDWATERVLOEIVERGELYKING

Die vloeï van grondwater in die Sishen-gebied kan tweedimensionaal met behulp van die diffusievergelyking voorgestel word :

$$S \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (T_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (T_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}) - Q - \frac{K}{\ell} (h - h_w) - C(h - h') \quad (5.1)$$

met geskikte rand- en aanvangsvoorwaardes, waar

C	=	lekkingskoeffisiënt (T^{-1})
T_{xx}, T_{yy}	=	hoofkomponente van transmissiwiteit (L^2/T)
S	=	die bergingskoeffisiënt
Q	=	die sterkte van die bron (+) of onttrekking (-) (L^3/T)
K	=	die vertikale hidrouliese deurlatendheid van die oorliggende laag (LT^{-1})
ℓ'	=	die dikte van die oorliggende lekkende laag (L)
h_w	=	die hidrouliese hoof in die aangrensende akwifer (L)
h'	=	die aanvangshoof in die akwifer (L)
x, y	=	reghoekige koördinate
t	=	tyd (T)

Die paraboliese differensiaalvergelyking (5.1) kan óf met behulp van eindige verskil- óf met behulp van eindige element-tegnieke opgelos word. In hierdie ondersoek is daar uitsluitlik van eindige element-tegnieke gebruik gemaak, aangesien dit spesifieke voordele inhou :

- Die geometrie van die sisteem kan suksesvol met hierdie tegniek nageboots word.
- Akkurate simulاسies kan in gebiede met steil gradiënte verkry word.
- Onttrekkingspunte kan enige plek in die sisteem geplaas word.

- Heterogeniteit en anisotropie kan suksesvol hanteer word.

5.3 EINDIGE ELEMENT-VOORSTELLING

Stel die grondwatervloei vergelyking (5.1) gelyk aan die operator L in die gebied Ω .

Verder word Q gedefinieer as :

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_w(x_i, y_i) \delta(x - x_i) (y - y_i)$$

Die Dirac deltafunksie δ besit die eienskap dat, indien dit geïntegreer word, is Q gelyk aan Q_w by (x_i, y_i) .

'n Versameling basisfunksies $\{\psi_i\}_{i=1}^n$ op Ω geassosieer met 'n eindige element-netwerk van n nodes word dan gekies. In terme van die Galerkin eindige element-voorstelling word 'n benaderde oplossing van (5.1) gegee deur :

$$\hat{h} = \sum_{i=1}^n h_i(t) \psi_i(x, y) \quad (5.2)$$

onderhewig aan

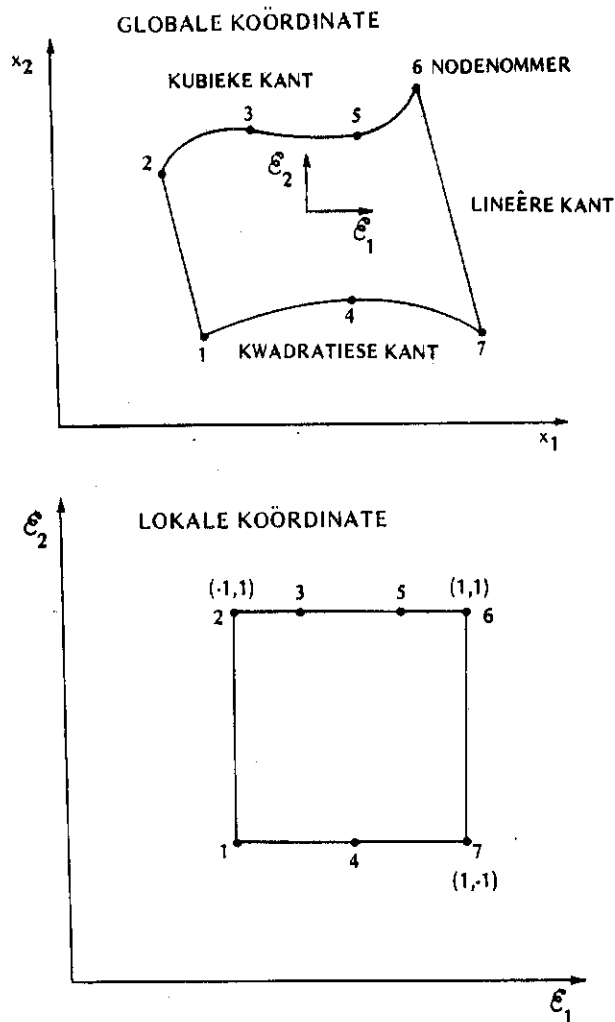
$$\int_{\Omega} \psi_j \hat{L} h \, dx dy = 0 \quad j = 1, \dots, n \quad (5.3)$$

waar h_i die onbepaalde koëffisiënt is. Deur substitusie en integrasie in dele word die volgende stel benaderings verkry :

$$\begin{aligned} & \iint_{\Omega} [T_{xx} (\sum_{j=1}^n h_j \frac{\partial \psi_j}{\partial x}) \frac{\partial \psi_i}{\partial x} + T_{yy} (\sum_{j=1}^n h_j \frac{\partial \psi_j}{\partial y}) \frac{\partial \psi_i}{\partial y} + S \frac{\partial}{\partial t} \sum_{j=1}^n h_j \psi_j \psi_i \\ & + Q \psi_i + (-\frac{K}{\ell^2} + C) \sum_{j=1}^n h_j \psi_j \psi_i - (-\frac{K}{\ell^2} h_w + Ch') \psi_i] \, dx dy - \int [T_{xx} \frac{\partial \hat{h}}{\partial x} \ell_x \\ & + T_{yy} \frac{\partial \hat{h}}{\partial y} \ell_y] \psi_i \, d\Omega = 0 \quad i = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (5.4)$$

waar ℓ_x en ℓ_y die rigtingscosinusse tussen die normaal aan die vlak Ω en die x- en y-koördinaatasse respektiewelik is. Die laaste term in hakies in (5.4) verteenwoordig die vloed oor die rand van die grens van die gebied Ω .

Basisfunksies word as stuksgewyse kontinuefunksies voorgestel. Oor 'n klein subgebied (element) is dit as nie-nul gedefinieer. Die elemente wat in hierdie simulasielopgawe gebruik is, bestaan uit vierhoeke. As gevolg van die onreëlmatige vorme van die elemente is dit nodig om van spesiale numeriese integrasie gebruik te maak. Hierdeur word die onreëlmatige elemente wat in (x,y) (globale koördinate) gedefinieer is, getransformeer na 'n lokale (ξ, η) koördinaatsisteem (Figuur 5.1).



Figuur 5.1. 'n Vervormde isoparametriese vierhoekige element in globale (x,y) en lokale (ξ, η) koördinate.

5.3.1 MATRIKSVERWERKINGS

Die n vergelykings van (5.4) kan in matriksvorm as volg geskryf word :

$$[A] \{h\} + [B] \left\{ \frac{\partial h}{\partial t} \right\} + \{F\} = 0 \quad (5.5)$$

waar

$$A_{ij} = \iint T \left(\frac{\partial \psi_i}{\partial x} \frac{\partial \psi_j}{\partial x} + \frac{\partial \psi_i}{\partial y} \frac{\partial \psi_j}{\partial y} + \left(\frac{K}{\ell'} + C \right) \psi_i \psi_j \right) dx dy$$

$$B_{ij} = \iint S \psi_i \psi_j dx dy \quad (5.6)$$

$$F_i = - \iint \psi_i \left(\frac{K}{\ell'} h_w - Q + Ch' \right) dx dy - \int \psi_i \sum_{j=1}^n T \left(\frac{\partial \psi_j}{\partial x} \ell_x + \frac{\partial \psi_j}{\partial y} \ell_y \right) h_j dS$$

$$\text{As } T_{xx} = T_{yy} = T$$

Dit moet daarop gelet word dat die ruimtelike probleem met behulp van eindige elemente benader word, terwyl die tydsafgeleide met behulp van eindige verskil-tegnieke verkry word. Uit ondervinding is gevind dat die implisiete terugwaartse verskil-tegniek voldoende akkuraatheid vir die grondwatervloei-vergelyking gee (Pinder en Gray, 1977). Die matriks-vergelyking lyk as volg :

$$([A] + [B] / \Delta t) \{H\}_{t+\Delta t} = [B] / \Delta t \{H\}_t - \{F\} \quad (5.7)$$

waar die bekendes aan die linkerkant en die onbekendes aan die regterkant voorkom. Dit is belangrik om daarop te let dat die matrikse [A] en [B] net eenkeer gegenereer word. Slegs wanneer die geometrie van die elementkonfiguratie verander, is dit nodig om hierdie matrikse 'n tweede keer te gene-

reer. Die matriks $([A] + [B] / \Delta t)$ is simmetries, yl en geband en gevolglik kan die Cholesky-metode gebruik word om dit op te los.

5.3.2 RANDVOORWAARDES

Eindige element-modelle kan konstante hoof of konstante vloed as twee algemene randvoorwaardes aanvaar.

Randvoorwaardes met konstante hoof (Dirichlet) kan in die model geïmplementeer word deur die aanvangshoofvoorwaardes by gekose randnodes te spesifiseer en die rye en kolomme wat daarmee in die koëffisiëntmatriks geassosieer is, uit te faktorisier.

Konstante vloedrandvoorwaardes (Neumann) word geakkommodeer deur 'n waarde vir die laaste term in (5.4) te spesifiseer :

$$- \int_{\Omega} T \left(\frac{\partial \hat{h}}{\partial x} x_x + \frac{\partial \hat{h}}{\partial y} x_y \right) \psi_i d\Omega = - \int_{\Omega} q_n \psi_i d\Omega \quad (5.8)$$

5.3.3 RANDVLOED-METODE

Die akkuraatheid van eindige element oplossings in gebiede waar drastiese veranderings in parameterwaardes plaasvind, was nog altyd in die verlede bevraagteken. 'n Goeie voorbeeld hiervan is die steil gradiënte wat in die omgewing van aanvullings- of onttrekkingspunte verkry word. Voorheen is hierdie probleem gedeeltelik oorkom deur hoër graad basisfunksies in die omgewing van sulke punte te neem. Die enigste manier waarop hierdie probleem oorkom kan word, is deur die puntsingulariteit te verwyder.

Werk wat deur Bakkes *et al* (1981) gedoen is, het aangetoon dat die sink-term deur 'n vloedterm op die rand van 'n sirkel of 'n ellips vervang kan

word. In die geval van 'n isotrope medium word 'n sirkel gebruik, terwyl 'n ellips vir 'n anisotrope medium geldig is. Die sirkel of ellips kan enige deursnee hê, maar daar is oor die algemeen gevind dat 'n sirkel met 'n deursnit van ongeveer 300 meter die beste resultate oplewer. Gedurende die oplossing van die sisteem word die vloeiterm Q nie in die middel van die sirkel nie, maar wel op die rand van die sirkel self gespesifiseer. Waar oplossings buite die sirkel stuksgewys verkry word, word 'n kontinue oplossing binne die sirkel verkry. Bakkes *et al* kon aantoon dat die oplossing wat so-doende binne die sirkel verkry word goed met die van die analitiese oplossing vergelyk.

5.3.4 DIE OPTIMALE Θ -METODE

Een van die grootste probleme wat daar in die verlede met numeriese simulaties ondervind is, was die regulering van die tydsinkremente. Ten eerste moes 'n besluit ten opsigte van die aanvangstaplengte geneem word, waarna 'n verdere besluit ten opsigte van die inkremente vir die onderskeie stappe geneem moes word. Die akkuraatheid van die oplossing is nou aan hierdie twee faktore gekoppel. Botha *et al* (1981) het op grond van die werk wat deur Laurie (1975) gedoen is, 'n optimale θ -tegniek ontwikkel waarvolgens nie alleen die begintydstep nie, maar ook die tydsinkrement optimaal gereguleer kon word. Die voordeel van hierdie tegniek is dat slegs een parameterwaarde, ϵ , gespesifiseer word. Hierdie waarde verteenwoordig die numeriese fout wat as gevolg van die aanvangtydstep en die tydsinkrement op die oplossing afgedwing word. Hoe kleiner ϵ gevolglik gekies word, hoe akkurater is die numeriese oplossing. Aangesien die tydsinkremente optimaal geïnkrementeer word, was Botha *et al* in staat om aan te toon dat 'n rekenaartydsbesparing van ongeveer 45 persent deur die implementering van hierdie tegniek bewerkstellig kon word.

5.4 DIE REKENAARPROGRAM - INVOER EN UITVOER

5.4.1 INLEIDING

Die eindige element-program wat in hierdie navorsing gebruik is, is vanuit die ISOQUAD-program van Pinder en Frind ontwikkel. Veranderinge wat spesifiek vir die simulering van die Sishen-akwifereer aangebring is, behels die inskakeling van die randvloed-tegniek en die optimale θ -metode. Ook is verskeie veranderinge aan die invoer en uitvoer van die program aangebring. Hierdeur kan 'n verskeidenheid van grafiese voorstellings, wat nie in die oorspronklike ISOQUAD-model beskikbaar was nie, verkry word.

5.4.2 PROGRAMSTRUKTUUR

Die rekenaarprogram is in FORTRAN77 geskryf om op 'n UNIVAC 1100-reeks geïmplementeer te word. Dit bestaan uit 'n hoofprogram ISOQUAD en nege subprogramme. Die struktuur van die program is as volg :

ISOQUAD : In die hoofprogram word die matrikse gedimensioneer en subprogramme word hieruit geroep. Die subprogramme dien die volgende doel :

MNPROG : Hierdie subprogram lees al die data en bereken onder andere die globale koëffisiëntmatriks. Dit roep ook die ander subprogramme en dien as die hoofsubprogram vir die uitskryf van die resultate.

EROR : Hierdie subroetine inkorporeer die optimale θ -metode. Die begin-tyd asook die tydsinkrement word deur hierdie subroetine beheer.

SHAPEJ : Hierdie subroetine genereer die waardes vir die basisfunksies, hul afgeleides en die determinant in die globale (x,y) ruimte. Die basisfunksies is van die Serendipity-tipe en kan tot 'n kubiese orde aanneem.

DBANDI : Hierdie subroetine plaas die koëffisiëntmatriks in bo-driehoekige vorm met behulp van die Cholesky-metode.

SBANDI : Hierdie subroetine gebruik die resultate van DBANDI tesame met die bekende vektor vir terugsubstitusie om die verlangde oplossing by 'n sekere tydstap te verkry.

GREEN : Die GREEN-subroetine verwyder die puntsingulariteit wat by die sirkelvormige of ellipsvormige onttrekkings- of aanvullingselemente ontstaan deur gebruik van die randvloed-metode.

EXPI : Hierdie subroetine bereken die eksponensiële integraal deur die gebruik van 'n reeksuitbreiding.

J0 en J1 : Hierdie subroetines bereken respektiewelik die nulde en eerste orde Besselfunksies.

5.5 INVOERDATA

DATAstel 1 : IDENTIFIKASIE

CARD	A4	Pons ISOQ in kolom 1-4
------	----	------------------------

DATAstel 2 : TITLE

TITLE	A80	Hierdie inligting word net so bo-aan die drukstuk gedruk
-------	-----	--

DATASTEL 3 : ELEMENTIDENTIFIKASIE

NN	I5	Aantal nodes
NE	I5	Aantal elemente
NS	I5	Aantal Dirichlet-nodes
NB	I5	Halfbandwydte van die globale koëffisiëntmatriks
NF	I5	Aantal onttrekkings- of aanvullingsgate
NL	I5	Aantal lekkende elemente
NAUX	I5	Aantal bykomstige punte waarby oplossings benodig word
NWELL	I5	Aantal sirkelvormige elemente

DATASTEL 4 : SIRKELVORMIGE ELEMENTINLIGTING

Indien NWELL gelyk is aan nul, gaan dan na datastel 5

IWELL(I)	16I5	Sirkelvormige elementnommers I = 1, ..., NWELL
----------	------	---

DATASTEL 5 : TYDIDENTIFIKASIE

DELT	F10.0	Begin tydstep in uur (indien die optimale θ -metode vind dat hierdie waarde te groot is, sal dit outomaties verklein word na die optimale waarde, maar as DELT klein genoeg is, word hierdie waarde aanvaar)
IHOEV	I10	Maksimum aantal tydsteppe
EPS	F10.0	EPS is 'n foutfaktor wat in die optimale θ -metode gebruik word. Hoe groter EPS hoe growwer die oplossing ($0 < EPS \leq 1$)

DATASTEL 6: TYDSTAPIDENTIFIKASIE

TYE(I)	7F10.0	Kumulatiewe tye in dae waarna die oplossings verlang word	$I = 1, \dots, IHOEV$
--------	--------	---	-----------------------

DATASTEL 7: BEHEERKODES

'n Waarde van een stel die kode in werking en 'n waarde van nul onderdruk die kode

KOD1	I5	Massabalans word verlang
KOD2	I5	Uitdruk van die koëffisiëntmatriks
KOD3	I5	Uitdruk van die globale koëffisiëntmatriks
KOD4	I5	Verlang net die stabiele toestandsoplossing
KOD5	I5	Uitdruk van die bekende vektor
KOD6	I5	Lees transmissiwiteite vir elke node in
KOD7	I5	Beskou as 'n watertafelprobleem
KOD8	I5	Lees onttrekkings- en aanvullingstempo's in vir elke tydstap in teenstelling met die inlees van konstante tempo's wat dieselfde bly vir alle tydstappe

DATASTEL 8: SKAALFAKTOR

FACTOR	F10.0	Vermenigvuldingsfaktor vir die nodekoördinate
--------	-------	---

DATASTEL 9: SIRKELVORMIGE ELEMENTIDENTIFIKASIE

Indien NWELL gelyk is aan nul gaan dan na datastel 10

WD(I,1)	F10.0	X-koördinaat van die middelpunt van die I-de sirkelvormige element
WD(I,2)	F10.0	Y-koördinaat van die middelpunt van die I-de sirkelvormige element
RR(I)	F10.0	Straal van die I-de sirkelvormige element
FK(I)	F10.0	Aanvanklike onttrekkings- of aanvullings-tempo (m^3/dag) van die I-de sirkelvormige element vir alle $I = 1, \dots, NWELL$

DATAstel 10 : NODEKOÖRDINATE

J	I5	Nodenommer
X(J)	F10.0	X-koördinaat van node J
Y(J)	F10.0	Y-koördinaat van node J

DATAstel 11 : BYKOMSTIGE NODE-INLIGTING

Indien NAUX gelyk is aan nul gaan dan na datastel 12

IL(K)	I5	Elementnommer waarin die bykomstige punt is
X9(K)	F10.0	X-koördinaat van die bykomstige punt
Y9(K)	F10.0	Y-koördinaat van die bykomstige punt

DATAstel 12 : ONTTREKKINGS- EN AANVULLINGSTEMPO'S

IQ	I5	Nodenommer waar onttrekking of aanvulling gespesifiseer word
FQ(IQ)	F10.0	Grootte van die onttrekkings- of aanvullingstempo's, onttrekking is negatief en aanvulling is positief

Daar moet NF-8*NWELL reëls wees aangesien die aanvanklike tempo's van die sirkelvormige elemente alreeds in datastel 9 ingelees is

DATAstel 13 : VARIËRENDE ONTTREKKINGS- EN AANVULLINGSTEMPO'S

Indien KOD8 nul is, gaan na datastel 14

IQ	I5	Nodenommer waar onttrekking of aanvulling gespesifiseer word vir die I-de tydstap
FFQ(IQ,I)	F10.0	Grootte van die IQ-de node se onttrekkings- of aanvullingswaarde vir die I-de tydstap waar I = 2, ..., IHOEV

Daar moet dus NF*(IHOEV-1) reëls wees, aangesien die onttrekkings- of aanvullingstempo's alreeds vir die eerste tydstap ingelees is. Verder moet opgelet word dat die onttrekking en aanvulling van die sirkelvormige elemente as volg gespesifiseer moet word :

Elke sirkelvormige element bevat agt nodes, naamlik 4 hoeknodes en 4 tussennodes. Gestel die onttrekkings- of aanvullingstempo's van die sirkelvormige element word gegee deur QT, dan word die tempo van die nodes gegee deur :

$$Q(\text{tussen}) = QT * 1.75 / 11.0$$

$$Q(\text{hoek}) = QT / 11.0$$

DATAstel 14 : AANVANGSHOOFDE

UI(I)	10F7.0	Aanvangshoofde I = 1,..., NN
-------	--------	------------------------------

Daar moet 10 waardes per reël wees, dus NN/10 reëls

DATAstel 15 : NODETRANSMISSIWITEIT

Indien KOD6 nul is, gaan na datastel 16

PTRANS	8F10.0	Transmissiwiteitswaarde in m^2/dag vir elke node
--------	--------	--

Daar moet NN/8 reëls wees

DATAstel 16 : ELEMENTTRANSMISSIWITEIT EN BERGINGS-KOËFFISIËNT

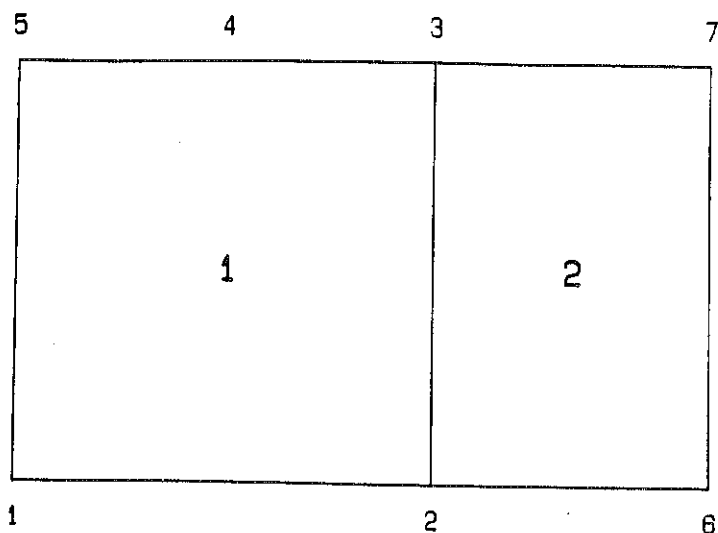
L	I3	Elementnommer
TRANS(L)	F6.0	Transmissiwiteit gedefinieer as 'n konstante waarde oor die L-de element
STORAG(L)	F6.0	Bergingskoëffisiënt gedefinieer as 'n konstante waarde oor die L-de element

Daar moet NE reëls wees en indien KOD6 gelyk is aan een word TRANS(L) gelyk aan nul gestel en in die geval waar KOD7 een is, is STORAG(L) die soortlike lewering

DATAstel 17 : ELEMENTRAAKPUNTE

L	I3	Elementnommer
CHAR	VRY FORMAT	Die hoek en sy nodes van die L-de element

Die nodenommers word aangeteken deur by 'n hoeknode te begin en anti-kloksgewys om die element te beweeg. Elke hoeknodenommer word direk deur 'n dollarteken gevolg en die begin hoeknodenommer word aan die einde van die reël herhaal. Een of meer spasies moet die nodes skei. Ter verduideliking beskou Figuur 5.2 :



Figuur 5.2. Elementraakpunt-voorstelling.

1	1\$	2\$	3\$	4	5\$	1\$
2	2\$	6\$	7\$	3\$	2\$	

Daar moet dus NE reëls wees

DATAstel 18 : DIRICHLET RANDNODES

Indien NS gelyk is aan nul gaan na datastel 19

LRT	2014	Dirichlet nodenommer
-----	------	----------------------

Daar moet NS/20 reëls wees

DATAstel 19 : LEKKENDE ELEMENTPARAMETERS

Indien NL gelyk is aan nul gaan na datastel 20

HYCOND	F15.0	Hidrouliese geleiding van die begrensde laag
--------	-------	--

SS	F15.0	Soortlike lewering van die laag
----	-------	---------------------------------

Nuwe reël

I	I5	Lekkende elementnummer
THK(I)	G10.0	Dikte van die begrensde laag
HZERO(I)	G10.0	Hidrouliese hoof in die aangrensende akwifereer

Daar moet nou NL+1 reëls wees

DATAstel 20 : EINDE VAN DIE DATA-IDENTIFIKASIE

CARD	A4	XXXX dui aan dat dit die einde van die data is
------	----	---

HOOFSTUK 6

KALIBRASIE VAN MODEL

6.1 INLEIDING

Die implementering van die rekenaarmodel soos dit in die vorige hoofstuk beskryf is, lewer in die geval van Sishen spesifieke probleme op. Vir die suksesvolle implementering van die model moet hidrouliese parameterwaardes by elk van die nodes gespesifiseer word. In die Sishen-gebied bestaan daar geen transmissiwiteits- of bergingswaardes wat met behulp van pomp-toetsing vasgestel is nie. Syfers vir aanvulling tot die akwifer was ook nie beskikbaar nie. Ander essensiële parameterwaardes soos lekkasie vanuit die Kalaharilae of deurvloei deur die dolerietgange is ook nie voorheen bepaal nie. Die effek van kunsmatige aanvulling vanuit die afvoersloot vir die grondwater wat vanuit die myn gepomp word en aanvulling vanaf die slikdamme is nie gekwantifiseer nie. Kortom, die enigste inligting wat in hierdie simulasielopgawe gebruik kon word, was pompsyfers vanuit die myn en die resultante watervlakdalings in en om die myn.

In gevalle waar so min inligting beskikbaar is, is dit gewoonlik die beste om die sogenaamde inwersbenadering te volg. Dit behels kortliks dat afskattings vir transmissiwiteits- en bergingswaardes vanuit die potensiometriese verspreiding in die gebied verkry kan word. Ongelukkig is hierdie tegniek relatief onsensitief en groot foute kan deur die implementering daarvan in die sisteem ingebou word. 'n Tweede alternatief is dié van 'n statistiese benadering, waardeur die watervlakreaksies statisties aan eksterne invloede soos uitpompings van grondwater en reënval gekoppel word. Die gebruik van hierdie metode om watervlakreaksies te voorspel, is deur Hodgson

(1978), Nel en Van der Merwe (1980) en Willemink (1982) gedemonstreer. Hierdie tegnieke kan van waarde in die voorspelling van watervlakreaksies op spesifieke punte in die sisteem wees. 'n Nadeel hiervan is egter dat dit nie die hidroulika van die sisteem in ag neem nie en dat enige ongewone invloede op die sisteem, soos drastiese veranderings in pomppatrone, nie sonder meer geïnkorporeer kan word nie.

Die enigste alternatief is die gebruik van die eindige element-model soos dit in die vorige hoofstuk beskryf is. Gevolglik moet hidrouliese parameterwaardes aan die hand van geologiese inligting en watervlakkontoere soos dit in Junie 1979 was, toe toegeken word.

6.2 OPSTELLING VAN EINDIGE ELEMENT-NETWERK

In die opstelling van 'n eindige element-netwerk moet die geometrie van die vernaamste komponente wat tot grondwaterbeweging in die gebied bydra, in die netwerk geïnkorporeer word. 'n Groot verskeidenheid van geohidrologiese parameters wat moontlik 'n rol in grondwaterbeweging in die Sishen-gebied speel, kom egter voor. Indien elk van hierdie aspekte in so 'n netwerk uitgebeeld sou word, sal die netwerk so omvangryk en kompleks wees dat die model met moeite gemanipuleer kan word. Ten einde 'n idee van die verskillende aspekte wat moontlik 'n rol in grondwaterbeweging in die Sishen-gebied kan speel, te verkry, is die volgende lys saamgestel:

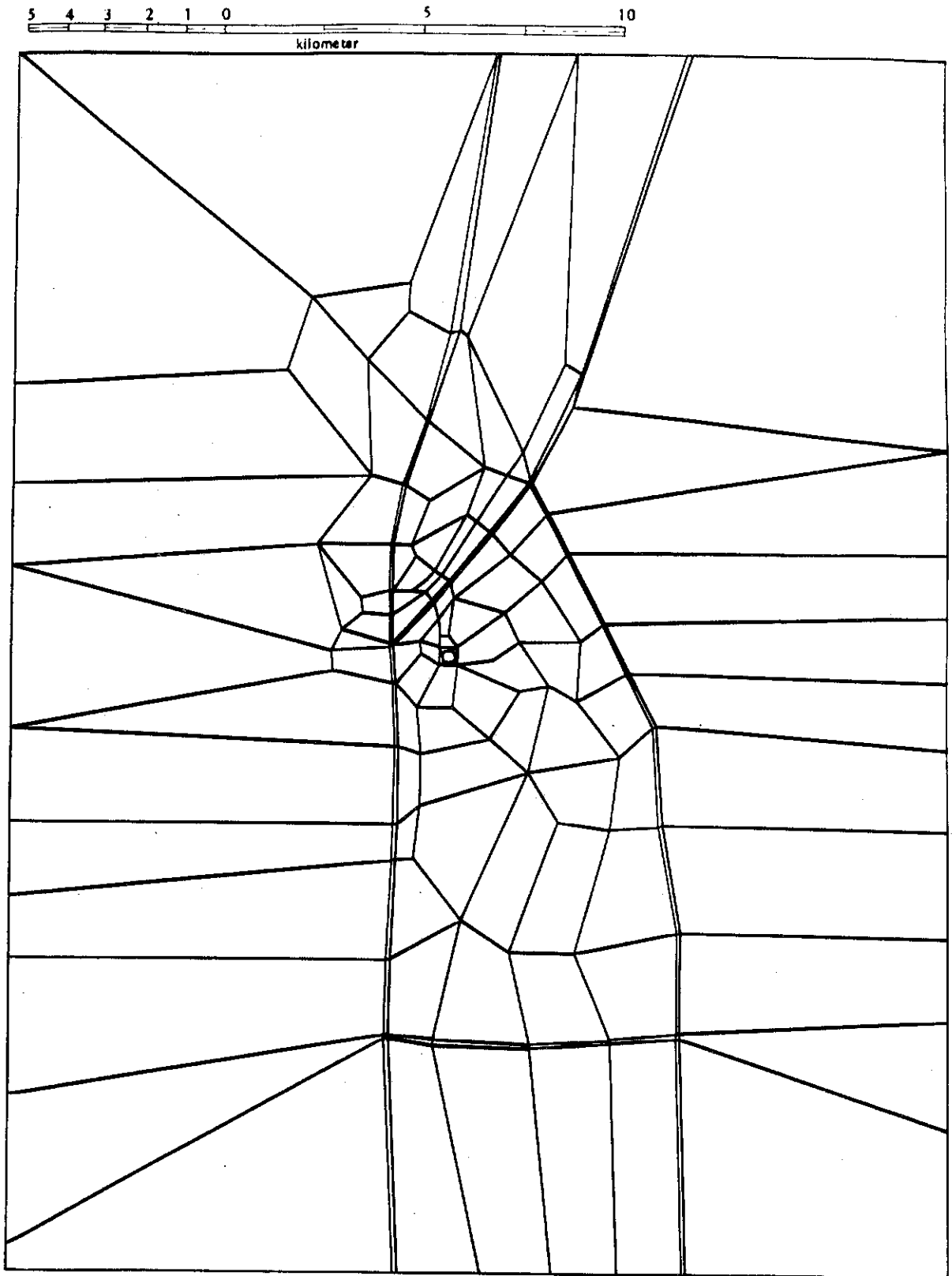
- topografie,
- grondwatervlakke,
- reënval,
- oppervlakdreinerings,
- evapotranspirasie,
- fonteine,

geologie,
verskuiwings en nate,
mynbou-aktiwiteite,
boorgatposisies,
kunsmatige aanvulling, en
grense van die gebied.

Indien al hierdie aspekte in 'n enkele netwerk geïnkorporeer moes word, sou dit 'n onbegonne taak wees.

Een van die hoofbeperkende faktore in die opstelling van 'n netwerk is die grootte van die netwerk self, d.w.s. die aantal elemente. In enige eindige element simulatie waar relatief min inligting oor hidrouliese parameterwaardes beskikbaar is, behoort die netwerk nie meer as 150 - 250 elemente te bevat nie. Die rede hiervoor is dat heelwat simulaties nodig sal wees om afskattings vir hidrouliese parameterwaardes soos die transmissiwiteit en berging te verkry. Indien die netwerk te omvangryk is, sal heelwat rekenarytied nodig wees. In die opstelling van die netwerk is gevolglik besluit om vir eers die vernaamste komponente wat grondwaterbeweging kan beïnvloed, te akkommodeer. Indien die watervlakreaksies nie aan die hand hiervan gesimuleer kon word nie, sou die netwerk verander word om ander parameters ook te akkommodeer.

Ten eerste is die dolerietgange wat die Sishen-kompartement vorm (Figuur 2.1 en Figuur 6.1) as elemente ingedeel. Daarna is 'n sirkel om die Heuvel 2-gebied waar intensiewe uitpompings plaasvind, gekonstrueer. Die sirkel impliseer dat daar in hierdie gebied van die randvloed-tegniek gebruik gemaak sal word vir die oplossing van die vloeivergelyking. Die derde komponent wat in die netwerk geakkommodeer is, is die prominente grabenverskuiwings wat in die Suidmyn self blootgestel is. In hierdie gebied is elemente gevolglik parallel aan die verskuiwings gekies. Vierdens is oppervlakdreineringsstelsels soos die Gamogararivier, die grondwaterafvloeisluit en die



Figuur 6.1. Eindige element-netwerk vir die Sishen-gebied.

slikdamme met behulp van elemente uitgebeeld. Die vyfde komponent wat waarskynlik 'n oorheersende rol in die opstel van die netwerk in die res van die gebied gespeel het, was die watervlakkontoere. Aan die hand van hierdie kontoere kon gebiede waar verskillende transmissiwiteite moontlik heers, afgebaken word. Elemente is gevolglik so gekies dat gebiede van verskillende transmissiwiteite daardeur uitgebeeld word. Van belang in die opstelling van so 'n netwerk is die plasing van die elementnodes sodat dit met waarnemingsposisies in die akwifer saamval. Sover as moontlik is daar gepoog om nodes op boorgate waar watervlakdata beskikbaar is, te plaas. In die Noordmyn-gebied is nodes ook op die pompgate wat om die myn geleë is, geplaas.

6.3 TYDSTAPINKREMENTE

Een van die eerste beslissings wat in enige modelleringspoging gemaak moet word, is die tydstepinkrement. In die geval van Sishen waar maandelikse pompsyfers beskikbaar is en hierdie syfers nie konstant is nie, is die langste tydstep wat vir enige simulatie gebruik kan word een maand. Die vraag ontstaan gevolglik hoeveel tydsteppe vir elke maand nodig sal wees. Die bepalende faktore hier is onder andere die netwerkopstelling, transmissiwiteits- en bergingswaardes wat gebruik word en ook die verskil in die pomptempo's van twee opeenvolgende maande. Duidelik is dit geen nietige taak om met konvensionele metodes die tydsinkremente vas te stel nie.

Deur gebruikmaking van die optimale θ -tegniek kan 'n foutfaktor ϵ egter gespesifiseer word, waardeur die tydsinkremente outomaties beheer en optimaal geïnkrementeer word. Die faktor waarmee die tydsteppe geïnkrementeer word, word gegee deur :

$$\text{ALPHA} = \frac{1}{S} \sqrt{\frac{\epsilon \cdot \text{SOM2} \cdot P}{\text{SOM1}}} \quad (6.1)$$

waar

ϵ = die toleransiefaktor

S = 'n veiligheidsfaktor wat ingevoer word om te verhoed dat die afrondingsfoute te groot invloed op die inkrementering van die tydstep het. Laurie (1977) het aanbeveel dat $S = 1,1$

$$SOM1 = \sqrt{\frac{NN}{\sum_{i=1}^{NN} [(oplossing \text{ by die volgende tydstep})_i - (oplossing \text{ by huidige tydstep})_i]^2}}$$

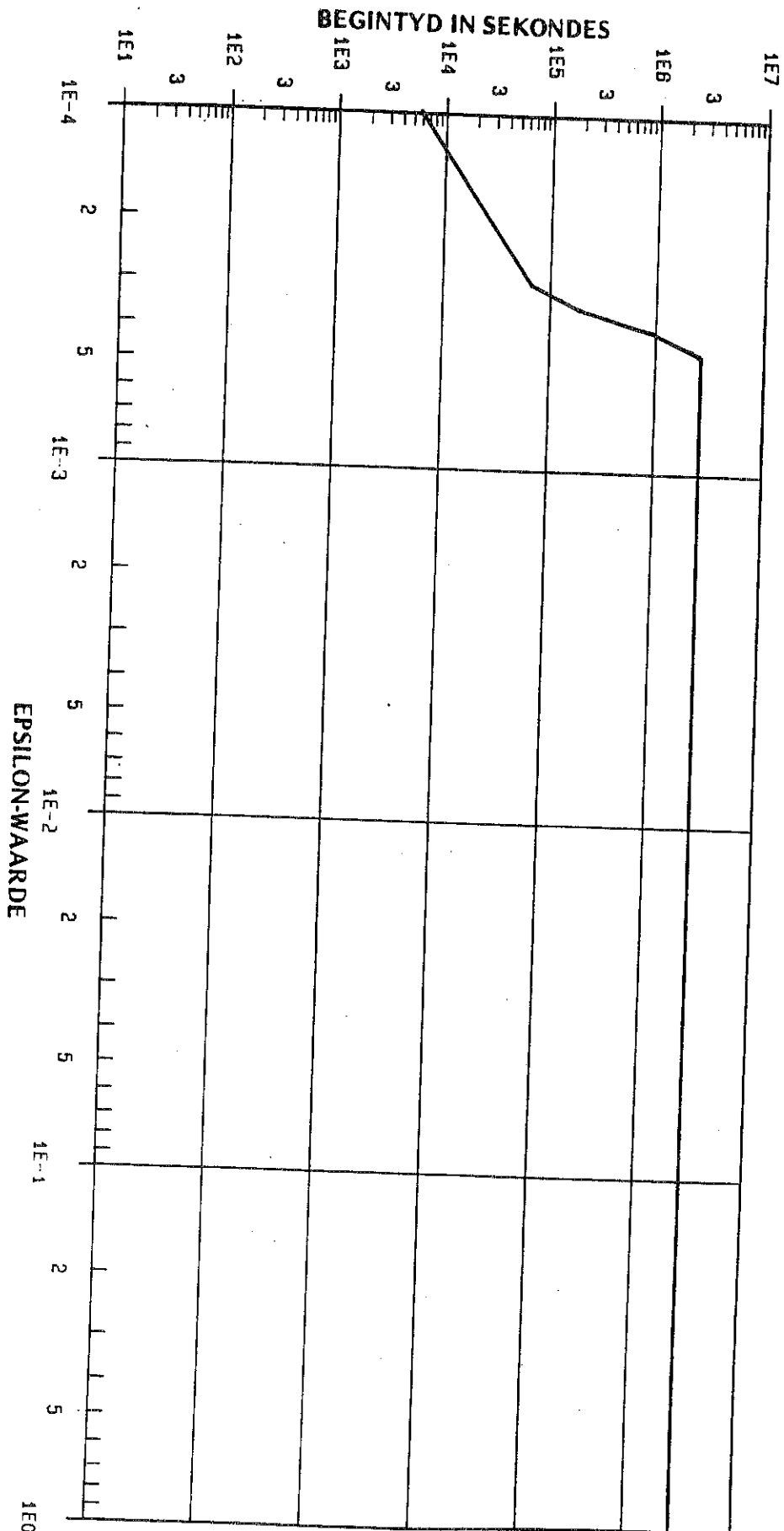
$$SOM2 = \sqrt{\frac{NN}{\sum_{i=1}^{NN} (oplossing \text{ by die volgende tydstep})_i^2}}$$

$P = 2^{P'} - 1$, waar P' = paraboliese orde van die metode, naamlik 2

NN = die aantal nodes in die eindige element-netwerk

Uit vergelyking (6.1) kan gesien word dat die grootte van ϵ die grootte van die tydsteppe beheer vir alle $0 < \epsilon \leq 1$.

Indien die begintydstep te groot gespesifiseer word, sal die optimale θ -metode outomaties 'n kleiner, optimale begintydstep vind. Hierdie begintydstep moet dan gebruik word om rekenaartyd te bespaar, anders sal daar met elke simulatie onnodige berekenings gedoen word om die optimale begintydstep te bepaal. Die grootte van die ϵ -waarde gee 'n aanduiding van die akkuraatheid van die oplossing vir die grondwatervloei-vergelyking. Vir die Sishen eindige element-netwerk is gevind dat 'n tydstepgrootte van 30 dae aanvaarbaar is vir alle $4,6478 \times 10^{-4} \leq \epsilon \leq 1$. Indien ϵ kleiner as hierdie getal gekies word, sal die rekenaar onnodige iterasies moet uitvoer om 'n nuwe begintydstep te kies (Figuur 6.2).



Figuur 6.2. Grafiese voorstelling van die foutfaktor EPS teenoor die aanvangs-tyd.

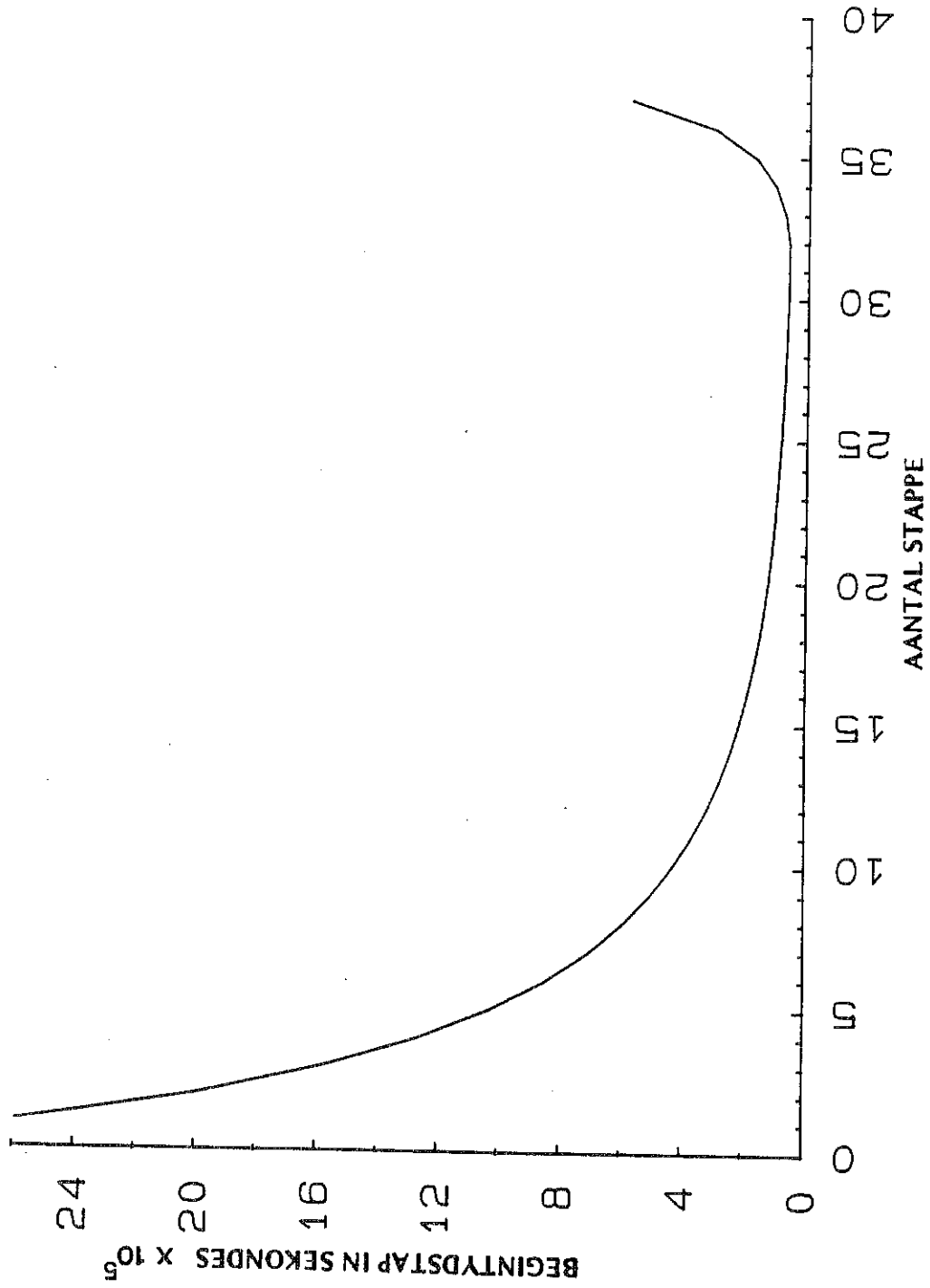
Indien ϵ van 3×10^{-4} gekies word, volg uit Figuur 6.2 dat die optimale θ -metode 'n kleiner begintydstep sal kies. Die metode begin by die groot tydstap van 30 dae en verklein dit deur elke keer 'n oplossing te bereken en dit te toets teenoor neergelegde standaarde, waaruit 'n faktor verkry word waarmee dit verklein moet word. Die proses word herhaal totdat 'n optimale begintydstep wat deur die ϵ -waarde beheer word, verkry is. 'n ϵ -waarde van 3×10^{-4} sal volgens Figuur 6.2 'n begintydstep van 64 250 sekondes afdwing. Dertig tussenssteppe sal nodig wees om hierdie waarde te verkry indien die begintyd verkeerdelik as 2 592 000 sekondes, d.w.s. 30 dae, gespesifiseer word. Nadat die optimale begintydstep met hierdie metode gevind is, word die tydsinkremente outomaties deur die rekenaar-subroetine vergroot totdat die oplossing by die gevraagde tydstap, naamlik 30 dae, gevind is (Figuur 6.3).

Die keuse van die ϵ -waarde verskil van netwerk tot netwerk. Uit Figuur 6.2 kan gesien word dat 'n waarde van $4,6478 \times 10^{-4} \leq \epsilon \leq 1$ aanvaarbaar is. Gevolglik kon daar in hierdie simulaties vir 'n begintydstep van 30 dae is. Gevolglik kon daar in hierdie simulaties met tydsinkremente van 30 dae gewerk word. Uit Figuur 6.4 volg dat die ϵ -waarde waar die maksimum akkuraatheid vir die oplossing verkry word, ooreenstem met 'n waarde van $\epsilon = 0,2$.

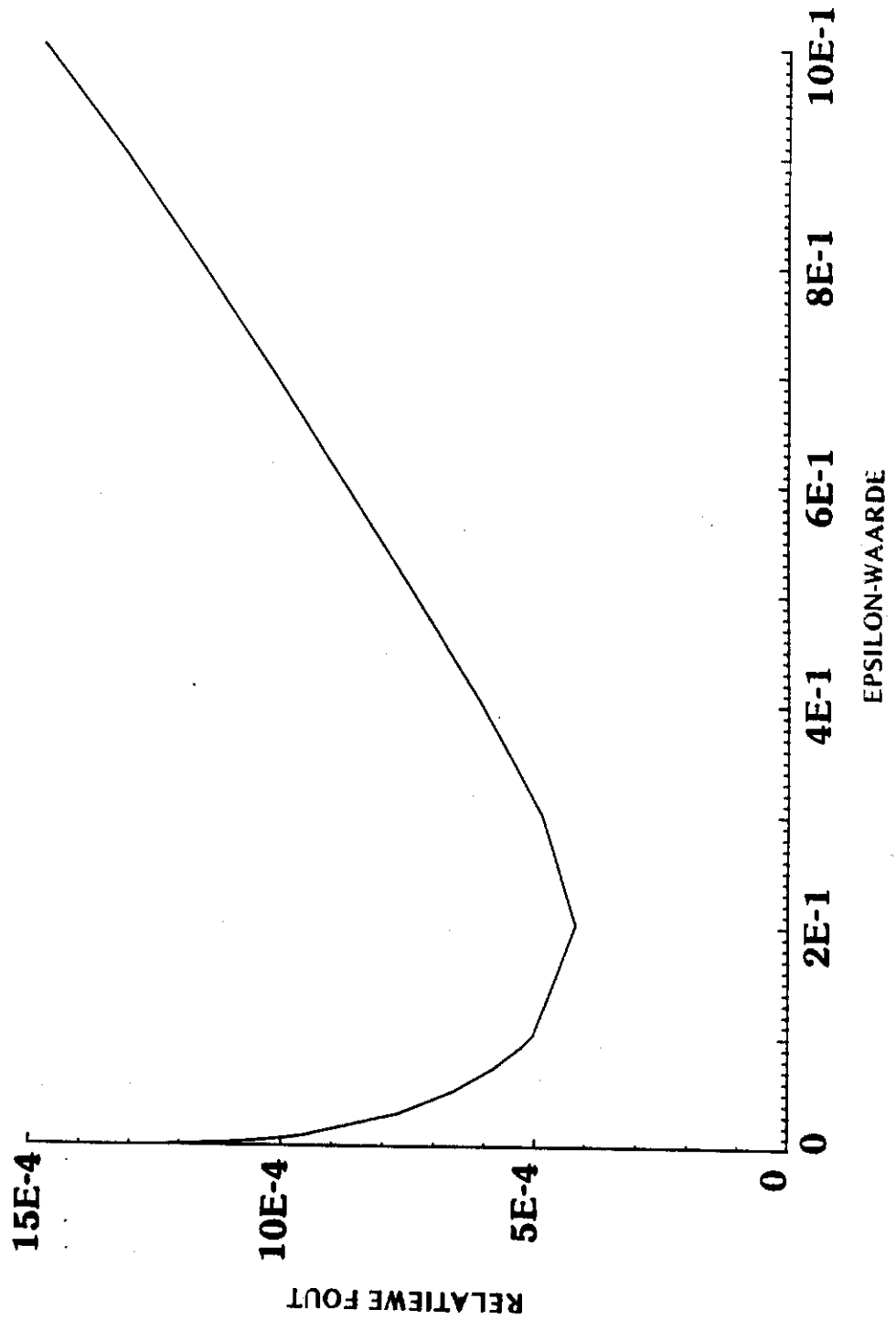
6.4 RANDVOORWAARDES

Twee tipes randvoorwaardes, naamlik Neumann en Dirichlet, kan in die model gespesifiseer word.

Neumann-randvoorwaardes kompliseer gewoonlik berekenings tot 'n sekere mate, aangesien gespesifiseerde vloed oor die grense van die gebied verskaaf moet word. Na elke tydstap moet hierdie vloetempo herbereken word, aangesien gradiënte gedurende tydstappe verander. 'n Verstelling in gradiënte sal 'n groter deurvloei tot gevolg hê.



Figuur 6.3. Grafiese voorstelling van die vermindering van die beginstap indien 'n te groot beginstap gespesifiseer word.



Figuur 6.4. Grafiese voorstelling van die verhouding tussen EPS en die relatiewe fout.

Veel eerder word daar in numeriese simulaties van Dirichlet-randvoorwaardes gebruik gemaak. Hierdeur word watervlakke op die grense van die gebied as konstant gespesifiseer. Probleme wat as gevolg van hierdie beperking voorkom, word gewoonlik geëlimineer deur die rande so ver van die ontwateringsgebied te kies dat die ontwateringskeël nie binne die tydperk van simulatie die rande van die netwerk sal bereik nie.

As 'n derde alternatief kon die rande van die gebied as ondeurlatend beskou word. Laasgenoemde het egter die nadeel dat hellende grondwatersisteme soos in die geval Sishen, nie met behulp van ondeurlatende grense gesimuleer kan word nie. Die oomblik wanneer grense vir hellende sisteme as ondeurlatend gespesifiseer word, sal grondwater vanuit die hoërliggende gedeeltes na die laerliggende gedeeltes vloei waar 'n opdamming van die grondwater by die ondeurlatende grense sal plaasvind.

In die Sishen-gebied is daar onder normale toestande beslis 'n deurvloei van grondwater vanuit die suidooste en ooste in 'n westelike rigting. Deur Dirichlet-randvoorwaardes op al die rande van die netwerk te spesifiseer, kan hierdie vereiste van grondwaterdeurvloei suksesvol in die model geakkommodeer word.

'n Beperking wat deur die spesifikasie van Dirichlet-randvoorwaardes op die sisteem geplaas word, is die feit dat grondwateraanvulling by die Dirichlet-nodes nie outomaties geïnkorporeer kan word nie. Spesiale verstellings sal na elke tydstap nodig wees indien grondwateraanvulling by die Dirichlet-nodes benodig word. Vir die doeleindes van hierdie model was dit egter nie nodig om tot hierdie stap oor te gaan nie, aangesien die Dirichlet-nodes so ver weg van die onttrekkingsgebied is dat dit in effek nie 'n rol speel nie.

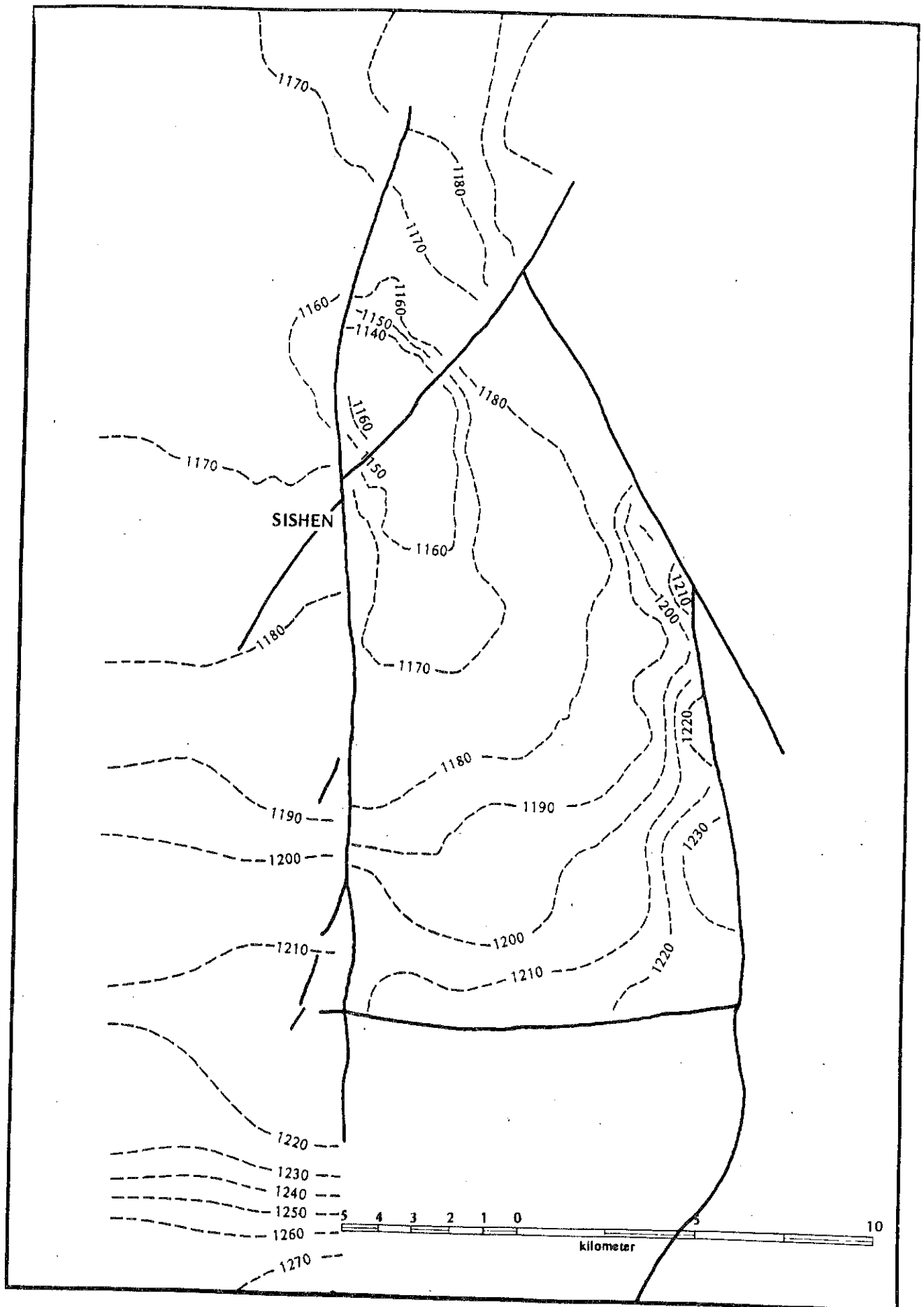
6.5 AANVANGSVOORWAARDES

Ten tye van hierdie ondersoek was die grondwatervlakke in die Sishen-omgewing reeds vir etlike jare intensief weens uitpompings versteur. In enige

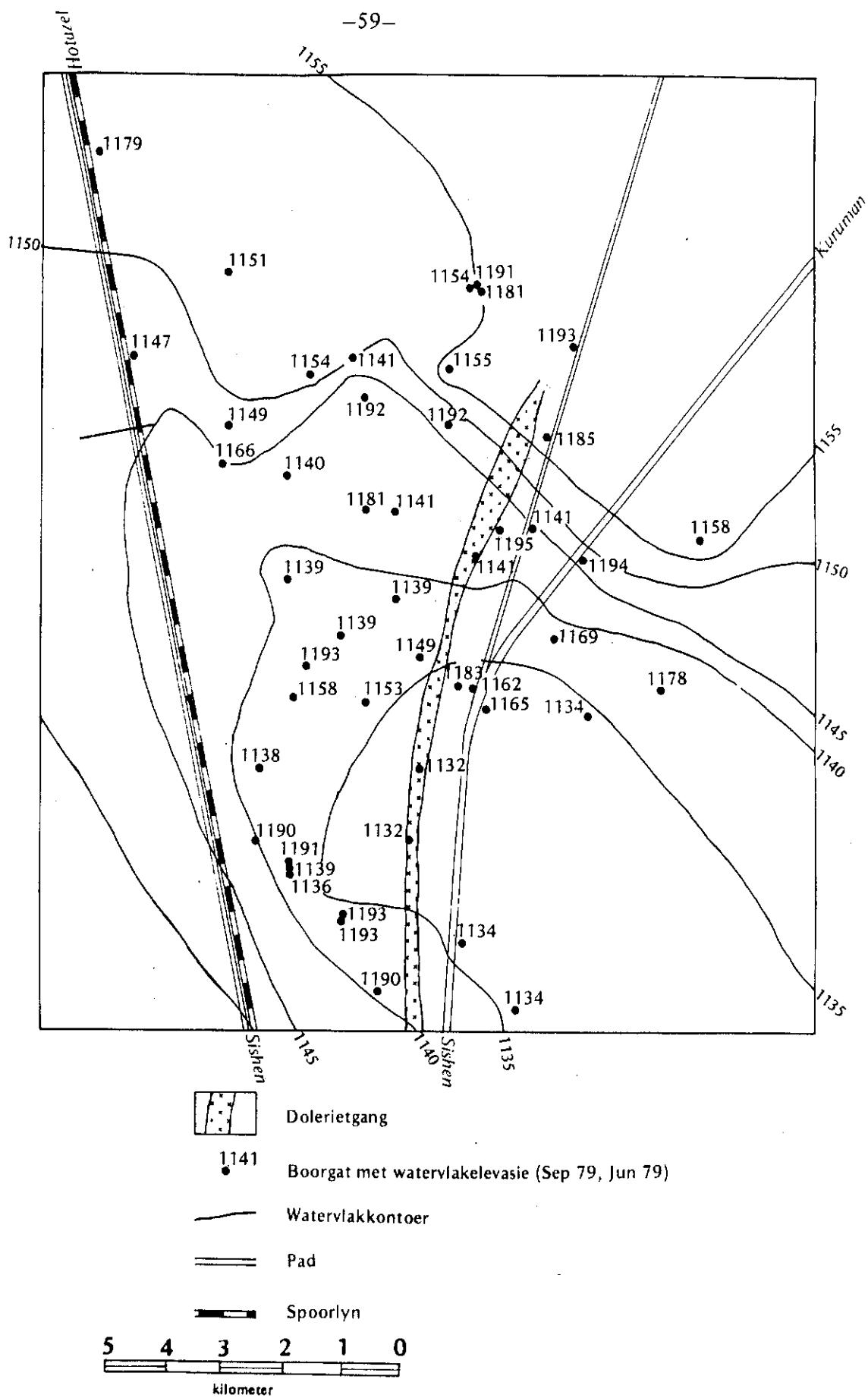
simulasiepoging sou dit verkieslik wees om vanaf natuurlike watervlaktoestande te simuleer. Ongelukkig is inligting oor watervlakke voordat mynbou-aktiwiteite begin het, maar karig. In vergelyking met grondwaterkontoere vir latere jare, soos byvoorbeeld in 1979 of 1980, kom veel meer inligting uit laasgenoemde twee kontoerkaarte tevoorskyn. Hieruit is dit duidelik dat die dolerietgange wel 'n invloed op grondwaterbeweging het; inligting wat nie deur vroeëre kontoerkaarte weerspieël word nie.

'n Voordeel van die eindige element-model is egter dat dit nie noodwendig simulasies vanaf die natuurlike toestande af hoef uit te voer nie. Die simulasieprogram kan ewenwel met inligting soos dit in Junie 1979 bekend was, as aanvangsvoorwaardes, geïmplementeer word. Om hierdie rede is daar besluit om watervlakdata van Junie 1979 as aanvangswatervlakke in die model te gebruik en vir eers watervlakreaksies 'n jaar vooruit te voorspel. Die watervlakke vir Junie 1980 was reeds ook bekend en gevolglik kon die model aan die hand van watervlakreaksies gedurende hierdie periode gekalibreer word.

Aangesien 'n eindige element simulasie-model 'n stapsgewyse benadering van die werklike situasie in beide ruimte en tyd is, spreek dit vanself dat die ruimtelike verspreiding van watervlakke soos dit as aanvangsvoorwaardes in die model geïnkorporeer word, dikwels tot verkeerde aannames kan lei. Ten einde hierdie moontlikheid te toets, is die aanvangshoofde wat per node aan die sisteem toegeken is, gekontoer en daarna met die werklike watervlakke vir 1979 vergelyk. Indien Figuur 6.5 met die kontoere in Figuur 4.11 vergelyk word, sal met die eerste oogopslag gesien word dat die grondwaterkontoere wel dieselfde vorm in beide figure het. Onreëlmatighede het egter in die kontoere van Figuur 6.5, m.a.w. die geïnterpoleerde data, verdwyn. Argumente vir en teen die vergladding van die watervlakinligting kan geopper word. Ter illustrasie van hoe moeilik dit in werklikheid is om die grondwatervlakke in die Sishen-gebied te kontoer, is 'n gedeelte van Figuur 4.11 in Figuur 6.6 vergroot. Die gebied in Figuur 6.6 sluit 'n gedeelte van die Noordmyn en die gedeelte ten noordweste daarvan in. In hierdie gebied kan die noord-suid strekkende dolerietgang



Figuur 6.5. Vergladde watervlakkontoere vir Junie 1979 wat as aanvangsvoorwaardes in die model gespesifiseer is.



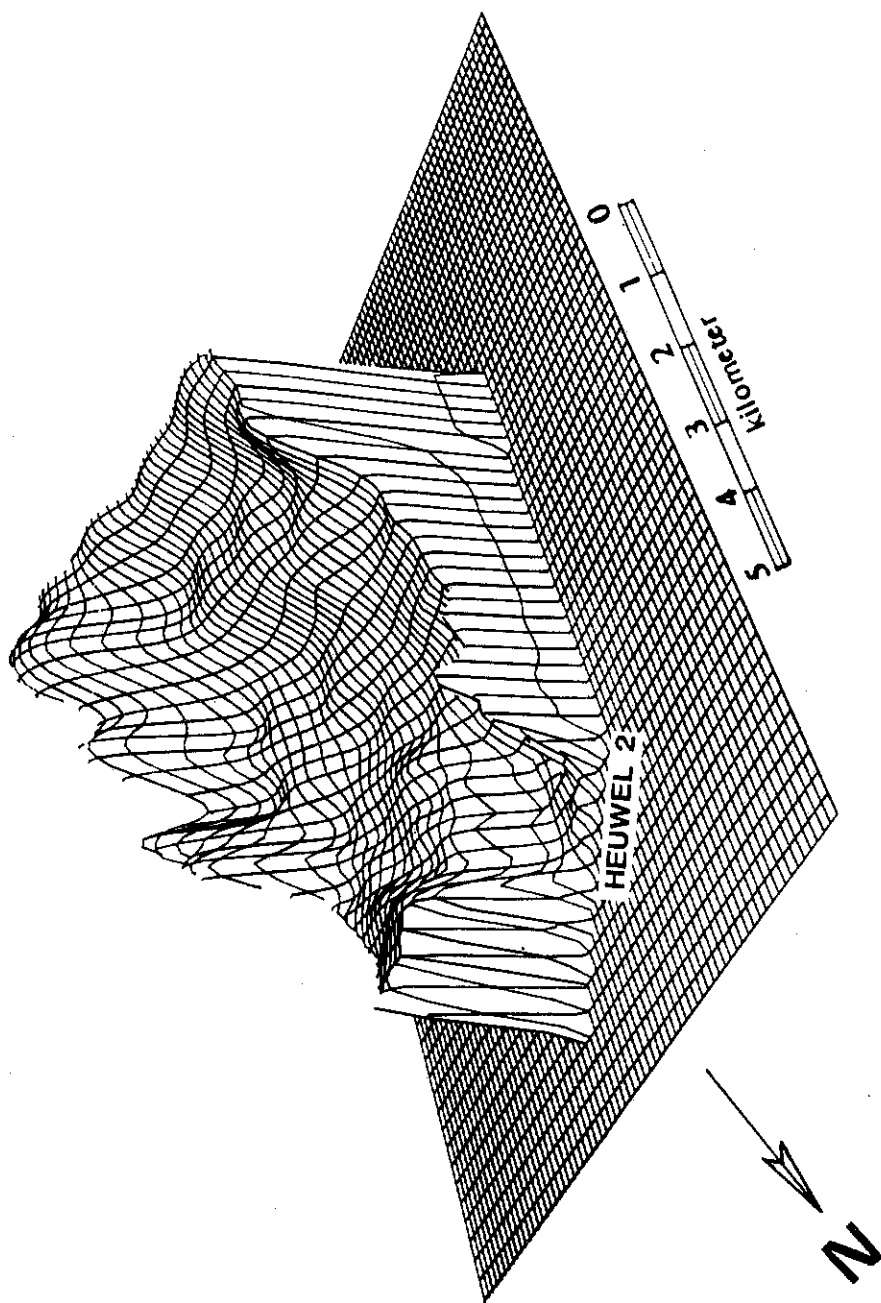
Figuur 6.6. Watervlakkontoerkaart vir Junie 1979 van 'n gebied noordwes van die Noordmyn.

duidelik waargeneem word. Kalaharilae bedek ook die ouer gesteentes. Watervlakelevasies in die boorgate soos dit in Junie 1979 gemeet is, is ook by elk van die boorgate aangedui. Die kontoere wat op die skets aangebring is, is dieselfde as wat gebruik is om die kontoere vir Figuur 4.11 af te skaal. Indien daar na die individuele watervlakelevasies by die boorgate gekyk sou word, sal daar gevind word dat drie of meer verskillende watervlakke in die gebied voorkom. Aangesien min inligting oor die individuele boorgate beskikbaar is, is 'n sekere mate van vergladding van die watervlakinligting beslis nodig voordat dit in 'n simulasiëprogram gebruik kan word. Gevolglik word die vergladding van die watervlakinligting wat as aanvangsvoorwaardes vir die simulasiëpoging gebruik is, glad nie as buitensporig beskou nie.

Ten einde die mate van versteuring van die grondwatervlak soos dit in Junie 1979 was, in die suidelike gedeelte van die Sishen-kompartement te illustreer, is Figuur 6.7 hier ingesluit. Die diepste watervlakke verteenwoordig die Heuwel 2-gebied en daar word vanaf hierdie gebied in 'n suidoostelike rigting tot by die dolerietgange wat die kompartement omsluit, gekyk. Die onreëlmatigheid van die driedimensionale vlak dui op verskillende transmissiwiteitswaardes.

6.6 TRANSMISSIWITEITS- EN BERGINGSWAARDES

Die toekenning van transmissiwiteits- en bergingswaardes vir 'n akwifere soos die Sishen-gebied, waar geen pomptoetse voorheen uitgevoer is nie, kan vir die oningeligte na 'n onbegonne taak lyk. Op grond van watervlakreaksies gedurende uitpompings van grondwater uit die myn, is dit duidelik dat 'n groot verskeidenheid van transmissiwiteite in die gebied teenwoordig is. Daarenteen, bestaan daar min rede waarom die bergingskoëffisiënt tot dieselfde mate oor die gebied sal varieer. Feitlik alle grondwater kom in die krake, nate en verskuiwings in die ouer gesteentes van die gebied voor. Ten aanvang sal dit gevolglik wys wees om die bergingskoëffisiënt sodanig



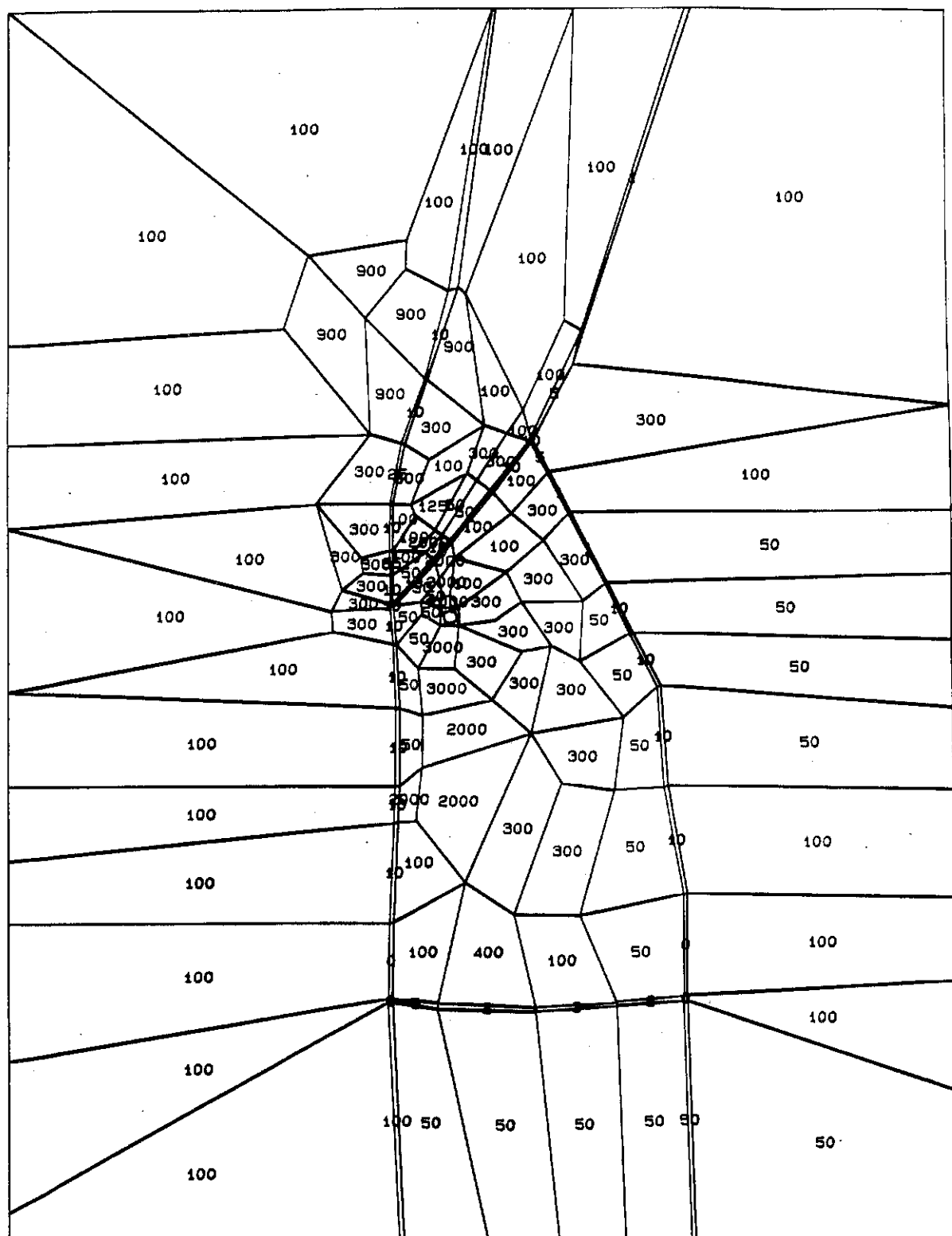
Figuur 6.7. Driedimensionale voorstelling van die waterlakte in die suidelike kompartement.

te kies dat 'n enkele syfer die hele gebied sal verteenwoordig. Daarna kan transmissiwiteite aan individuele elemente toegeken word, ten einde watervlakreaksies aan die hand van uitpompings by die myn te probeer simuleer.

Die bergingskoeffisiënt beheer hoofsaaklik die gebied waaroor die ontwateringskeël binne 'n spesifieke tydperk uitsprei. Volgens die watervlakkontoere is dit duidelik dat die ontwateringskeël die suidelike gang binne 'n kwessie van twee jaar nadat intensiewe uitpompings plaasgevind het, bereik het. Deur die bergingskoeffisiënt met behulp van die netwerk in Figuur 6.1 te varieer en 'n algemene transmissiwiteitswaarde van $800 \text{ m}^2/\text{dag}$ aan te neem, is gevind dat 'n bergingskoeffisiënt van 10^{-2} die beste resultate lewer. Toe hierdie bergingskoeffisiënt in die model gebruik is en 'n simulasië vir twee jaar uitgevoer is, is 'n daling van een meter in die watervlak by die suidelike gang gevind. Dit stem goed met werklike waarnemings ooreen.

Nadat die bergingskoeffisiënt op een persent gestel is, is transmissiwiteite volgens geologiese, strukturele en watervlakinligting gevarieer totdat die watervlakreaksies vir die periode vanaf Junie 1979 tot Junie 1980 met behulp van die rekenaarprogram nageboots kon word. In die toekenning van die transmissiwiteitswaardes moes 'n groot aantal simulasiës uitgevoer word, sodat die effek van al die verskillende komponente getoets kon word. Ten eerste moes die hoofgrabenverskuiwings in die Suidmyn met behulp van buitengewone hoë transmissiwiteitswaardes van tot $2\,500 \text{ m}^3/\text{dag}$ getoets word. Daarenteen moes die dolerietgange met transmissiwiteitswaardes van so laag as $0 \text{ m}^2/\text{dag}$ tot waardes wat met die newegesteentes ooreenstem, getoets word ten einde die effek van die gange te bepaal.

In die toekenning van transmissiwiteitswaardes is gevind dat klein verstellings aan die waardes nie 'n wesenlike verskil in die watervlakreaksies maak nie. Die transmissiwiteitswaardes wat in Figuur 6.8 aangedui word, verteenwoordig gevolglik nie rowwe skattings van die transmissiwiteitsverspreidings nie, maar waardes wat versigtig en met oorleg gedurende simulasiës vasgestel is.



Figuur 6.8. Transmissiwiteitsverspreiding soos dit in die model gebruik is.

Daar sal opgelet word dat die transmissiwiteitswaardes in die Suidmyn as gevolg van die grabenverskuiwings en gepaardgaande versteurings besonder hoog is. Dit stem ooreen met waarnemings wat gedurende die boorprogram vir die plasing van ontwateringsgate, gemaak is. Die hoë transmissiwiteit verdwyn geleidelik na die suide, maar die hele suidelike kompartement word in die algemeen deur hoë transmissiwiteitswaardes gekenmerk. Ten einde die steil gradiënte wat die watervlakkontoere in die omgewing van dolerietgange weerspieël, te kon simuleer, moes relatiewe lae transmissiwiteitswaardes in die omgewing van die dolerietgange ten suide van die myn toegeken word. Die groot verskil in watervlakke wat daar normaalweg aan weerskante van dolerietgange is, het die toekenning van relatiewe lae transmissiwiteitswaardes, gewoonlik minder as $10 \text{ m}^2/\text{dag}$, vir die gange genoodsaak. Die noordoos-strekkende gang wat die Suidmyn van die Noordmyn skei, is skynbaar ondeurlatend en 'n transmissiwiteitswaarde van $0 \text{ m}^2/\text{dag}$ is daaraan toegeken. Noordwaarts, verby Kathu, is die teenwoordigheid van gange nog nie bewys nie. Alhoewel die eindige element-netwerk vir die verlenging van hierdie gange voorsiening maak, is transmissiwiteitswaardes vir hierdie geprojekteerde gange in ooreenstemming met die transmissiwiteitswaardes van die newegesteentes toegeken. Tot tyd en wyl die teenwoordigheid van die gange in hierdie gebiede bewys is, is die relatiewe hoë transmissiwiteitswaardes in hierdie strukture waarskynlik aanvaarbaar.

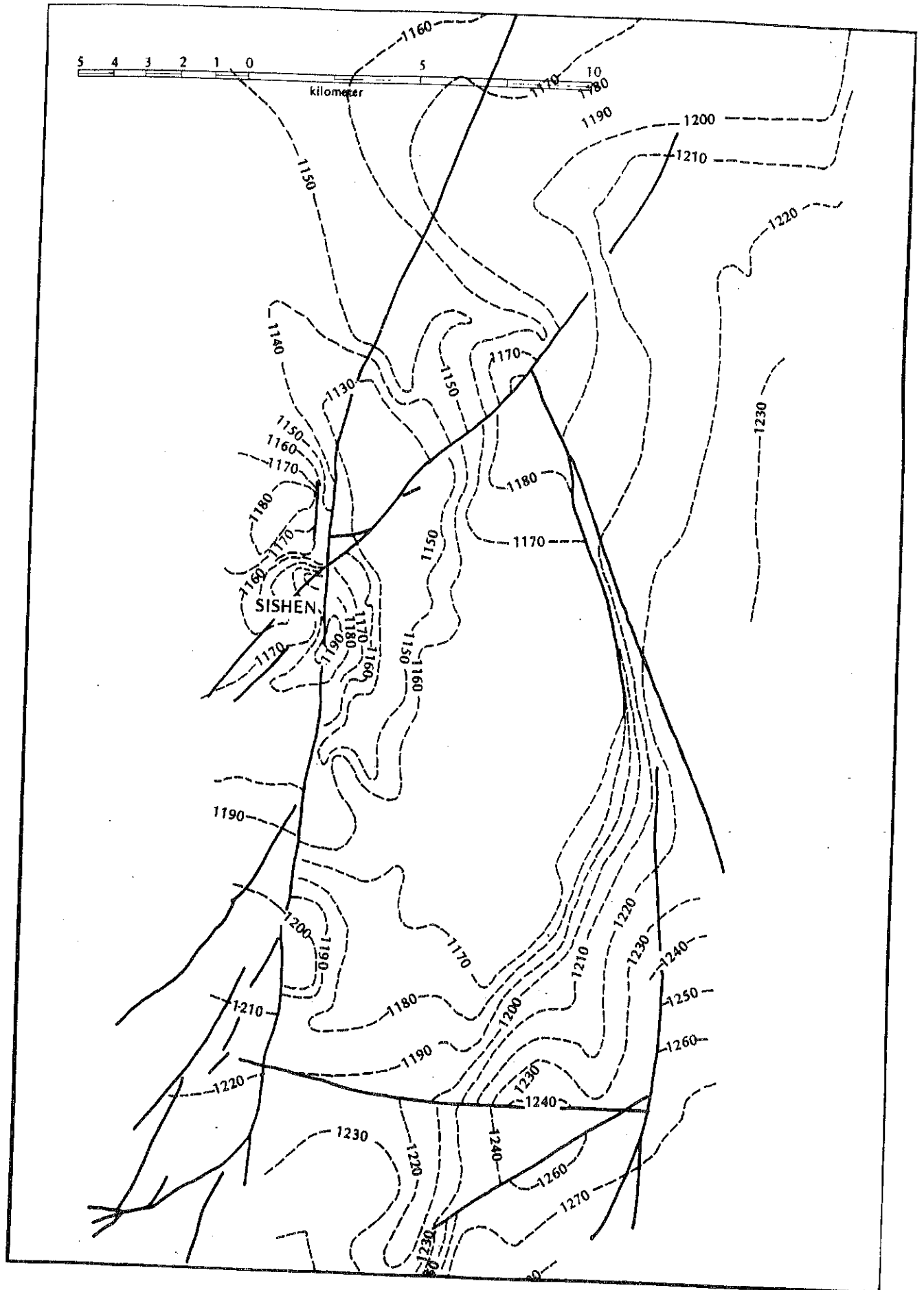
Vir die gebied buite die Sishen-kompartement, tot by die rand van die netwerk, is transmissiwiteitswaardes wat wissel van 50 tot $100 \text{ m}^2/\text{dag}$ toegeken. Hierdie waardes lyk relatief laag in verhouding met die hoë transmissiwiteitswaardes binne die Sishen-kompartement. Die waarneming moet egter gemaak word dat die versteuring van die grondwater in hierdie gebiede tans minimaal is. Sones van hoër of laer transmissiwiteit in hierdie gebiede word gevolglik nog nie deur watervlakreaksies weerspieël nie. Wanneer die ontwateringskeël verder uitsprei, sal dit moontlik wees om 'n meer gedetailleerde prentjie van die transmissiwiteitsverspreiding in hierdie gebiede te gee. Tot tyd en wyl dit plaasvind, kan die syfer van ongeveer $100 \text{ m}^2/\text{dag}$ as 'n algemene transmissiwiteitswaarde vir die randgebiede beskou word.

Tot in hierdie stadium van die ondersoek is aspekte soos lekkasie vanuit die Kalaharilae, aanvulling vanuit reënval of kunsmatige aanvulling as gevolg van mynbou-aktiwiteite, in die opstelling van die model buite rekening gelaat. Die doel hiervan is om die model so min as moontlik te kompliseer. Indien elkeen van die parameters wat 'n bydrae tot die geohidrologiese siklus in die Sishen-gebied maak, in so 'n model gekonsidereer sou word, sal 'n oneindige aantal moontlikhede ontvou. Dit sou geen werklike toets vir die model wees nie, aangesien 'n tekort aan water in sekere gebiede gerieflikheidshalwe met reënwater aangevul kan word. Vele ander soortgelyke voorbeelde kan genoem word. In hierdie ondersoek is daar gevolglik gepoog om aan die hand van die vernaamste parameterwaardes, naamlik transmissiwiteit en berging, die simulاسie sover as moontlik te voer, en, indien dit dan nie voldoende is nie, van bykomende parameters soos aanvulling of evapotranspirasie gebruik te maak.

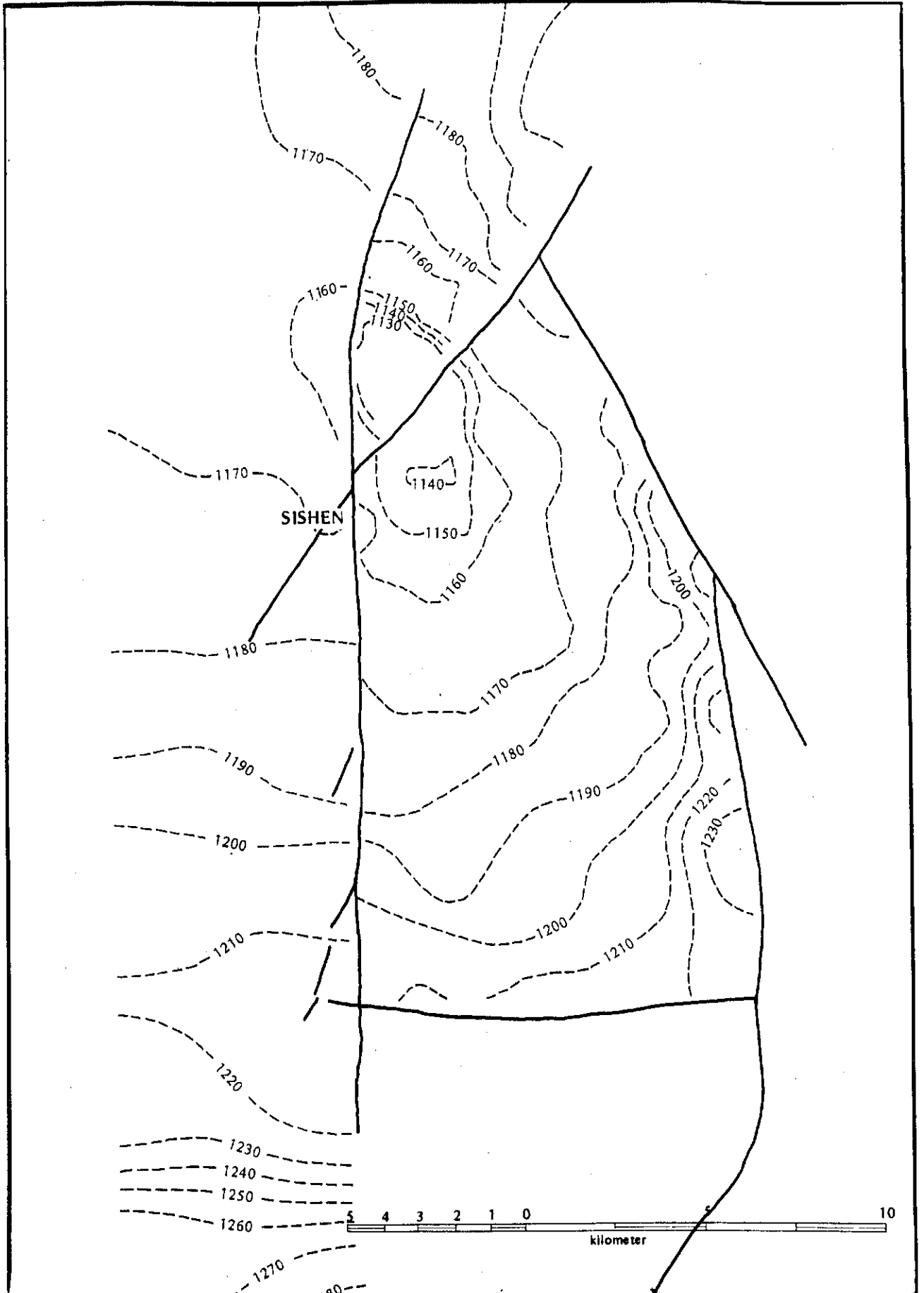
6.7 VOORSPELLING VIR TYDPERK JUNIE 1979 TOT MEI 1982

Aan die hand van transmissiwiteits- en bergingswaardes wat vanuit die werk in die vorige paragraaf verkry is, en ook deur gebruik te maak van watervlakke soos vir Junie 1979 as aanvangswatervlakke, is voorspellings van watervlakke vir Junie 1980 en Mei 1982 gemaak. Vir kalibrasiedoeleindes was kontoere van gemete watervlakke wat met die hand deur Dziembowski (1980) gekontoer is, beskikbaar (Figuur 6.9). Die voorspelde watervlakke vir Junie 1980 en Mei 1982 word onderskeidelik in Figure 6.10 en 6.11 aangedui. 'n Vergelyking van die werklike watervlakke en die voorspelde watervlakke vir Junie 1980 dui op die volgende :

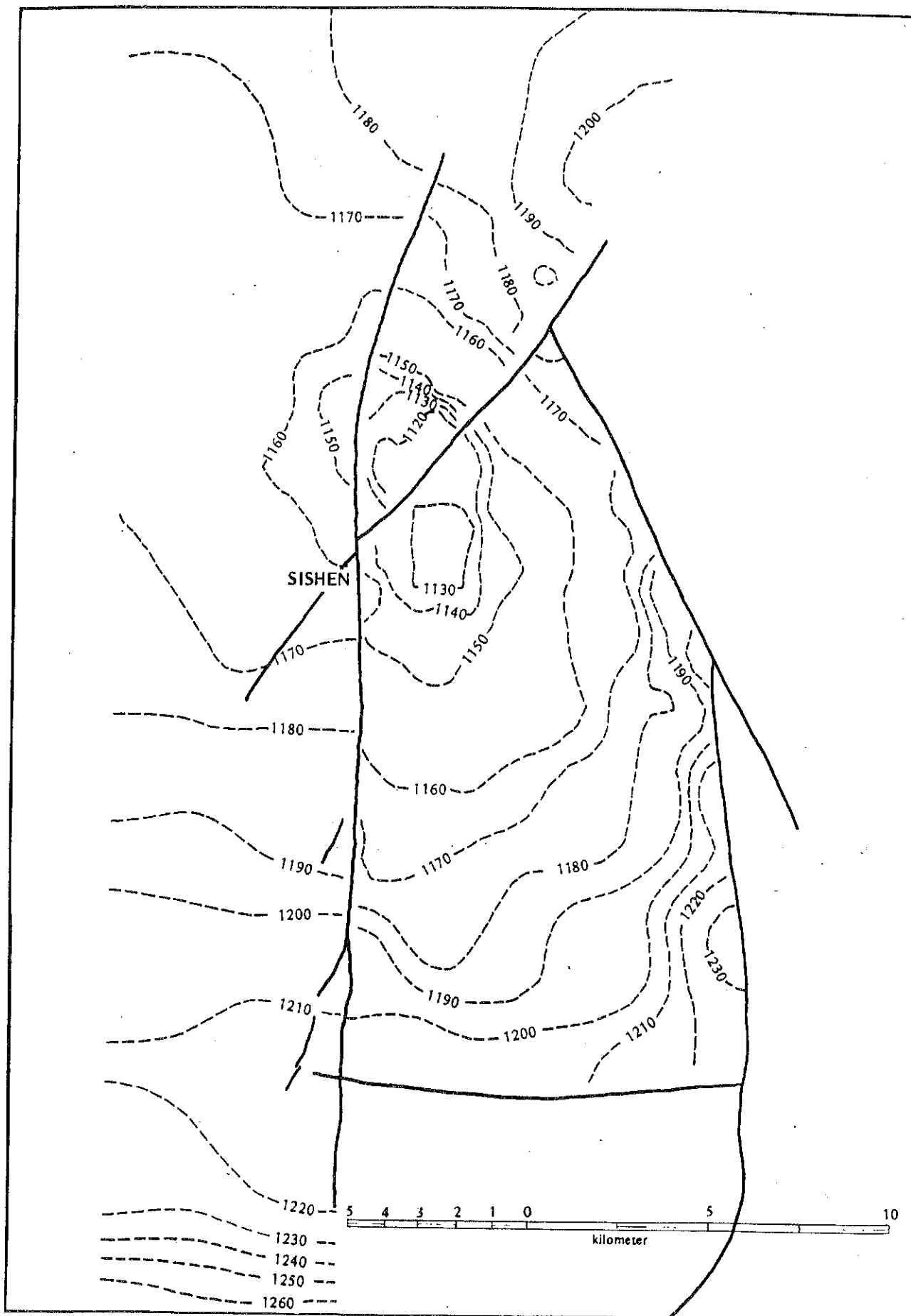
- Daar is 'n algemene ooreenstemming tussen die vorm van die kontoere op die twee diagramme.
- Die effek van die gange kan duidelik in beide sketse waargeneem word.



Figuur 6.9. Watervlakkontoerkaart van die Sishen-gebied vir Junie 1980 (volgens Dziembowski).



Figuur 6.10. Voorspelde watervlakkontoerkaart van die Sishen-gebied vir Junie 1980.



Figuur 6.11. Voorspelde watervlakkontoerkaart van die Sishen-gebied vir Mei 1982.

- Fyn gedetailleerde kontoere wat vanaf die waargenome data met die hand gekontoer is, is in die algemeen deur die voorspelde kontoere verglad.
- Die mate waartoe die kontoere van die voorspelde watervlakke verglad is, is 'n funksie van die keuse van die netwerk en nie 'n beperking van die model self nie. Indien meer elemente vir die simulاسie gebruik is, sou meer gedetailleerde kontoere die resultaat gewees het.
- In enige modelleringspoging moet daar gewaak word teen ooreenvoudiging of oorkomplisering van die sisteem. Die merkwaardige korrelasie wat daar tussen die twee diagramme bestaan, dui onteenseglik daarop dat die fisiese toestande wat grondwaterbeweging in die Sishen-gebied beheer, korrek geïnterpreteer en voldoende in die program geïmplementeer is.

Ten tye van hierdie ondersoek was watervlakkontoere wat op werklike waarnemings vir Mei 1982 gebaseer is, nie beskikbaar nie. Nogtans is die watervlakke met behulp van die model vir Mei 1982 voorspel. Enkele vergelykings tussen watervlakke by spesifieke punte soos in die Suidmyn, Noordmyn en ook by die suidelike grense van die Sishen-kompartement, dui op 'n goeie ooreenstemming tussen waargenome vlakke en voorspelde vlakke. In Figuur 6.11 kan die effek van die gange weer eens duidelik gesien word. Veral die prominente syfering deur die noord-strekkende gang by die Noordmyn vertoon baie duidelik.

6.8 SIMULASIE VAN WATERVLAKKE VIR PERIODE 1972 – 1979

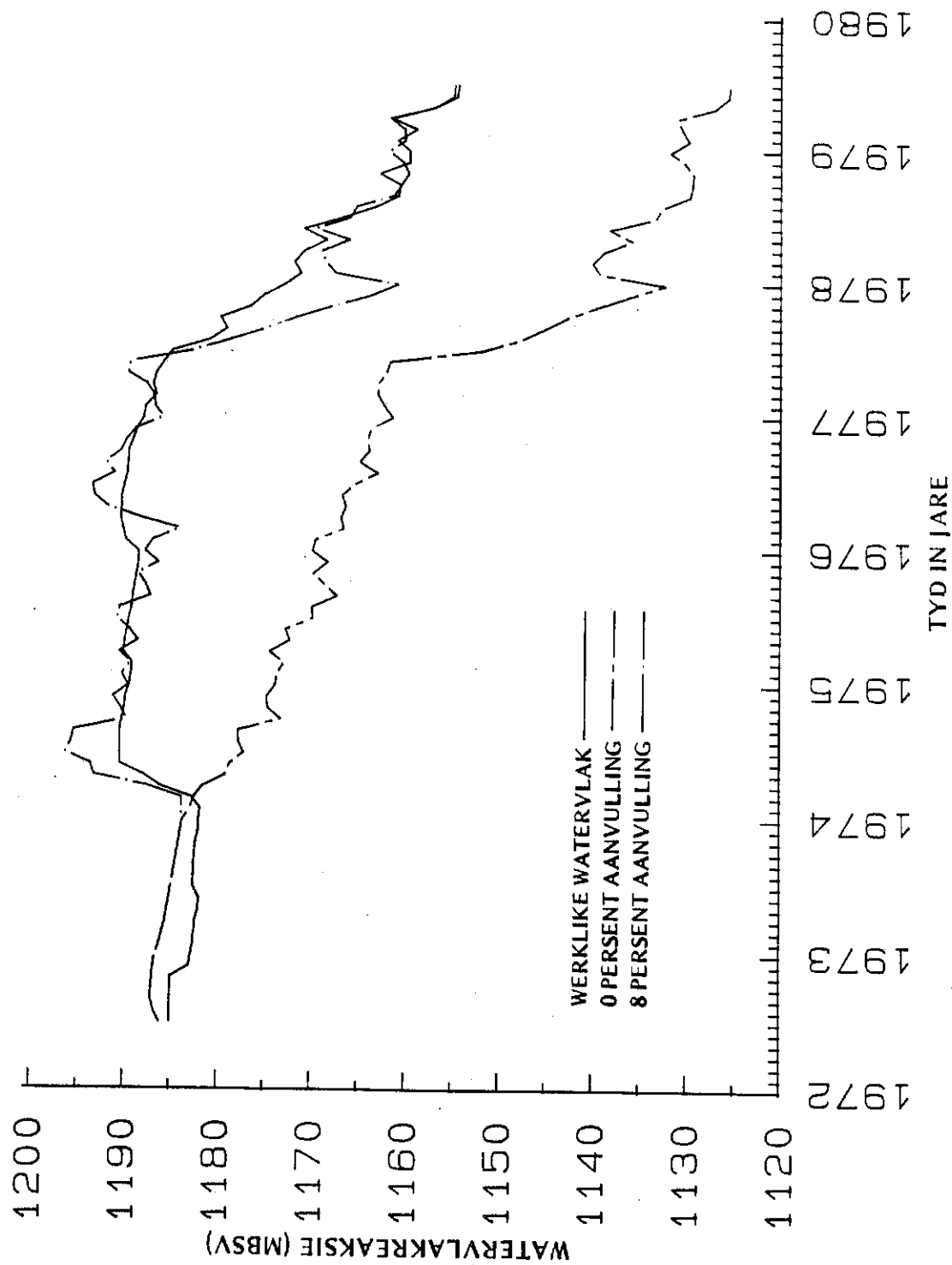
Indien die model wat tot dusver gebruik is, in die algemeen geldig sou wees, sal dit beteken dat voorspellings vir enige tydperk in die toekoms gemaak

kan word. Ten einde die model egter weer eens te beproef, is daar besluit om die model aan die hand van watervlakinligting in 1972 te toets. Die toetsperiode is in hierdie geval heelwat langer en sluit die tydperk Junie 1972 tot Junie 1979 in. Indien hierdie simulاسie suksesvol blyk te wees, sal die model as voldoende gekalibreerd beskou word om vir die mynbestuur as nut in toekomstige besluitnemingsprosesse aangaande die wateronttrekkingsbeleid by Sishen te wees.

Aanvangsvoorwaardes vir hierdie simulاسiepoging was die watervlakkontoere vir Junie 1972. Dieselfde transmissiwiteits- en bergingswaardes wat in die vorige simulاسie gebruik is, is ook hier gebruik. Verder is dieselfde randvoorwaardes geneem. Die resultate van hierdie simulاسiepoging word in die vorm van grafieke in Figuur 6.12 weergegee.

Die soliede lyn op die grafiek verteenwoordig die watervlak in die omgewing van Heuwel 2 by die Suidmyn, as 'n funksie van tyd. 'n Vergelyking van die eerste simulاسiepoging met die werklike watervlakdaling dui op 'n goeie korrelasie vir die eerste 21 maande, waarna die werklike watervlakke 'n definitiewe styging toon, wat duidelik afwesig in die gesimuleerde grafiek is. By nadere ondersoek is gevind dat die styging wat in die watervlakke waargeneem is goed met die hoë reënvalperiode van 1973/74 ooreenstem. 'n Leemte in die huidige model word hierdeur geïllustreer. Dit is duidelik dat die vorige veronderstelling dat die grondwatervlakke slegs aan die hand van variasies in transmissiwiteite en bergingskoeffisiënte gesimuleer kon word, verkeerd was.

Die simulاسiemodel is egter in staat om eksterne invloede soos aanvulling in ag te neem. Gevolglik is die simulاسie verskeie kere met verskillende persentasies van die waargenome maandelikse reënval herhaal. Die beste passing tussen die waargenome watervlak by Heuwel 2 en die gesimuleerde watervlak is met 'n aanvullingsyfer van 8 persent van die totale maandelikse reënval verkry (Figuur 6.12). Die effense afwykings wat nog steeds tussen die waargenome en die voorspelde kurwes bestaan, kan ongetwyfeld deur verdere verfynings verminder word.



Figuur 6.12. Gesimuleerde watervlakke by die Suidmyn vir die periode 1972 tot 1979.

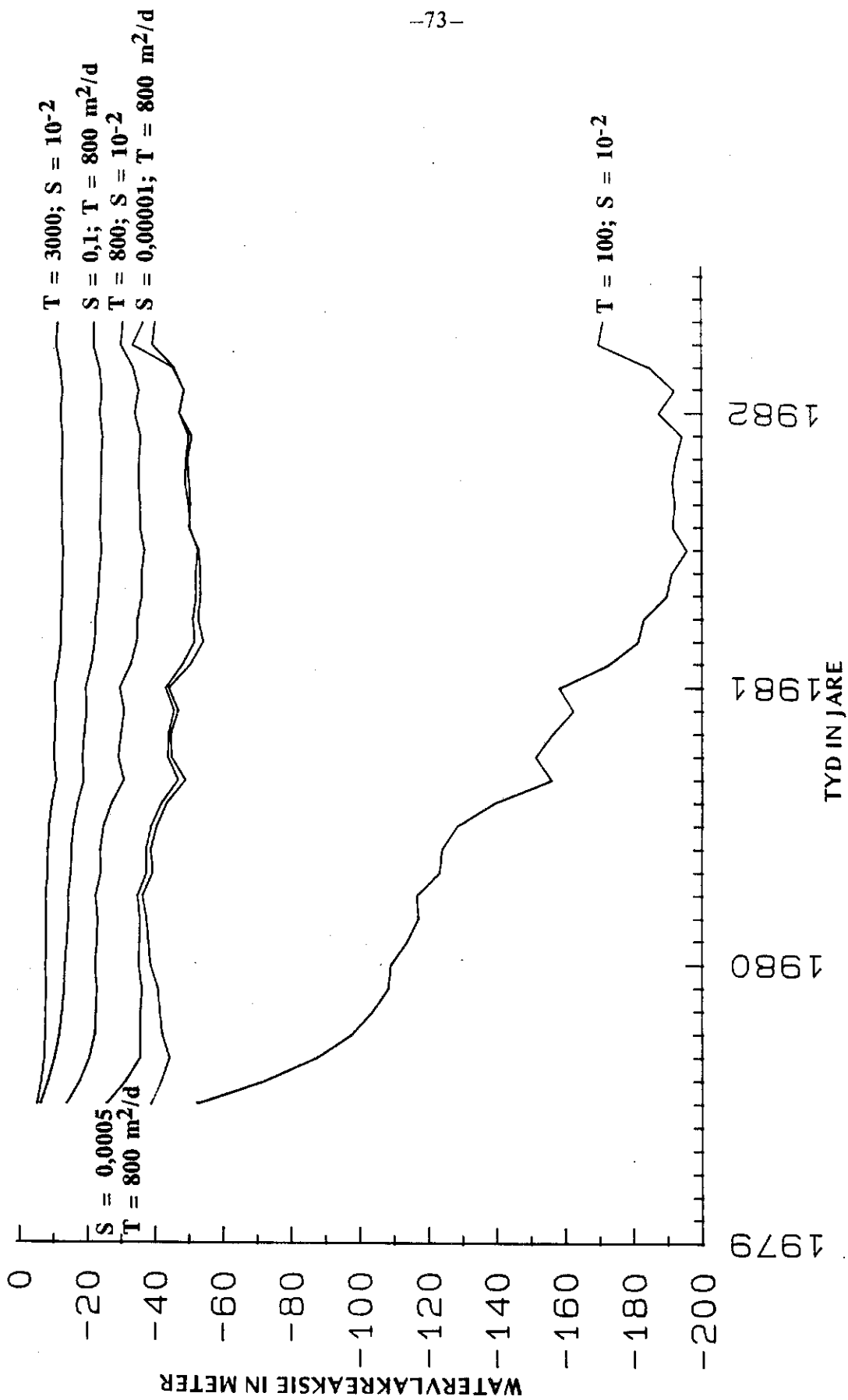
Die merkwaardige ooreenstemming tussen die waargenome en gesimuleerde grafieke indien aanvulling daarby getel word, moet nie sonder meer as 'n aanduiding van die werklike aanvullingsyfer geneem word nie. Veel meer werk sal nodig wees voordat die model gebruik kan word om met sekerheid 'n aanvullingsyfer vir die Sishen-gebied daar te stel.

6.9 SENSITIWITEITSANALISE

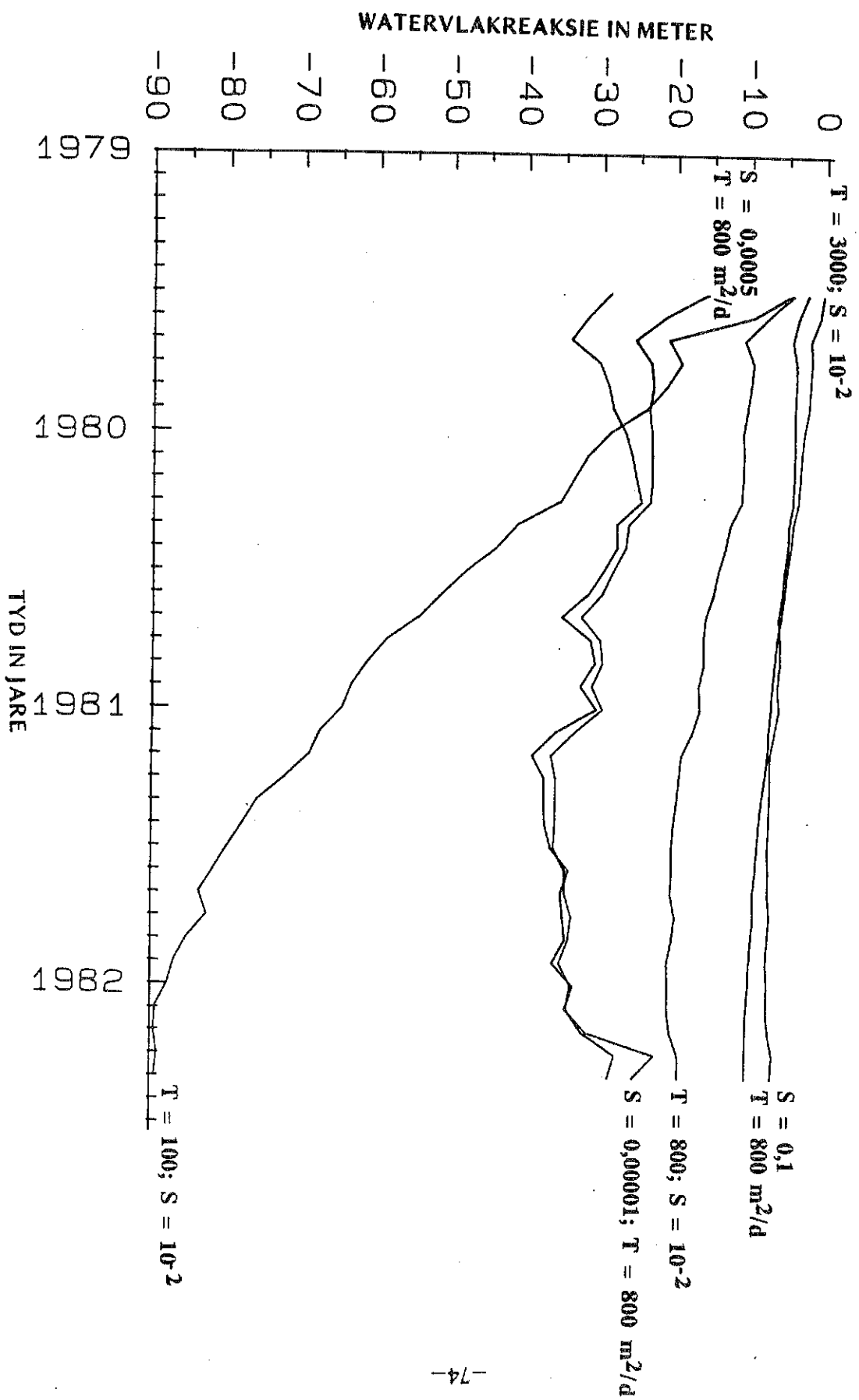
Alhoewel die model tot 'n bevredigende mate in staat is om watervlakreaksies in die Sishen-omgewing na te boots, wil dit geensins impliseer dat die finale woord hieroor gespreek is nie. Die transmissiwiteit-, berging- en aanvullingsyfers wat tot dusver genoem is, kan gerieflikheidshalwe in verdere simulaties gebruik word. Op geen stadium word egter te kenne gegee dat hierdie waardes uniek of korrek is nie. Heelwat verfynings kan ongetwyfeld aan die model aangebring word. Aspekte soos lekkasie vanuit die Kalaharilae, aanvulling vanuit oppervlakbronne in die omgewing van die myn en vele ander aspekte kan ook nog in die model ingebou word. Die vraag wat egter voortdurend afgevra moet word, is tot welke mate verdere verfynings aan die model 'n wesenlike bydrae tot die akkuraatheid van die voorspellings sal maak. Dit is die mening van die outeur dat die huidige model oor voldoende akkuraatheid vir algemene besluitnemingsprosesse beskik en die grondwaterbeweging in die Sishen-gebied kan met 'n groot mate van sekerheid aan die hand van slegs drie parameters, naamlik transmissiwiteit, berging en aanvulling, gesimuleer word. Hierby kom natuurlik die essensiële aanvangs- en randvoorwaardes.

Ten einde die effek van elk van hierdie parameters te illustreer, is 'n sensitiwiteitsanalise hierby ingesluit.

Verskeie simulaties is uitgevoer om die effek van 'n hoër of laer transmissiwiteit en/of berging te illustreer. Die resultate hiervan word in Figure 6.13 en 6.14 weergegee. Figuur 6.13 verteenwoordig watervlakreaksies by Heuwel 2



Figuur 6.13. Sensitiwiteitsanalise van die akwifereer by die Suidmyn.



Figuur 6.14. Sensitiwiteitsanalise van die akwifjeer by die Noordnyn.

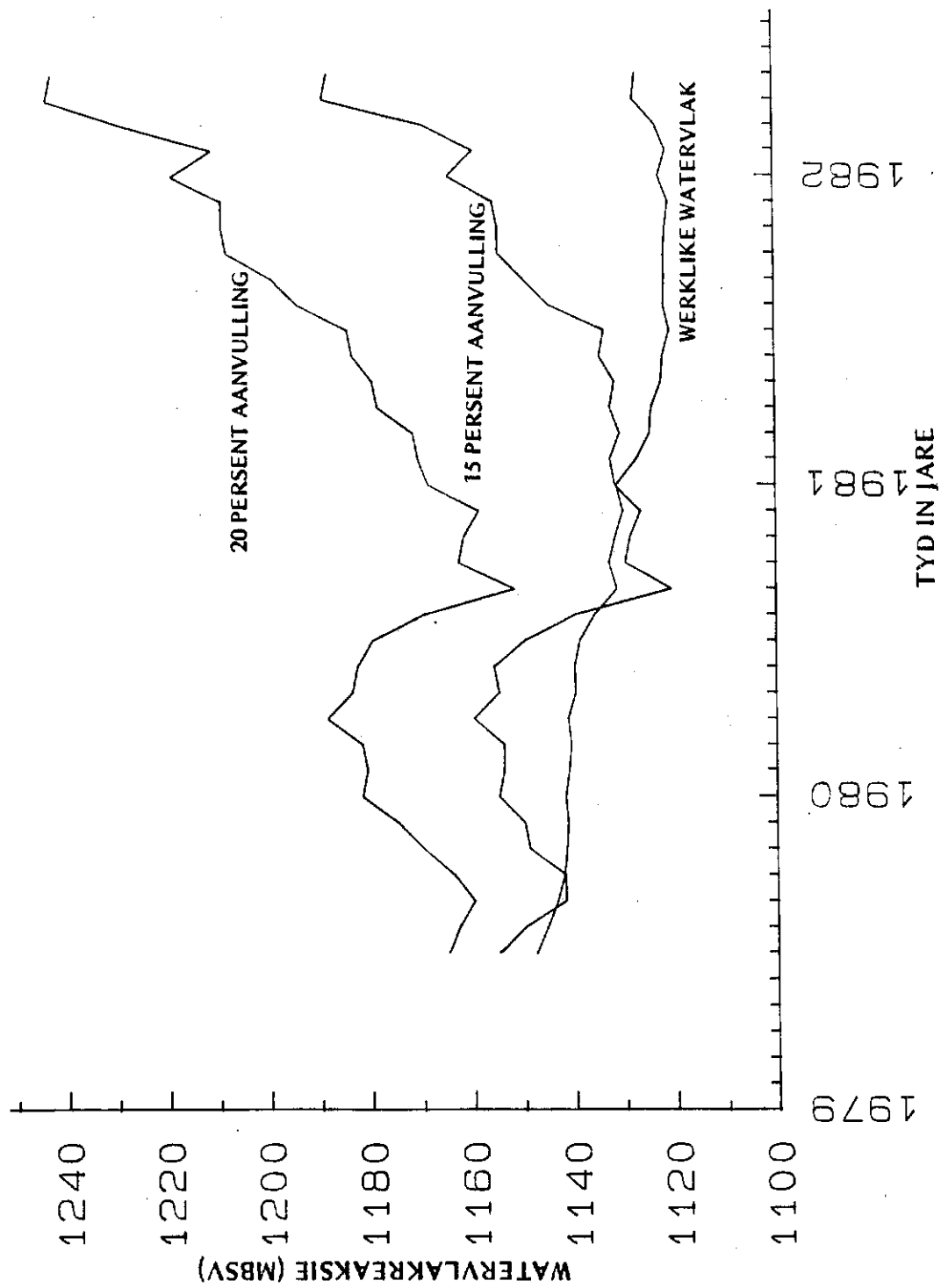
'n Verdere vraag wat waarskynlik ontstaan, is die mate waartoe aanvulling vanuit reënval die sisteem sal beïnvloed. Die aanvullingsyfer van 8 persent wat in vorige simulasies gebruik is, mag nie noodwendig korrek wees nie. Ten einde hierdie stelling te toets, is twee verskillende simulasies uitgevoer. In beide simulasies is die aanname gemaak dat die bergingskoeffisiënt in werklikheid veel kleiner as die syfer van 10^{-2} is, wat tot dusver in al die simulasies gebruik is. 'n Syfer van 10^{-4} is vir hierdie twee simulasies aanvaar. Die tekort aan grondwater wat sodoende sou ontstaan, is aan die hand van 'n hoë aanvullingsyfer vanuit reënval voor gekompenseer. In die eerste simulasie is 'n aanvullingsyfer van 15 persent van die reënval geneem, terwyl 'n syfer van 20 persent in die tweede simulasie beproef is. Die resultate van

In verdere simulasies is 'n algemene transmissiwiteitswaarde van $800 \text{ m}^2/\text{dag}$ aan die gebied toegeken, terwyl die bergingskoeffisiënt onderskeidelik as 10^{-5} , 5×10^{-4} en 10^{-1} geneem is. Uit 'n vergelyking van die grafieke is dit duidelik dat 'n verandering in die bergingskoeffisiënt nie so 'n drastiese rol soos 'n verandering in die transmissiwiteit speel nie. Dit moet egter in gedagte gehou word dat die transmissiwiteit die oorwegende rol by onttrekingspunte speel, terwyl die berging die afstand wat die ontwateringskeel vanaf die onttrekingspunte uitsprei, beheer. Gevolglik is dit nie korrek om vanuit Figure 6.13 en 6.14 die afleiding te maak dat die bergingskoeffisiënt minder belangrik in die modellering van die Sishen-akwifereer is nie.

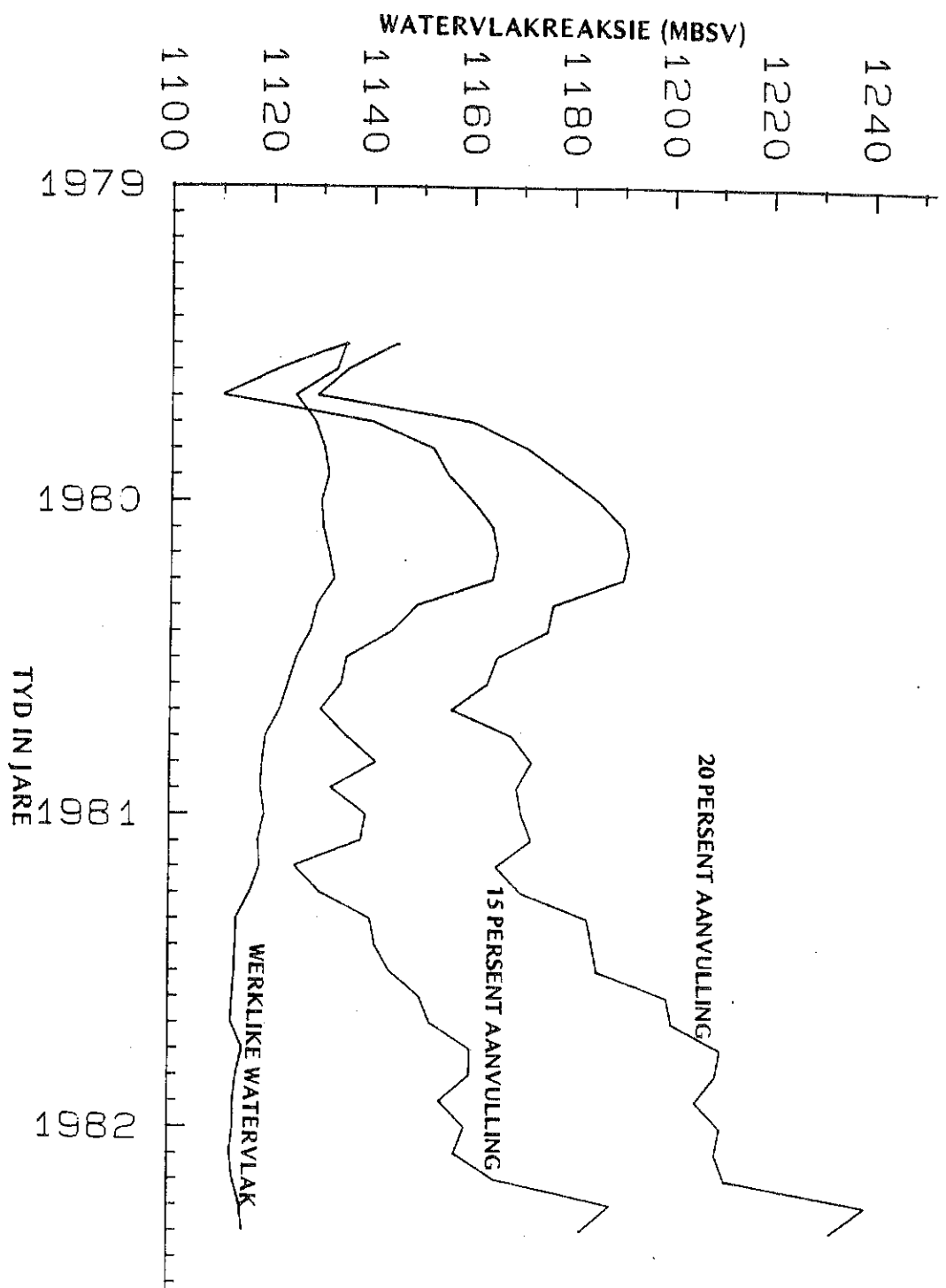
In die Suidmyn, terwyl Figuur 6.14 waterlakreaksies by die Noordmyn verteenwoordig. Ses simulasies is in totaal uitgevoer. Ten eerste is die transmissiwiteit oor die hele gebied onderskeidelik as $3\ 000 \text{ m}^2/\text{dag}$, $800 \text{ m}^2/\text{dag}$ en $100 \text{ m}^2/\text{dag}$ geneem. Die dalings van waterlakke vir die drie simulasies is onderskeidelik in grafiekvorm vir die Suidmyn en vir die Noordmyn aangestip. Dit is duidelik dat 'n groot verskil in die dalings by die onderskeie myne ondervind sal word as gevolg van veranderinge in transmissiwiteitswaardes. Hierdie dalings moet egter nie met vorige simulasies vergelyk word nie, aangesien homogene waardes bloot ter wille van 'n sensitiwiteitsanalise gebruik is.

hierdie simulaties word in Figure 6.15, 6.16 en 6.17 grafies voorgestel. Hieruit is dit duidelik dat 'n lae berging van 10^{-4} gedeeltelik deur 'n hoë aanvullingsyfer van ongeveer 15 persent van die maandelikse reënval voor gekompenseer kan word. Definitiewe afwykings van die waargenome watervlakdalings kom egter voor. Hierdie afwykings is so groot dat dit duidelik nie die werklike situasie verteenwoordig nie.

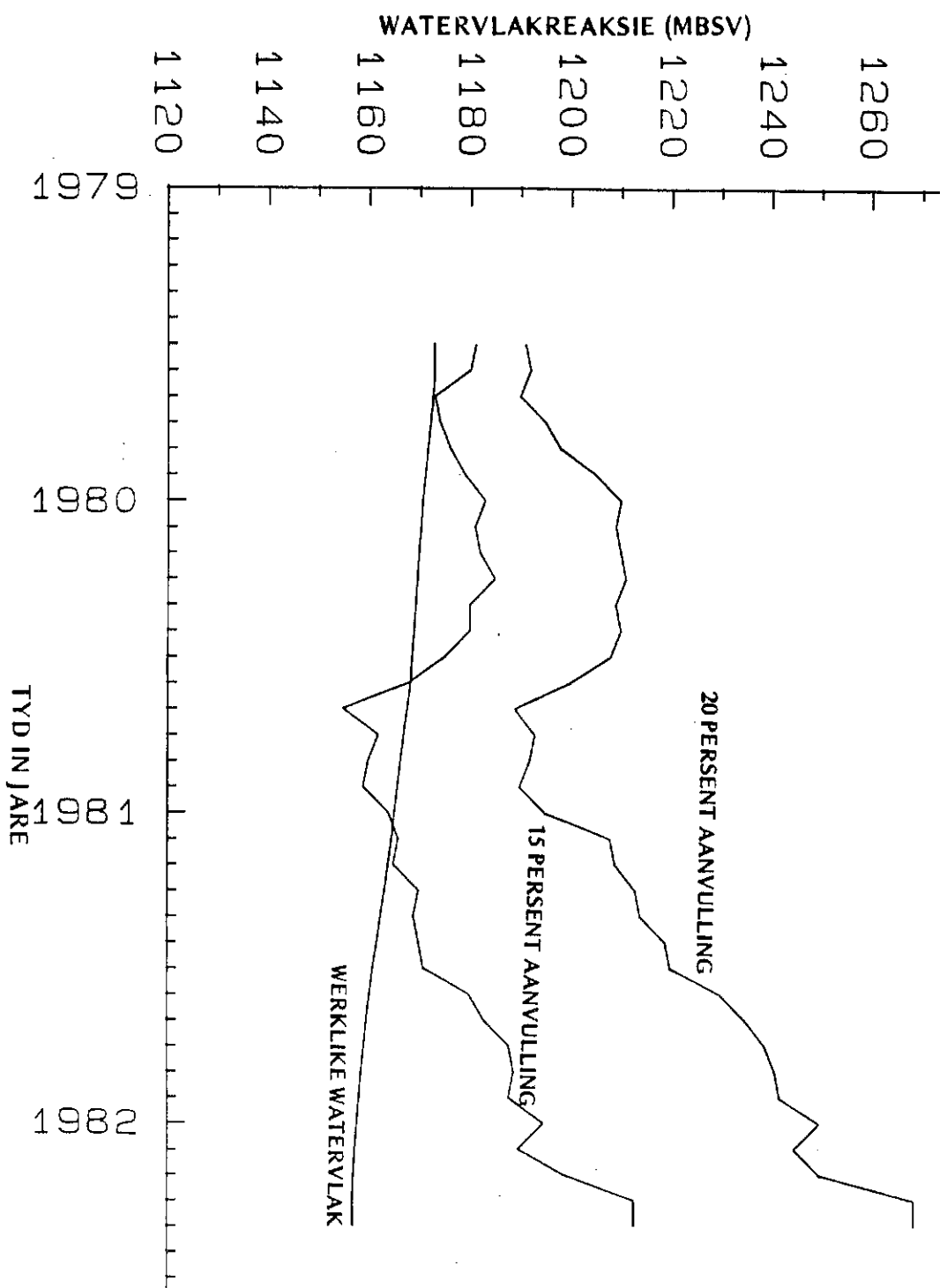
Die gevolgtrekking kan gemaak word dat die model sensitief ten opsigte van veranderings in transmissiwiteit-, berging- en aanvullingsyfers reageer. Gevolglik kan 'n redelike mate van vertroue in die syfers wat vir hierdie parameters in die verslag gebruik is, geplaas word. Indien verfynings aan die model aangebring word, sal die parameterwaardes ongetwyfeld effens verander. Dit is egter te betwyfel of 'n veel beter simulatie deur slegs 'n verandering van die parameterwaardes verkry sal word. Indien 'n meer akkurate simulasiëpoging benodig word, sal 'n meer gedetailleerde netwerk die eerste vereiste wees. Daarna kan hidrouliese parameterwaardes by individuele elemente aan die hand van die huidige model toegeken word. Verfynings, deur geringe verstellings aan die waardes in die onderskeie elemente te maak, sal dan moontlik wees.



Figuur 6.15. Sensitiwiteitsanalise van die bergingskoeffisiënt en die aanvulling by die Suidmyn. (Eerste gedeelte van 1982 is waargenome watervlakke)



Figuur 6.16. Sensitiwiteitsanalise van die bergingskoeffisiënt en die aanvulling by die Noordnyn.



Figuur 6.17. Sensitiwiteitsanalise van die bergingskoeffisiënt en die aanvulling in die gebied suid van Heuwel 2.

HOOFSTUK 7

MODELTOEPASSINGS

7.1 INLEIDING

Ten aanvang is dit nodig dat daar weer eens na die algemene doelstellings van hierdie ondersoek gekyk moet word. Dit kan as volg opgesom word :

- Die konstruering van 'n gepaste numeriese model wat die fisiese toestand volgens bestaande inligting beskryf.
- Die ontleding van die sisteem ten einde die relatiewe bydrae van elk van die hidrouliese komponente te bepaal.
- Die definiëring van onsekerhede in die model en 'n aanduiding van gebiede waar verdere inligting gegenereer moet word voordat 'n model wat vir bestuursdoeleindes gebruik kan word, opgestel kan word.

Die eerste twee doelstellings kan op hierdie stadium van die ondersoek as volledig afgehandel beskou word. Onsekerhede is ook reeds gedefinieer en 'n aanduiding is gegee dat die model met 'n groot mate van sekerheid gebruik kan word om voorspellings vir bestuursdoeleindes te maak.

Dat leemtes wel in die inligting bestaan, word deeglik besef. Bykomende inligting op sekere gebiede sou wel van nut wees, maar hoë kostes regverdig nie op hierdie stadium verdere intensiewe veldondersoeke nie. Veel eerder

kan die sisteem gedurende die volgende paar jaar waargeneem word. Deur die opdatering van die model met behulp van die inligting wat sodoende ingewin word, kan regstellings aan die model, indien nodig, gemaak word.

Gesien in die lig van die sukses wat met die modelleringspoging behaal is, is die tyd waarskynlik ryp dat die model nou toegepas kan word om voorspellings wat van waarde vir die mynowerhede is, te maak. Dit moet egter hier beklemtoon word dat die model so pas ontwikkel is. Verdere toetse sal ongetwyfeld uitgevoer moet word voordat dit sonder meer as 'n riglyn in besluitnemingsprosesse gebruik kan word. Die verifikasie van die model oor die volgende jaar of twee sal van groot betekenis wees.

Twee moontlike mynuitlegte is vanaf die mynowerhede by Sishen verkry. Aan die hand van hierdie uitlegte sal die huidige ontwateringsisteem nou gevalueer word.

7.2 VOORSPELLINGS VOLGENS MYNUITLEG 1

Beplanning van die ontginningsvlakke vir mynuitleg 1 vir die volgende tien jaar in die Suidmyn sowel as in die Noordmyn word in Figuur 7.1 aangedui. Die geprojekteerde watervlak, waartoe die huidige watervlak verlaag moet word sodat mynbou-aktiwiteite onverstoord kan voortgaan, word ook aangedui.

In die Suidmyn is alle onttrekkingsboorgate in die Heuwel 2-gebied geleë en die vraag ontstaan gevolglik of uitpompingslegs by Heuwel 2 die sisteem voldoende sal ontwater. Beskikbare pompkapasiteite word in Tabel 7.1 aangedui.

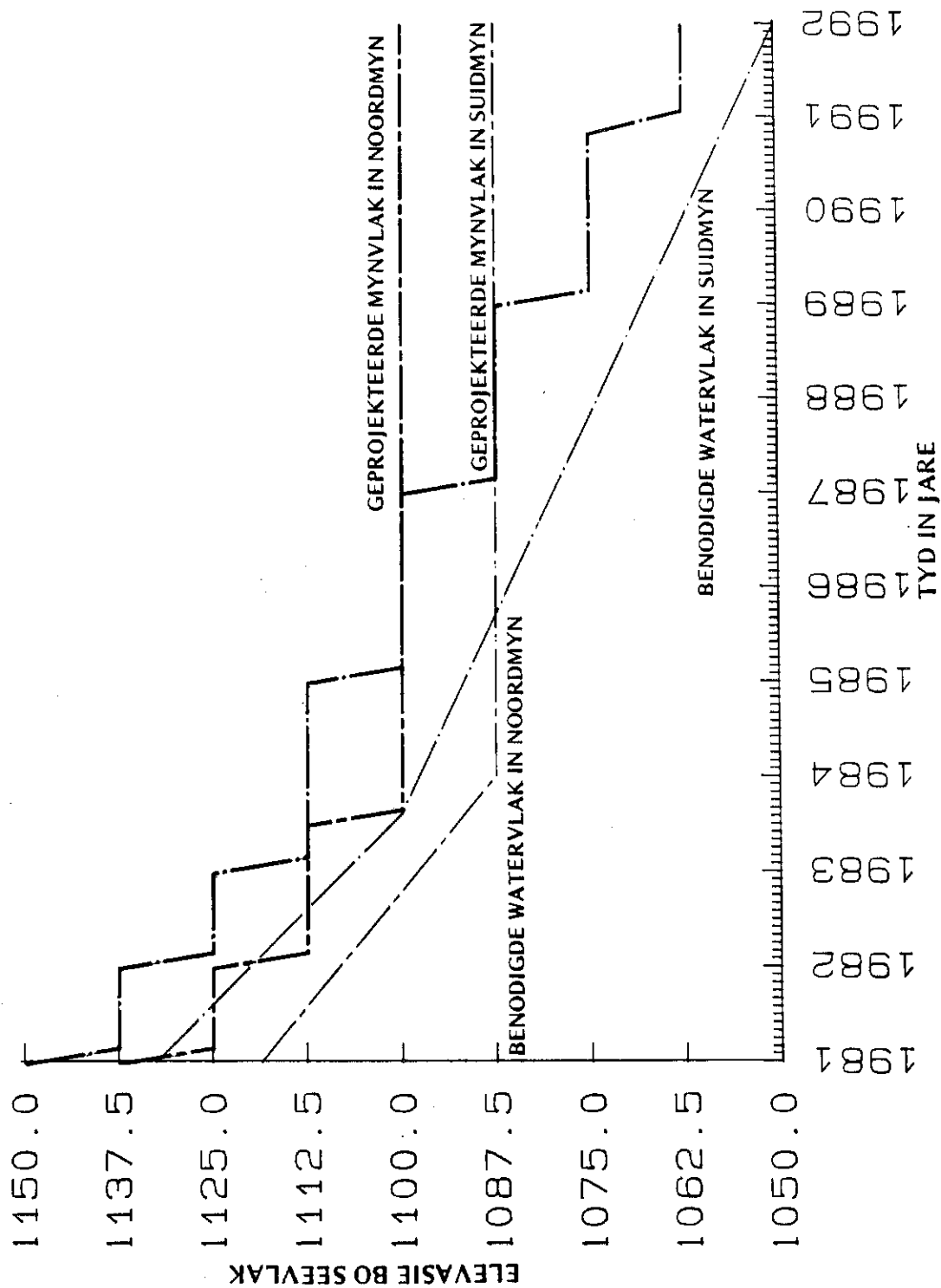
As aanvangsvoorwaardes is die watervlakke vir Oktober 1981 geneem. Dirichlet-randvoorwaardes is gespesifiseer en transmissiwiteits- en bergingswaardes is soos in vorige simulاسies aanvaar. Die pomptempo's is sodanig verander,

TABEL 7.1. POMPTEMPO'S BY INDIVIDUELE BOORGATE

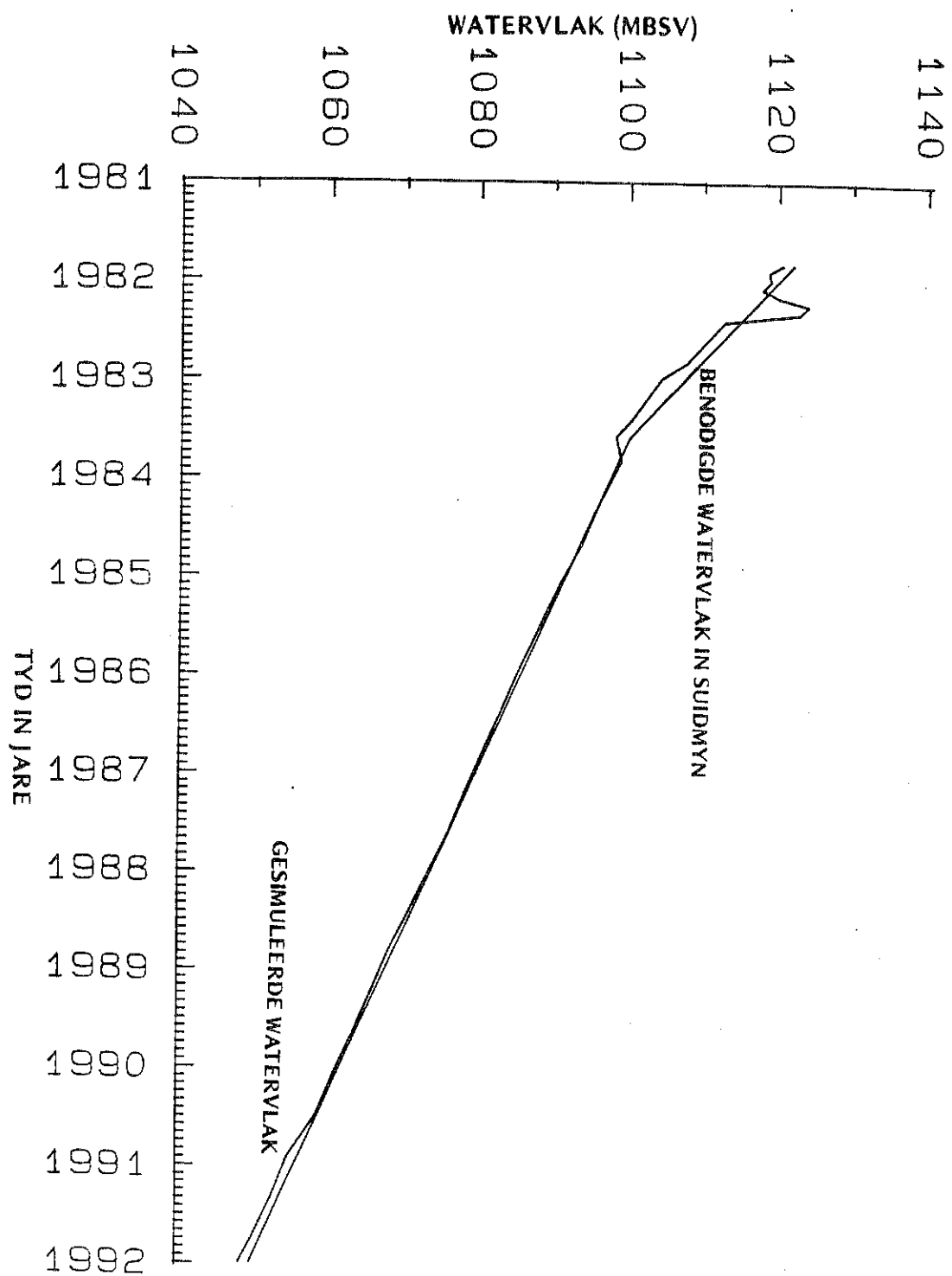
NOORDMYN	
NODE	MAKSIMUM POMPTEMPO (M ³ /DAG)
123	3 840
138	3 840
142	3 840
161	3 840
151	3 840
130	6 480
	25 680
SUIDMYN	
POMPE x LEWERING	MAKSIMUM POMPTEMPO (M ³ /DAG)
14 * 3 840	53 760
2 * 6480	12 960
	66 720

$$\text{NOORDMYN} + \text{SUIDMYN} = 92\,400 \text{ m}^3/\text{dag}$$

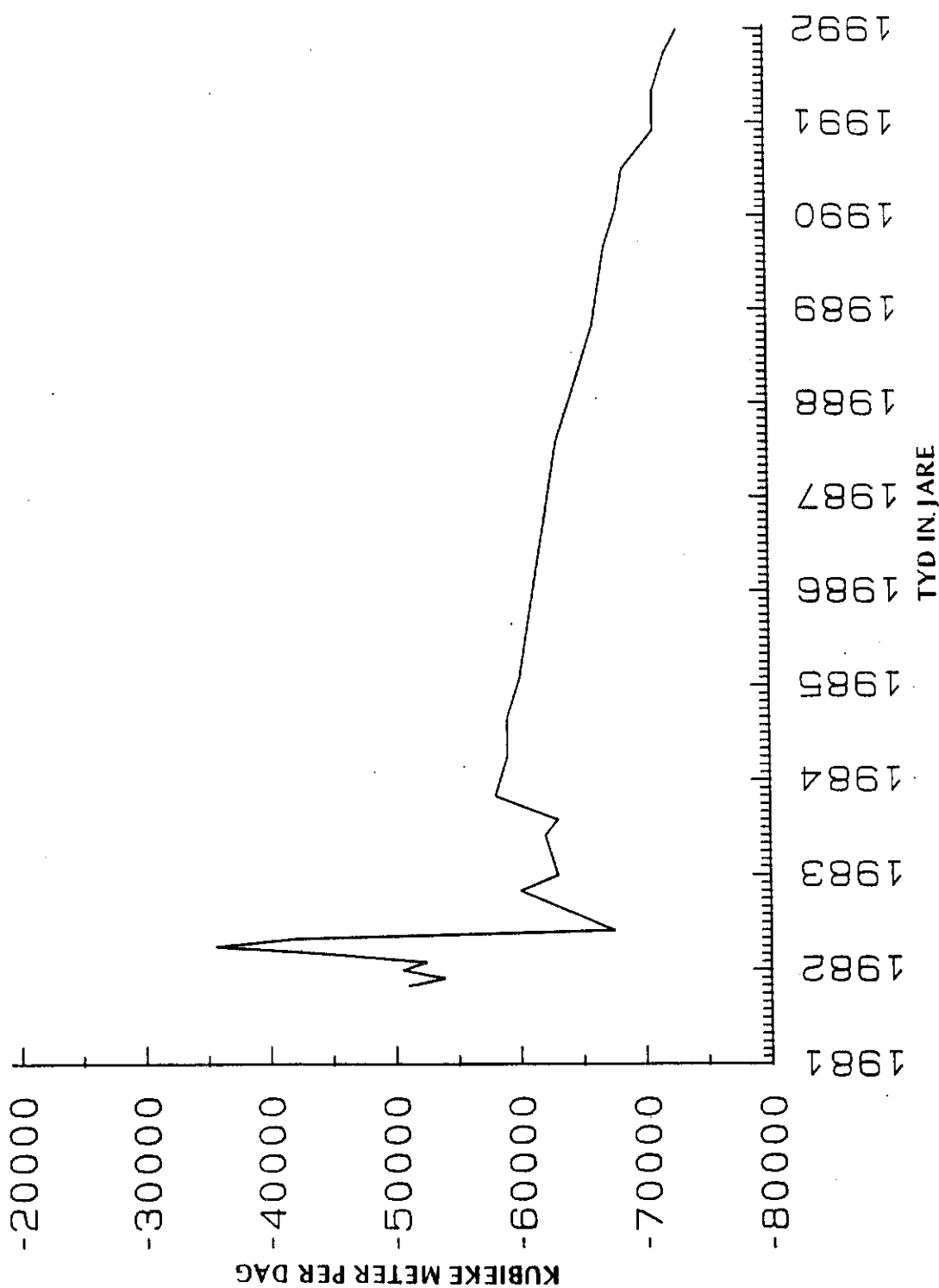
sodat die ontwateringseffek wat verkry is met die benodigde ontwateringskurwes in Figuur 7.1 ooreenstem. Die resultante watervlakdaling en die benodigde watervlakdaling vir die Suidmyn-gebied word in Figuur 7.2 grafies voorgestel. Dit is opmerklik dat 'n styging in die werklike watervlak van die Heuwel 2-gebied die afgelope paar maande as gevolg van onderpompings plaasgevind het. Om die watervlak weer na die geproekteerde lyn terug te bring, sal 'n pomptempo van 67 000 m³/dag gehandhaaf moet word, totdat die werklike watervlak weer eens met die benodigde watervlak ooreenstem. Daarna kan die pomptempo na ongeveer 60 000 m³/dag verminder word. Om die benodigde vlak van 1 050 meter bo seespieël in 1992 te bereik, sal die pomptempo egter geleidelik tot meer as 70 000 m³/dag verhoog moet word. Figuur 7.3 gee 'n grafiese voorstelling van die benodigde pomptempo's. Hieruit is dit ook duidelik dat die huidige maksimum kapasiteit by Heuwel 2, van 67 000 m³/dag, in die lang termyn onvoldoende sal wees.



Figuur 7.1. Langtermynmynbou- en ontwateringsbeplanning vir 1981 tot 1990.



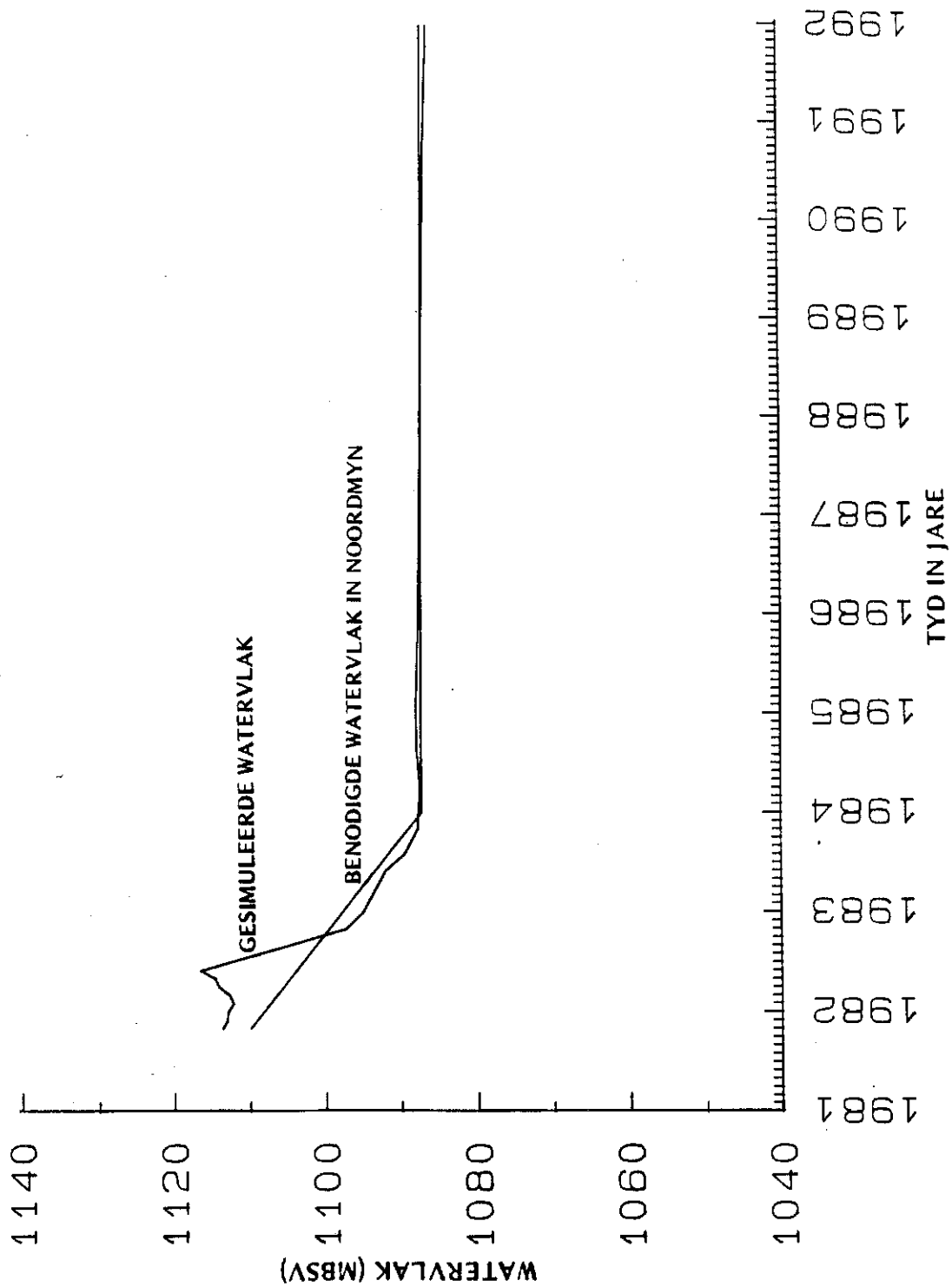
Figuur 7.2. Voorspelde watervlakdaling by die Suidmyn vir mynuitleg nr. 1.
(Eerste gedeelte van 1982 is waargenome watervlakke)



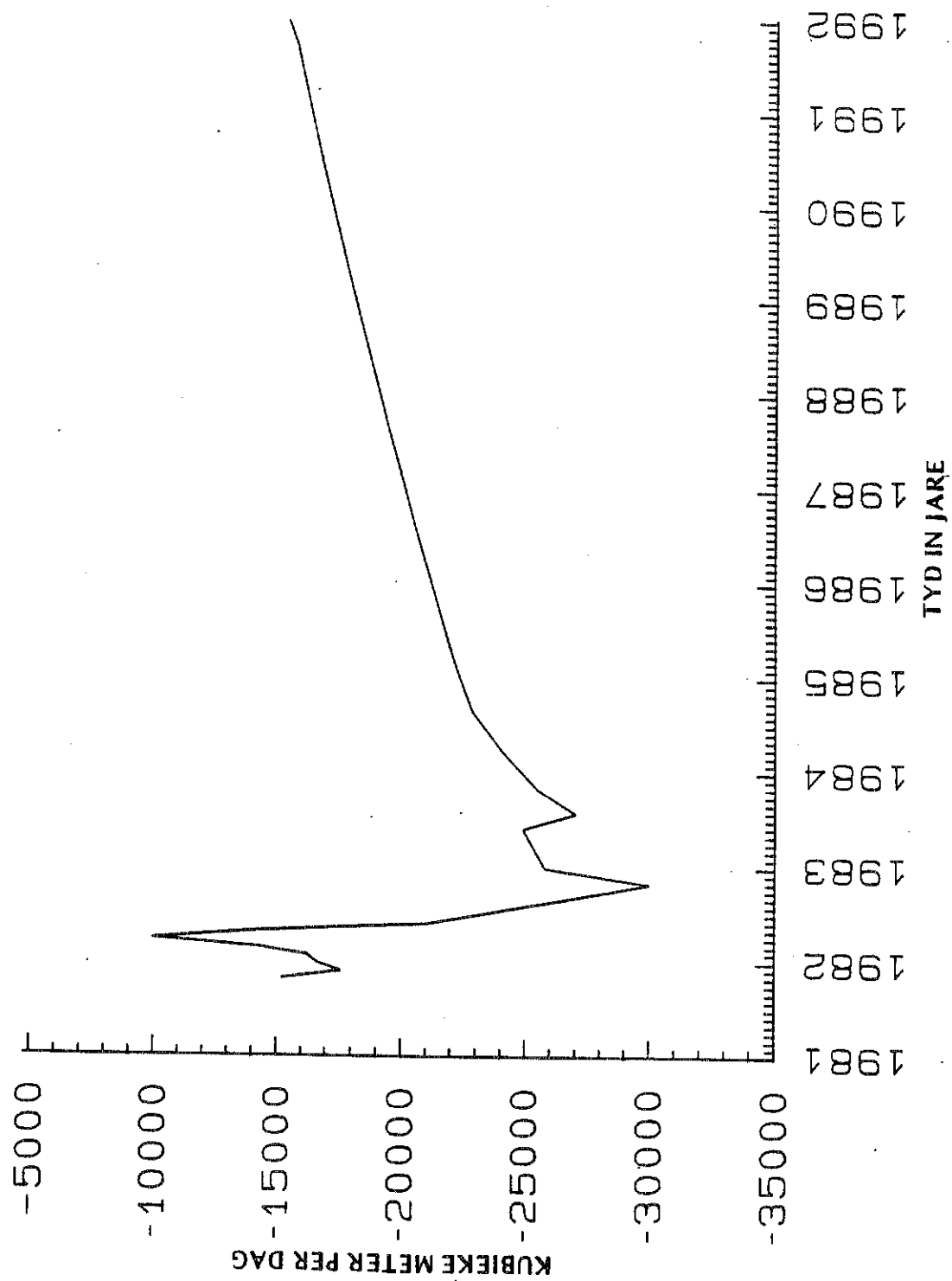
Figuur 7.3. Voorspelde pomptempo's by Suidmyn vir nynuitleg nr. 1.
(Eerste gedeelte van 1982 is waargenome watervlakke)

In die Noordmyn-gebied is die benodigde watervlak ietwat hoër en dit blyk dat 'n vlak van 1 087,5 meter bo seespieël, vanaf 1984 tot 1991 voldoende sal wees. Aangesien die pompgate in die Noordmyn-gebied om die myn versprei is, sal ontwateringsgrafieke vir elk van die boorgate individueel weergegee word. Daar is ses onttrekkingsboorgate wat 'n maksimum onttrekkingstempo van ongeveer $26\ 000\text{ m}^3/\text{dag}$ kan handhaaf. Vir die doeleindes van die model word die pompkapasiteite van die onderskeie pompe as dieselfde waarde geneem.

Aangesien grondwateronttrekking by verskeie punte in die Noordmyn-gebied plaasvind, spreek dit vanself dat ontwateringskeëls om elk van die pompgate sal ontwikkel. As gevolg van die hoë transmissiwiteitswaarde in hierdie gebied, oorvleuel hierdie keëls tans met mekaar. Ook sal die daling van die watervlak by elk van die pompgate as gevolg van transmissiwiteitsverskille nie presies dieselfde wees nie. Vir die doeleindes van hierdie model is node 122 as die kalibrasieposisie vir die Noordmyn-gebied geneem. Die benodigde en die gesimuleerde watervlakdalings by hierdie posisie is in Figuur 7.4 aangestip. Hieruit is dit duidelik dat die huidige watervlak by hierdie node hoër as die benodigde watervlak is. In werklikheid was daar die afgelope paar maande 'n styging van die watervlak as gevolg van 'n vermindering in die totale uitpomp-tempo in die Noordmyn-gebied. Soos in Figuur 7.4 aangedui word, sal dit wel moontlik wees om die watervlak in hierdie gebied na die benodigde vlak te verlaag, indien die pomptempo's onmiddellik verhoog sal word. Die benodigde totale pomptempo word grafies in Figuur 7.5 weergegee. Hieruit is dit duidelik dat die maksimum kapasiteit by die Noordmyn aanvanklik oorskry sal moet word, om die benodigde watervlakdaling binne 'n afsienbare tyd te bewerkstellig. Nadat die benodigde vlak in die Noordmyn-gebied bereik is, sal 'n afname in die totale pomptempo moontlik wees. Die pompsyfers soos dit in Figuur 7.5 aangetoon word, verteenwoordig die optimale ontwaterings-pomptempo's sodat die ontwateringseffek so na as moontlik met die benodigde ontwateringslyn wat in Figuur 7.1 aangedui is, sal ooreenstem. As 'n alternatief kan die pompe in die Noordmyn-gebied teen die maksimum pompkapasiteit van $26\ 000\text{ m}^3/\text{dag}$ gepomp word en daardeur sal 'n stadiger ontwateringseffek op die sisteem afgedwing word. Indien hierdie prosedure gevolg word, sal die afname in die pomptempo gedurende die jare 1985 tot 1992 heelwat minder wees.



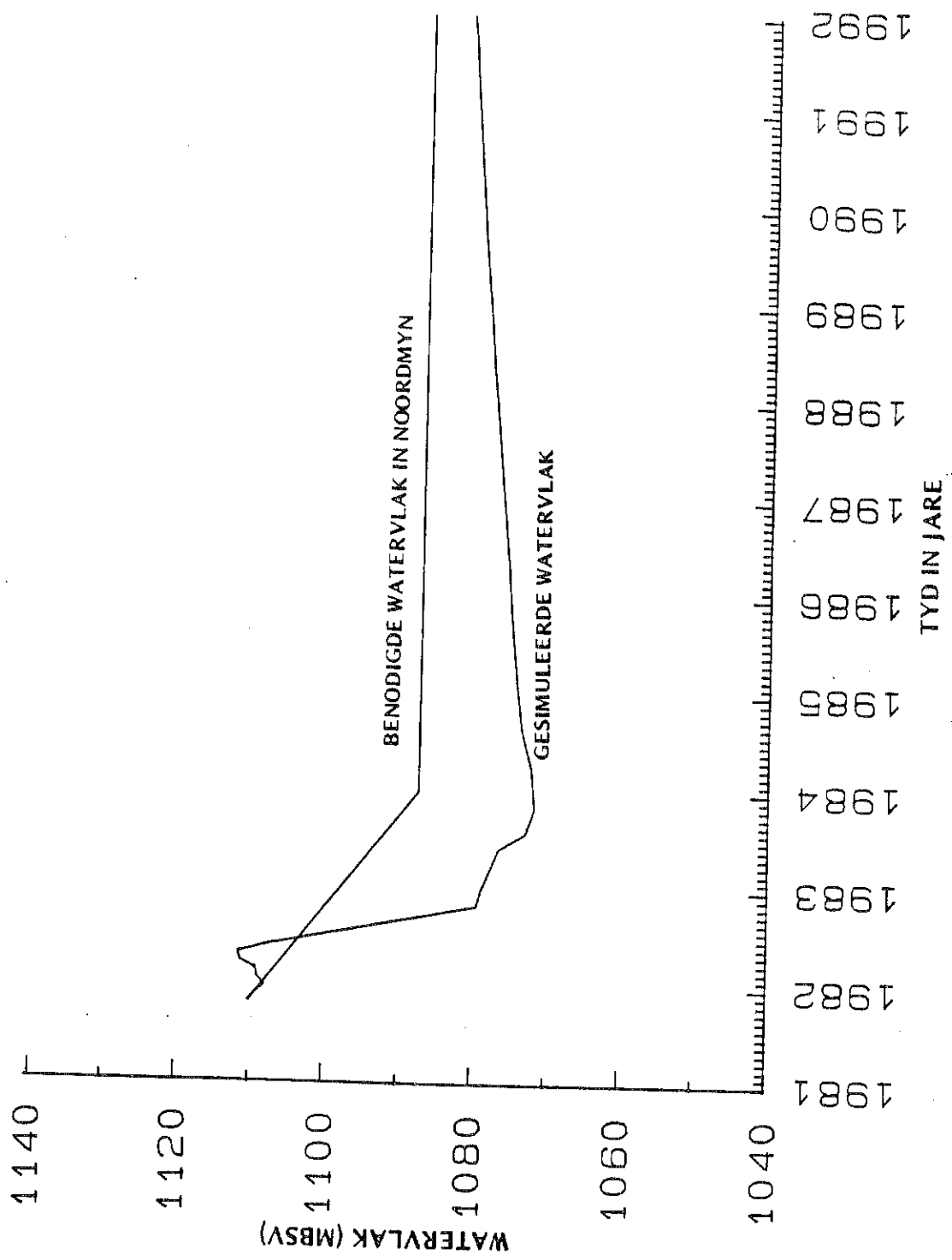
Figuur 7.4. Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn-gebied by node 122 vir mynuitleg nr. 1. (Eerste gedeelte van 1982 is waargenome watervlakke)



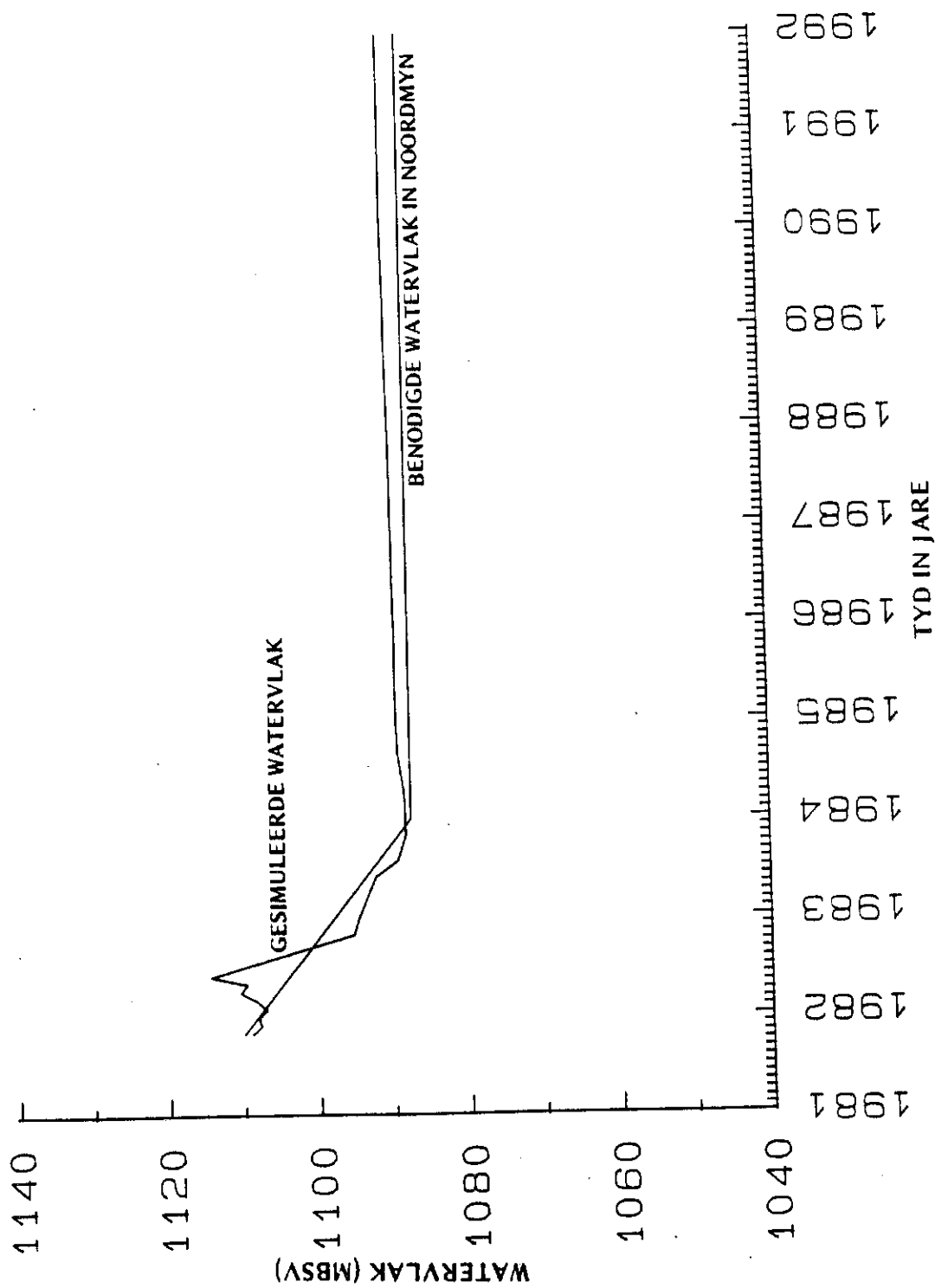
Figuur 7.5. Voorspelde totale pomptempo by die Noordmyn vir mynuitleg nr. 1. (Eerste gedeelte van 1982 is waargenome watervlakke)

Aangesien die watervlakdaling slegs by een posisie, naamlik by node 122 in die Noordmyn-gebied gekalibreer is, is dit nodig om die effek van die voorgestelde uitpompings ook by die ander pompgate te bestudeer. Figure 7.6 tot 7.11 gee die benodigde watervlakdaling in die Noordmyn-gebied en die gesimuleerde dalings van die watervlakke by die onderskeie pompgate. Hieruit is dit duidelik dat die model verder verfyn kan word. By sommige van die pompgate is die watervlakdaling effens meer as die gevraagde daling. In ander gevalle is dit effens minder. Indien meer akkurate pomptempo's by die individuele boorgate voorspel moet word, kan die model gebruik word om pomptempo's by sekere van die boorgate te verminder, terwyl boorgate waar te min daling tans plaasvind, teen verhoogde pomptempo's gepomp kan word. Hierdie bykomende werk word tans nie nodig geag nie, aangesien die voorspelde pomptempo's op 'n eksperimentele basis effens verander kan word, totdat die gevraagde dalings bereik is.

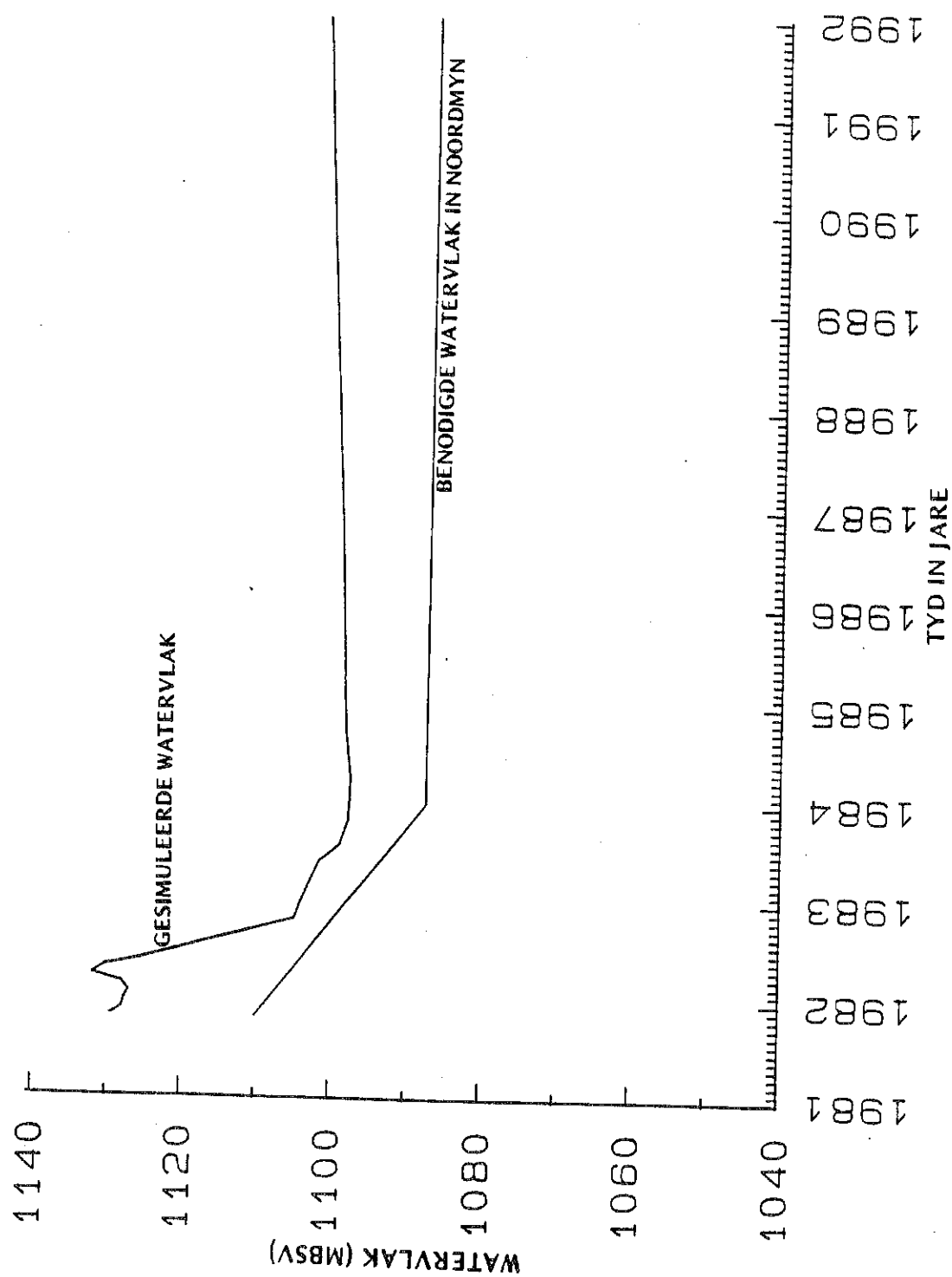
Een van die probleme wat tans met die uitpomp van water, veral in die Noordmyn-gebied, ondervind word, is die feit dat daar van dompelpompe gebruik gemaak word. Dompelpompe het die nadeel dat lewerings by individuele pompe nie maklik verstel kan word nie. Die pompe loop teen konstante omwentelinge en die enigste manier waarop die pomptempo wel verander kan word, is deur 'n klep in die afvoerpyp aan te bring waardeur die druk op die sisteem gereguleer word. Ongelukkig is hierdie tegniek nie koste-effektief nie, aangesien dit meebring dat 'n laer volume grondwater teen dieselfde werkverrigting as voorheen gepomp word. Indien die pomptempo in die Noordmyn-gebied verlaag sal moet word, is die enigste manier waarop dit tans bewerkstellig kan word, die afskakeling van die pompe op 'n rotasiebasis. Ten einde hierdie moontlikheid te ondersoek, is pompe met behulp van die simulasieprogram op 'n roterende basis afgeskakel. Die resultante watervlakdalings word in Figure 7.12 tot 7.18 weergegee. Die basis van rotasie was op 'n maandelikse grondslag deur 'n pomp vir 'n maand aaneen af te skakel. Die pomp by node 138 lê egter buite die onmiddellike Noordmyn-gebied en is gevolglik nie afgeskakel nie.



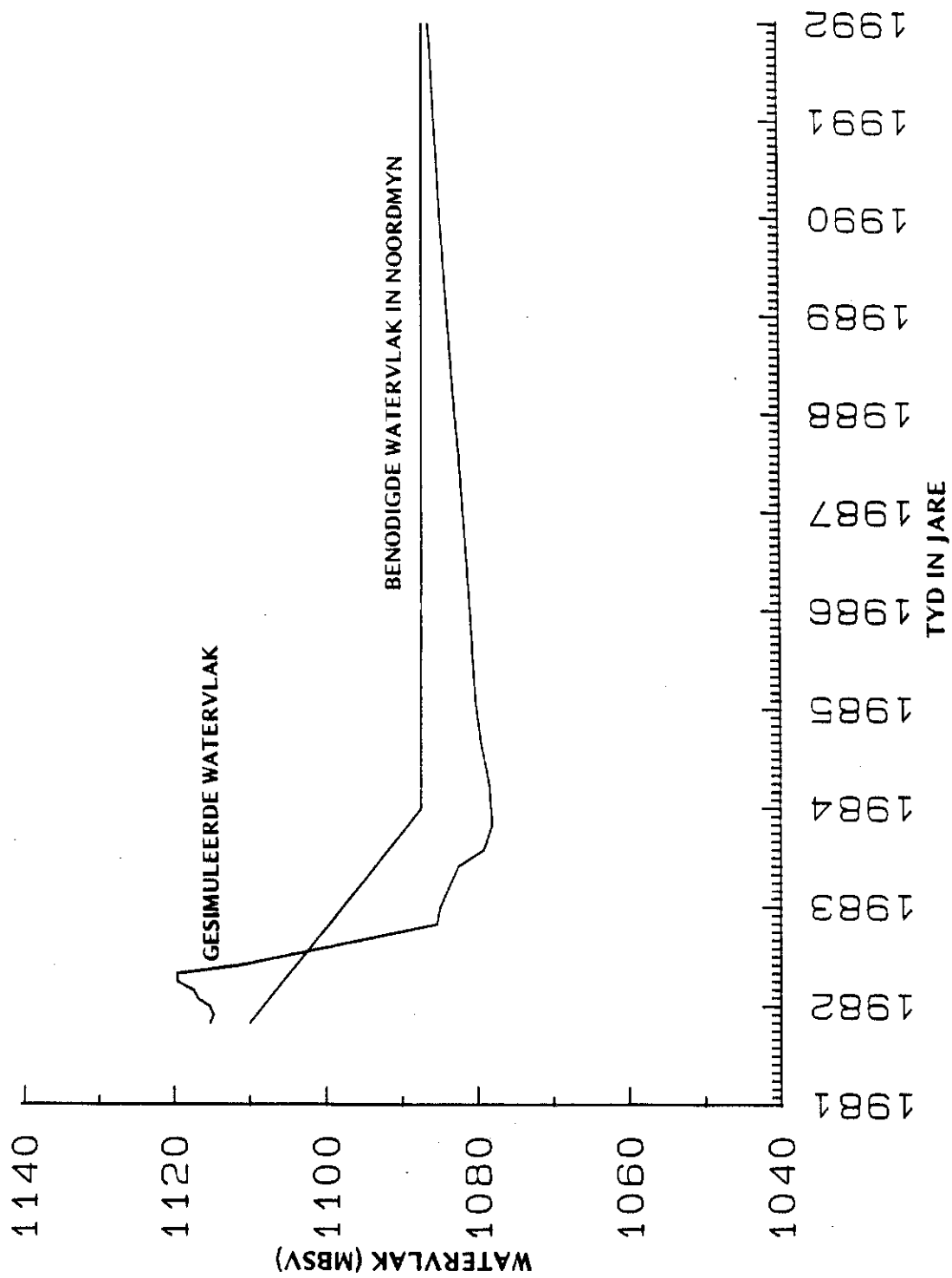
Figuur 7.6. Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 123 vir mynuitleg nr. 1. (Eerste gedeelte van 1982 is waargenome watervlakke)



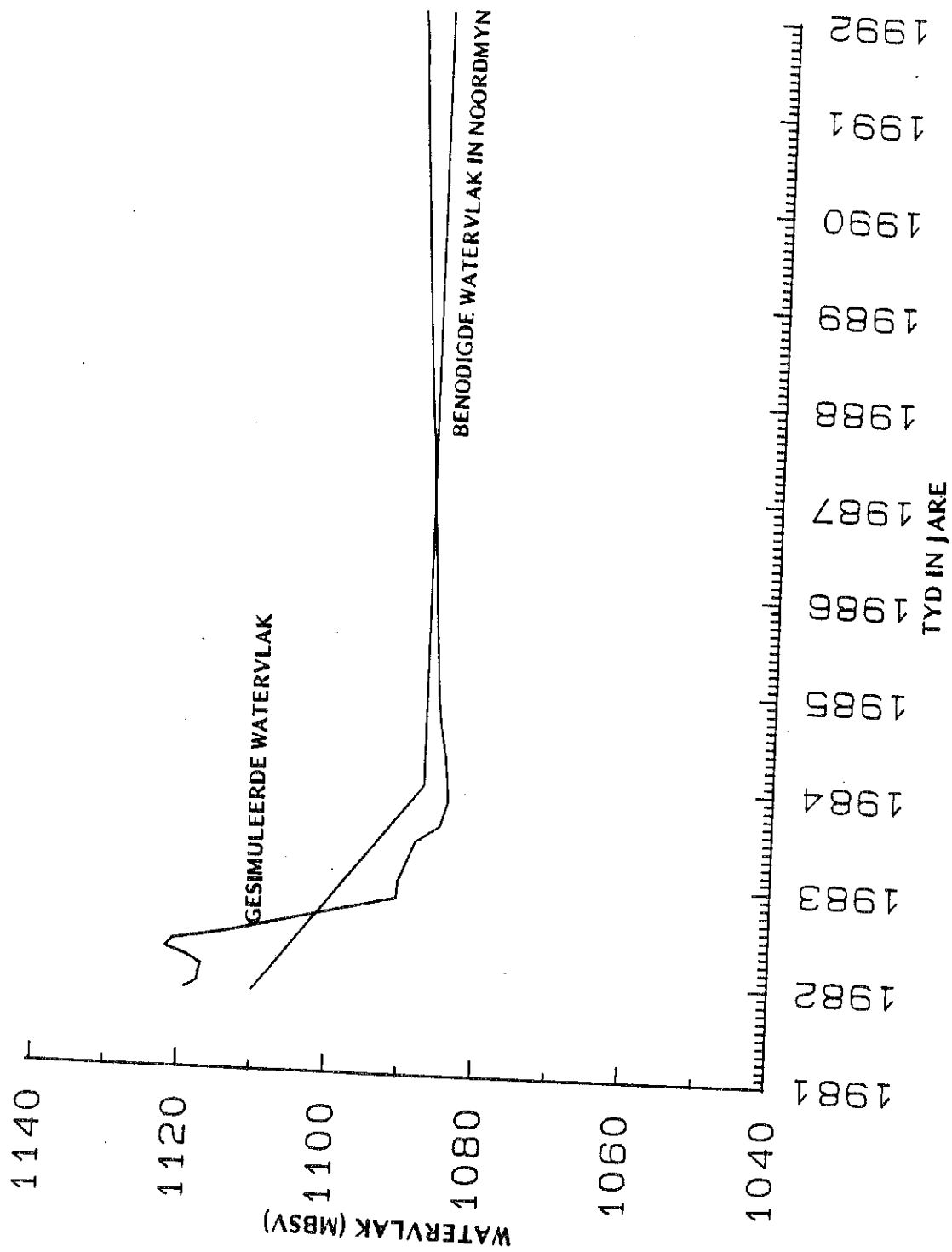
Figuur 7.7. Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 130 vir langtermynbeplanning nr. 1. (Eerste gedeelte van 1982 is waargenome watervlakke)



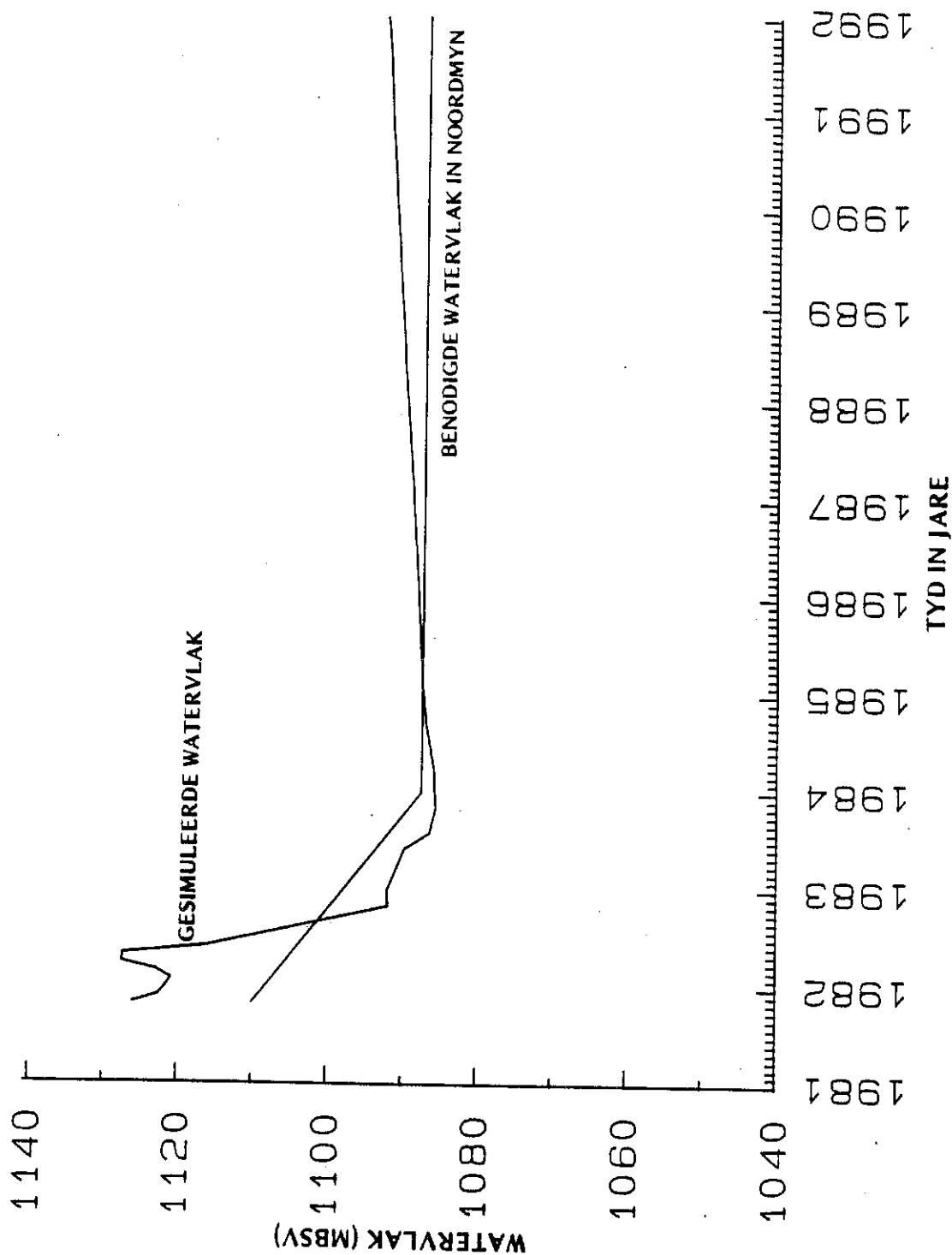
Figuur 7.8. Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 138 vir mynuitleg nr. 1. (Eerste gedeelte van 1982 is waargenome watervlakke)



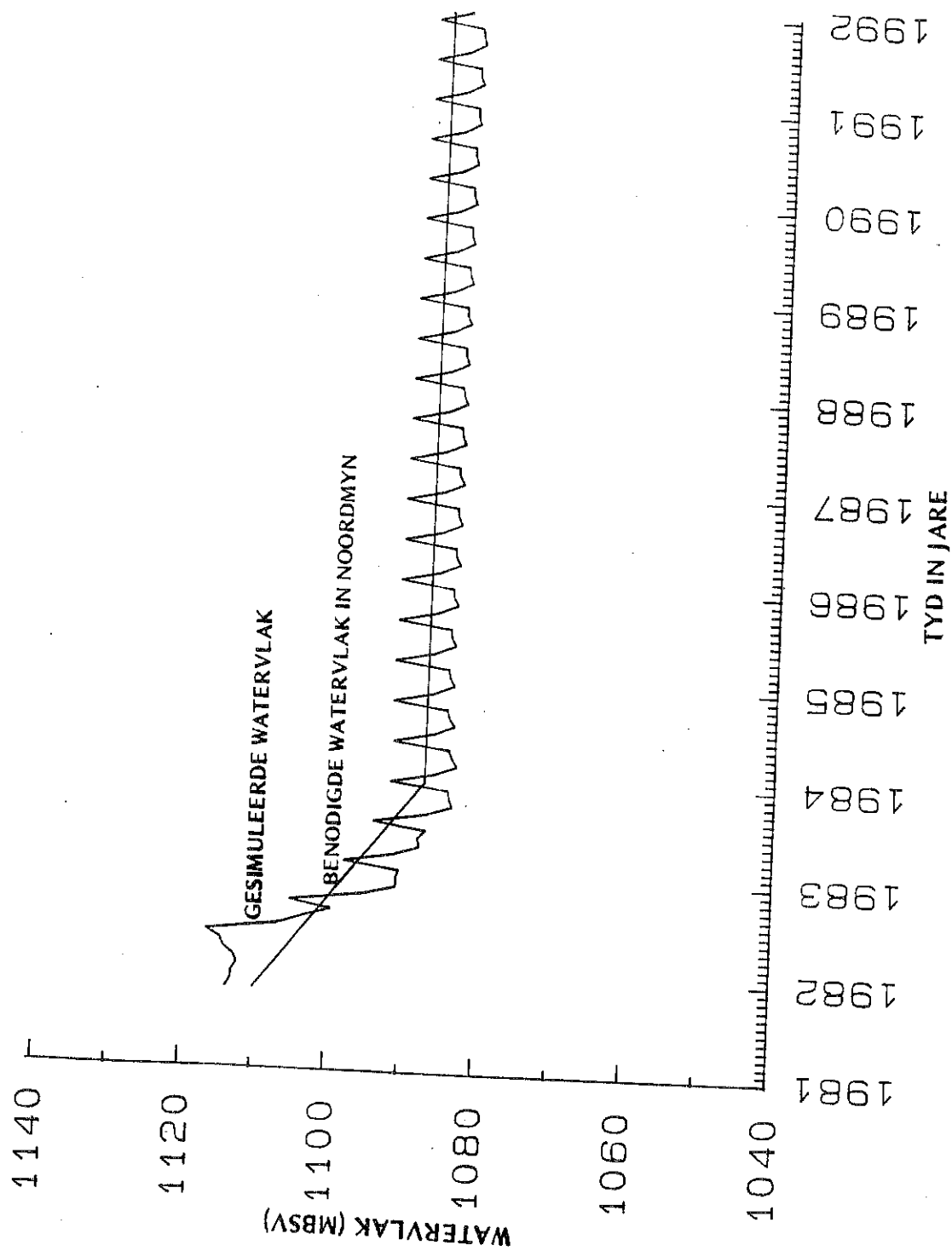
Figuur 7.9. Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 142 vir mynuitleg nr. 1. (Eerste gedeelte van 1982 is waargenome watervlakke)



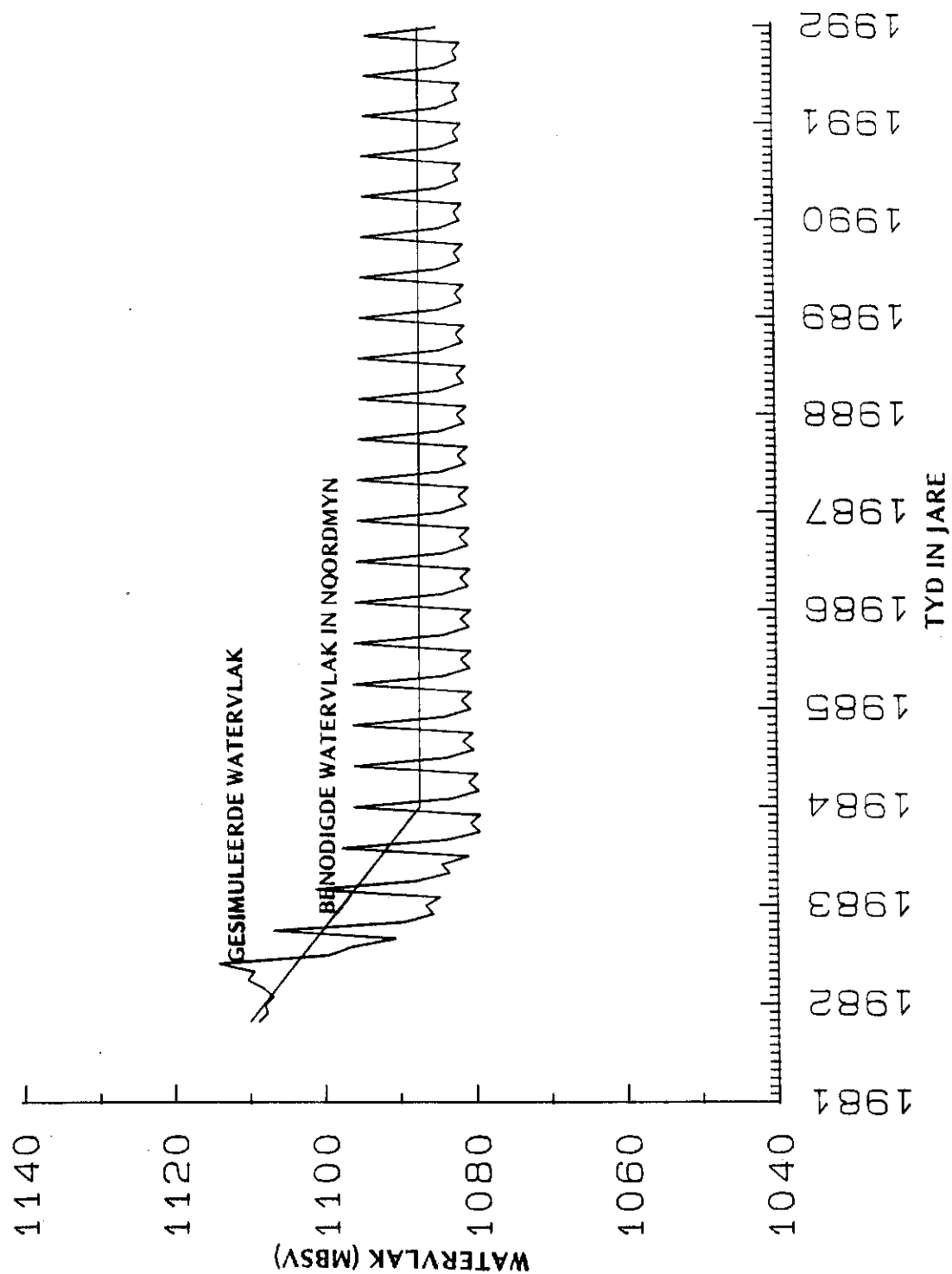
Figuur 7.10. Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 151 vir mynuitleg nr. 1. (Eerste gedeelte van 1982 is waargenome watervlakke)



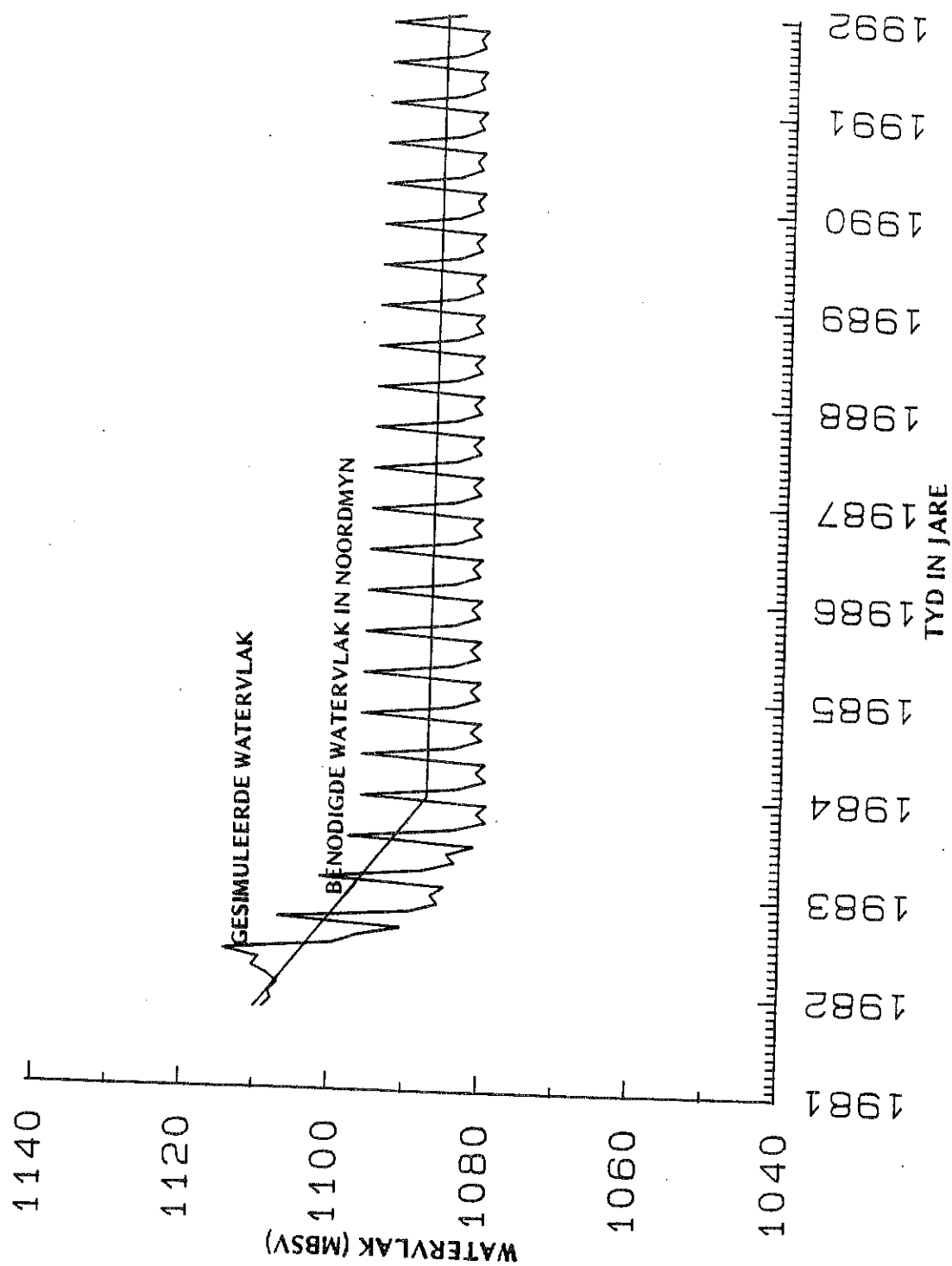
Figuur 7.11. Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 161 vir mynuitleg nr. 1. (Eerste gedeelte van 1982 is waargenome watervlakke)



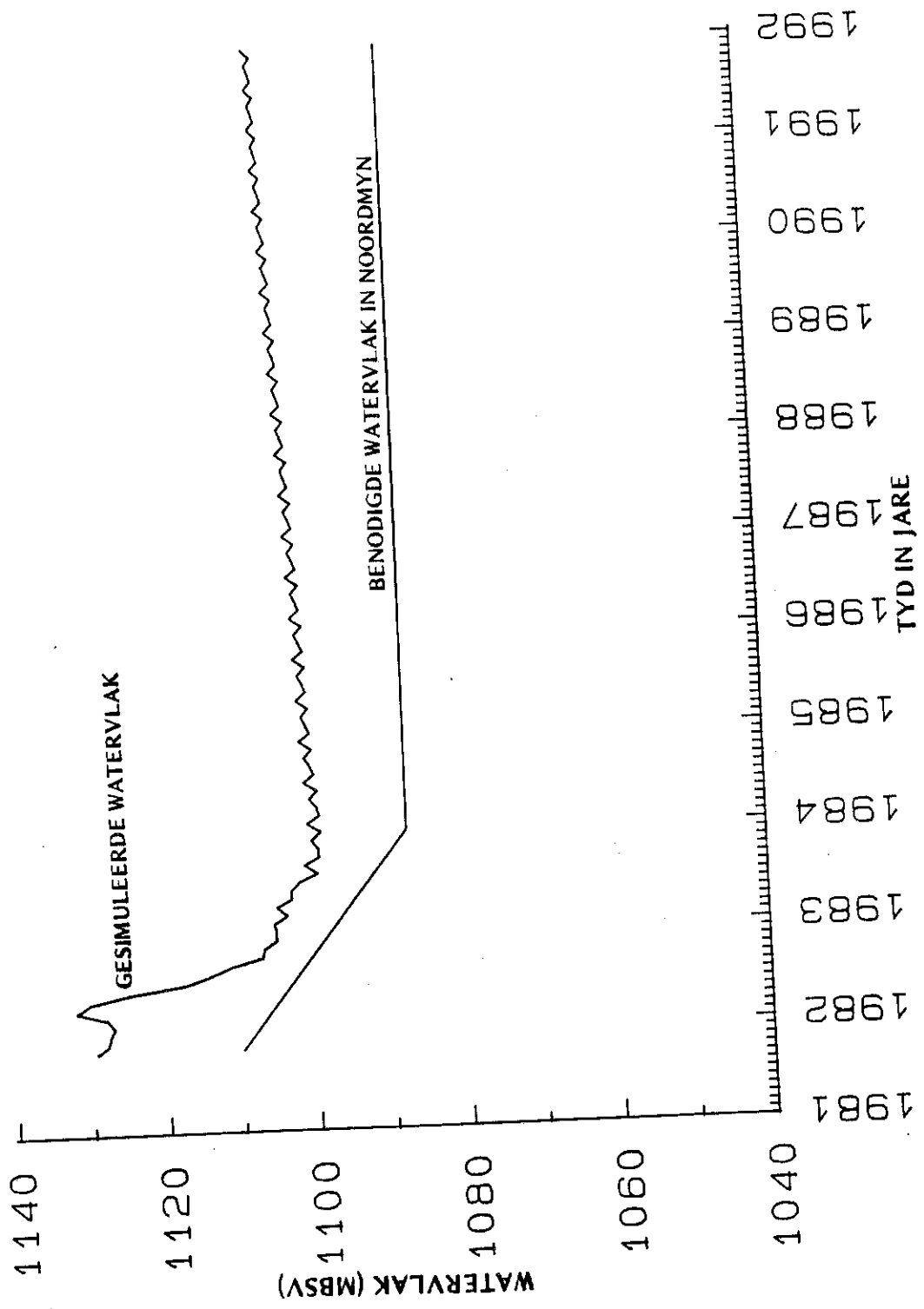
Figuur 7.12. Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 122 indien pompe op 'n rotasiebasis afgeskakel word.
(Eerste gedeelte van 1982 is waargenome watervlakke)



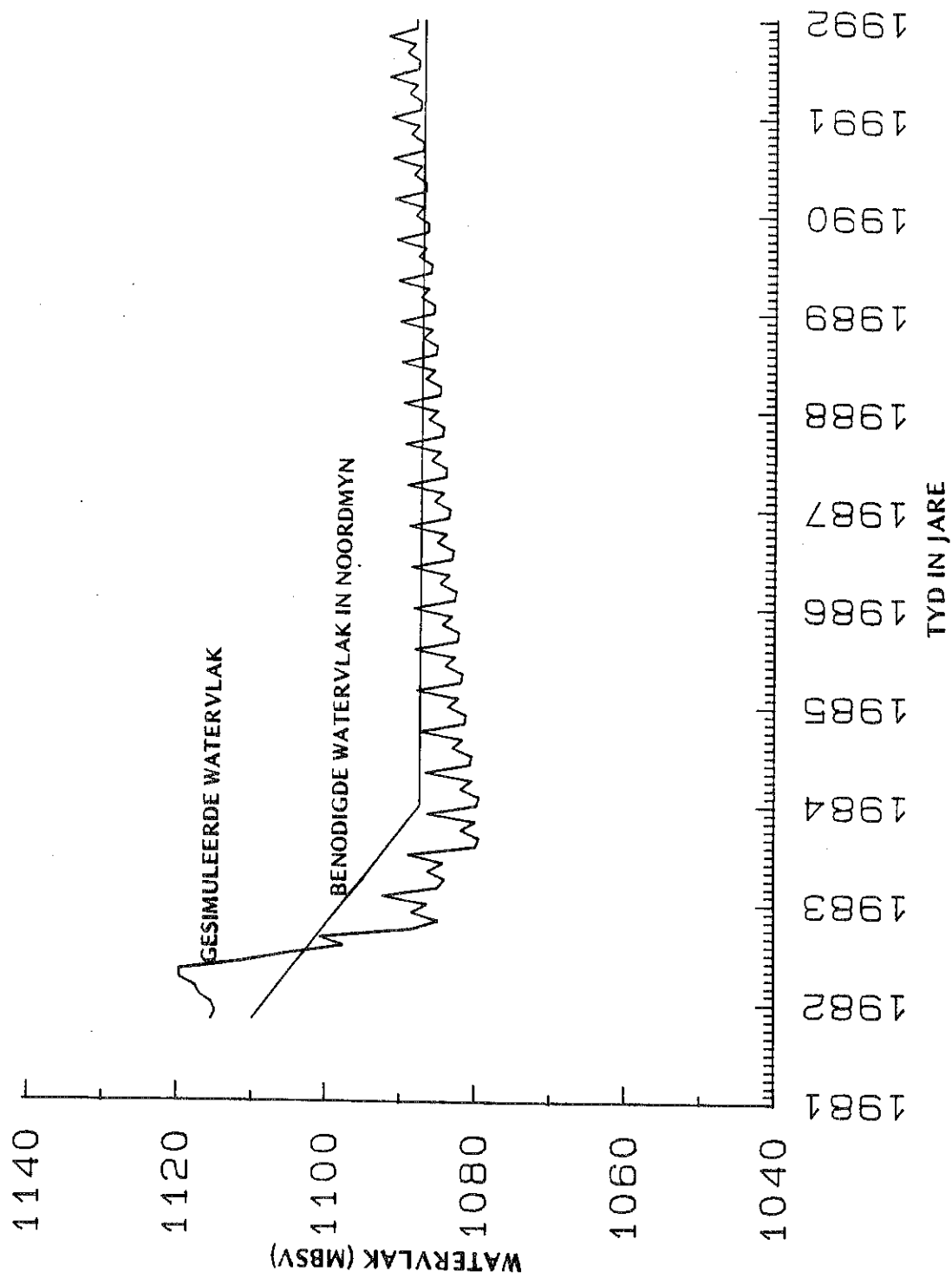
Figuur 7.13. Voorspelde watervlakkdaling in die Noordmyn by node 123 indien pompe op 'n rotasiebasis afgeskakel word.
(Eerste gedeelte van 1982 is waargenome watervlakke)



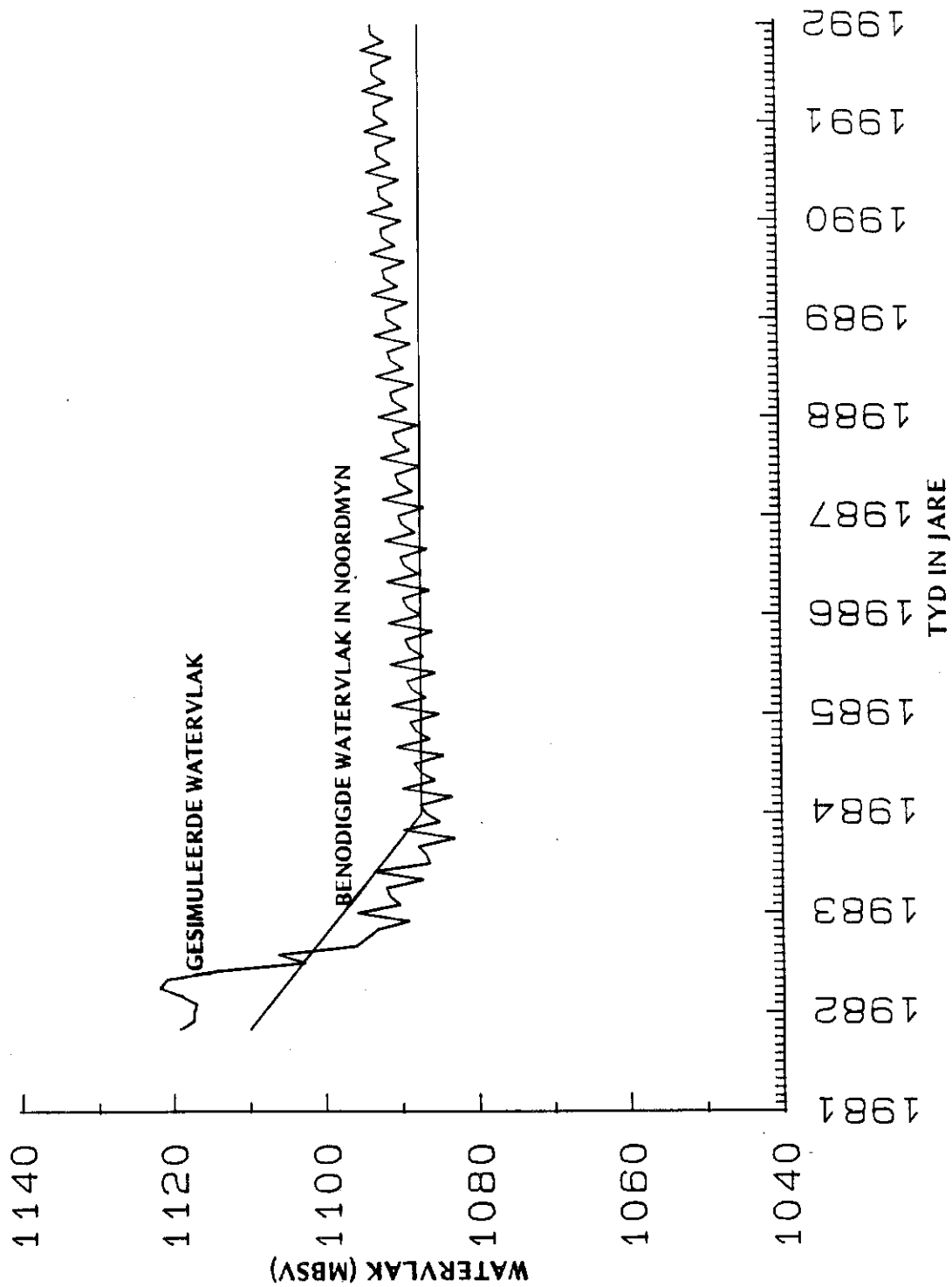
Figuur 7.14. Voorspelde watervlakkdaling in die Noordmyn by node 130 indien pompe op 'n rotasiebasis afgeskakel word.
(Eerste gedeelte van 1982 is waargenome watervlakke)



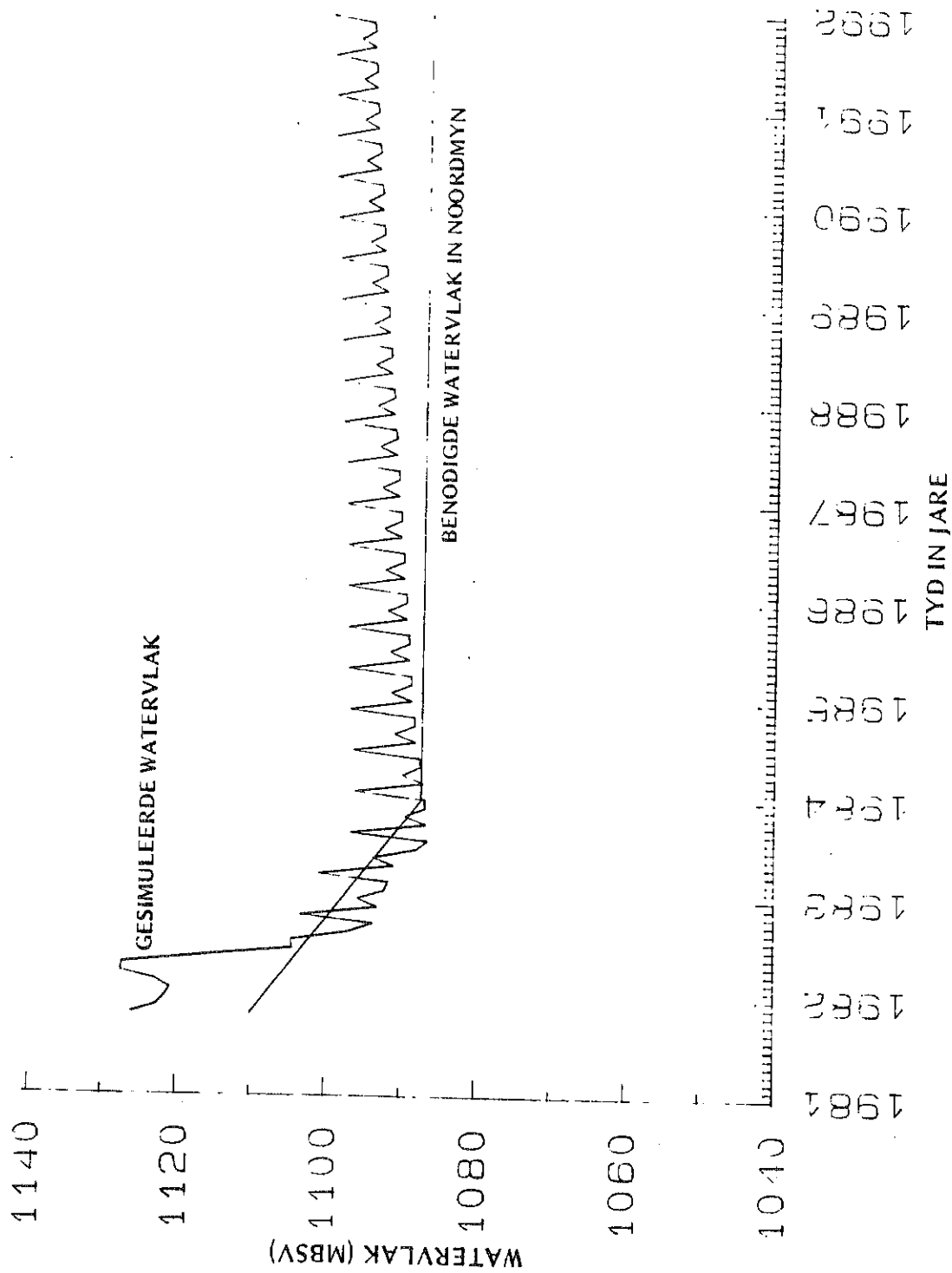
Figuur 7.15. Voorspelde watervlakkdaling in die Noordmyn by node 138 indien pompe op 'n rotasiebasis afgeskakel word.
(Eerste gedeelte van 1982 is waargenome watervlakke)



Figuur 7.16. Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 142 indien pompe op 'n rotasiebasis afgeskakel word.
(Eerste gedeelte van 1982 is waargenome watervlakke)



Figuur 7.17. Voorspelde watervlakkdaling in die Noordmyn by node 151 indien pompe op 'n rotasiebasis afgeskakel word.
(Eerste gedeelte van 1982 is waargenome watervlakke)



Figuur 7.18. Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 161 indien pompe op 'n rotasiebasis afgeskakel word.
(Eerste gedeelte van 1982 is waargenome watervlakke)

Die effek van die afskakel van die pompe kan duidelik in die herstel van die watervlakke by die pompgate gesien word. Die sekondêre stygings of dalings wat by sekere van die pompgate voorkom, kan aan die aan- of afskakel van die ander pompe toegeskryf word.

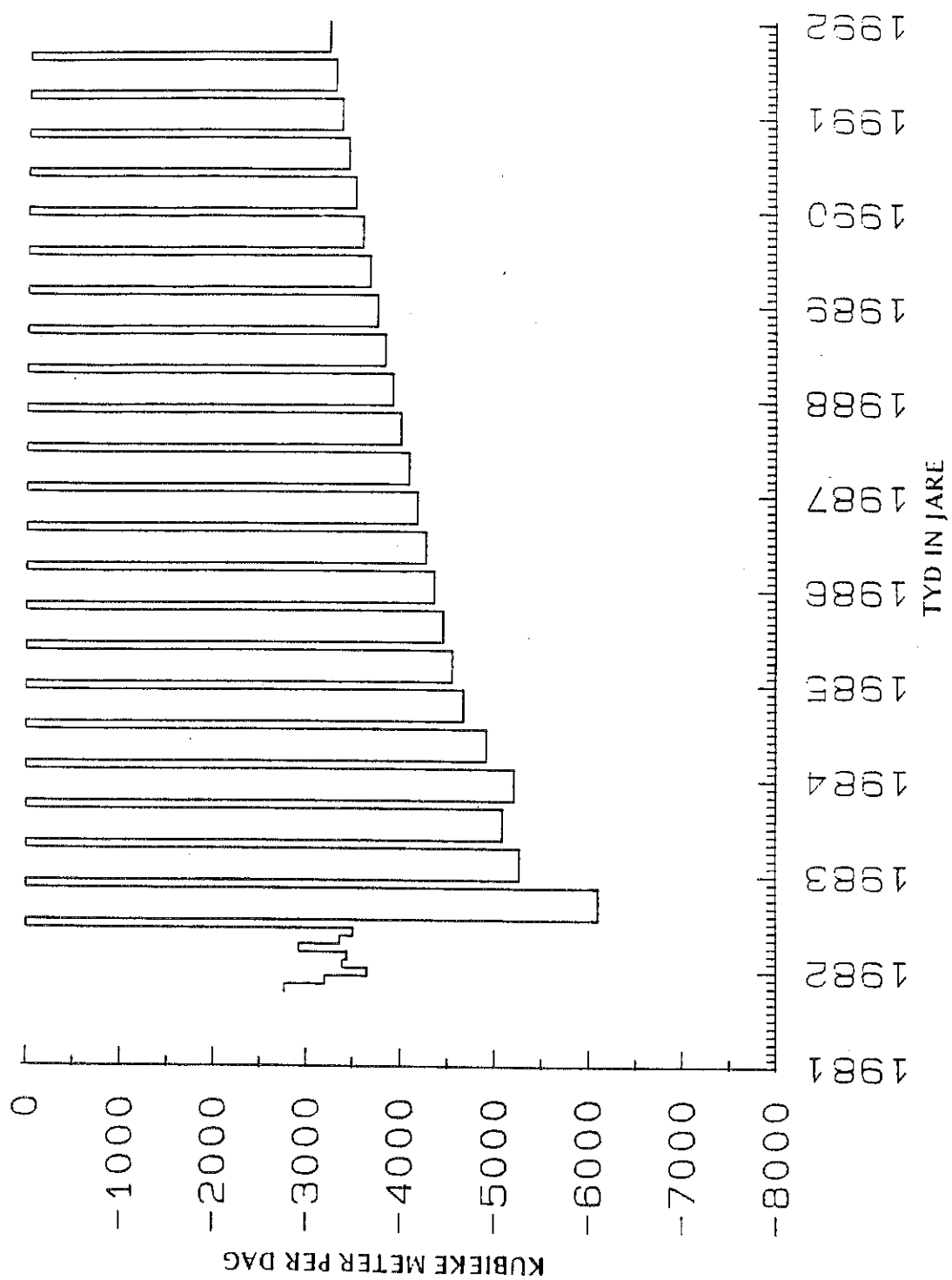
Die individuele pomptempo's word in Figuur 7.19 geïllustreer. Hieruit is dit duidelik dat die pompe nie oor die verlangde pompkapasiteit beskik nie. Die rotering van pompgate is gevolglik nie aan te beveel nie.

7.3 VOORSPELLINGS VOLGENS MYNUITLEG 2

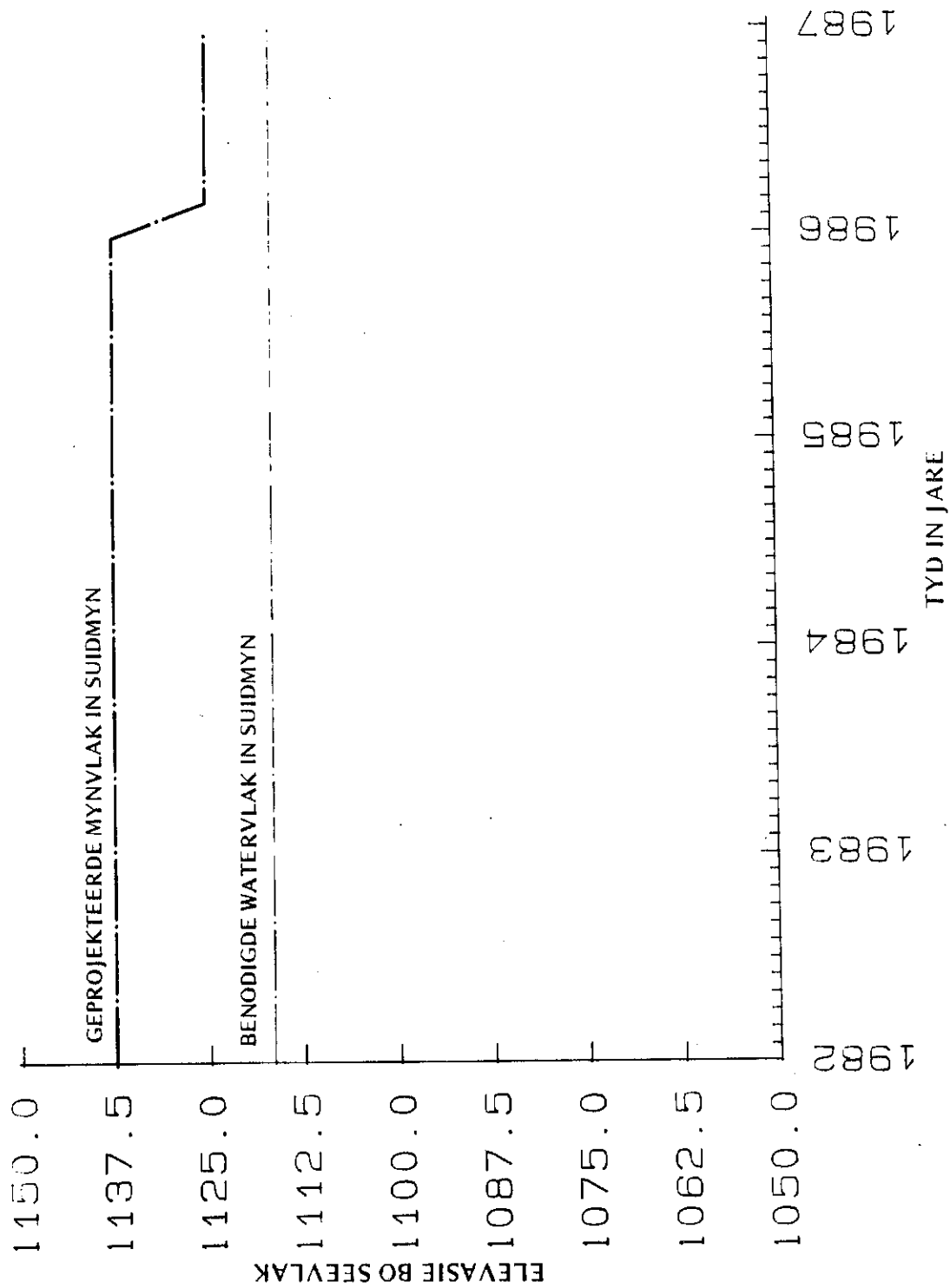
'n Alternatiewe mynboukonfigurasie word tans ook oorweeg. Dit verskil wesenlik van die eerste mynuitleg, aangesien die vlak van ontwatering in die Suidmyn heelwat hoër is. Daarenteen word 'n dieper groef in die Noordmyn-gebied beoog. Die alternatiewe mynuitlegte word in Figure 7.20 en 7.21 aangedui.

As gevolg van die alternatiewe mynuitleg moes 'n heel nuwe ontwateringsprogram daargestel word. Heelwat minder grondwater sal nou vanuit die Suidmyn-gebied onttrek hoef te word. Daarenteen sal 'n aansienlike hoër pomptempo in die Noordmyn-gebied gehandhaaf moet word. Die benodigde pomptempo's vir die nuwe mynuitleg word grafies in Figure 7.22 en 7.23 voorgestel.

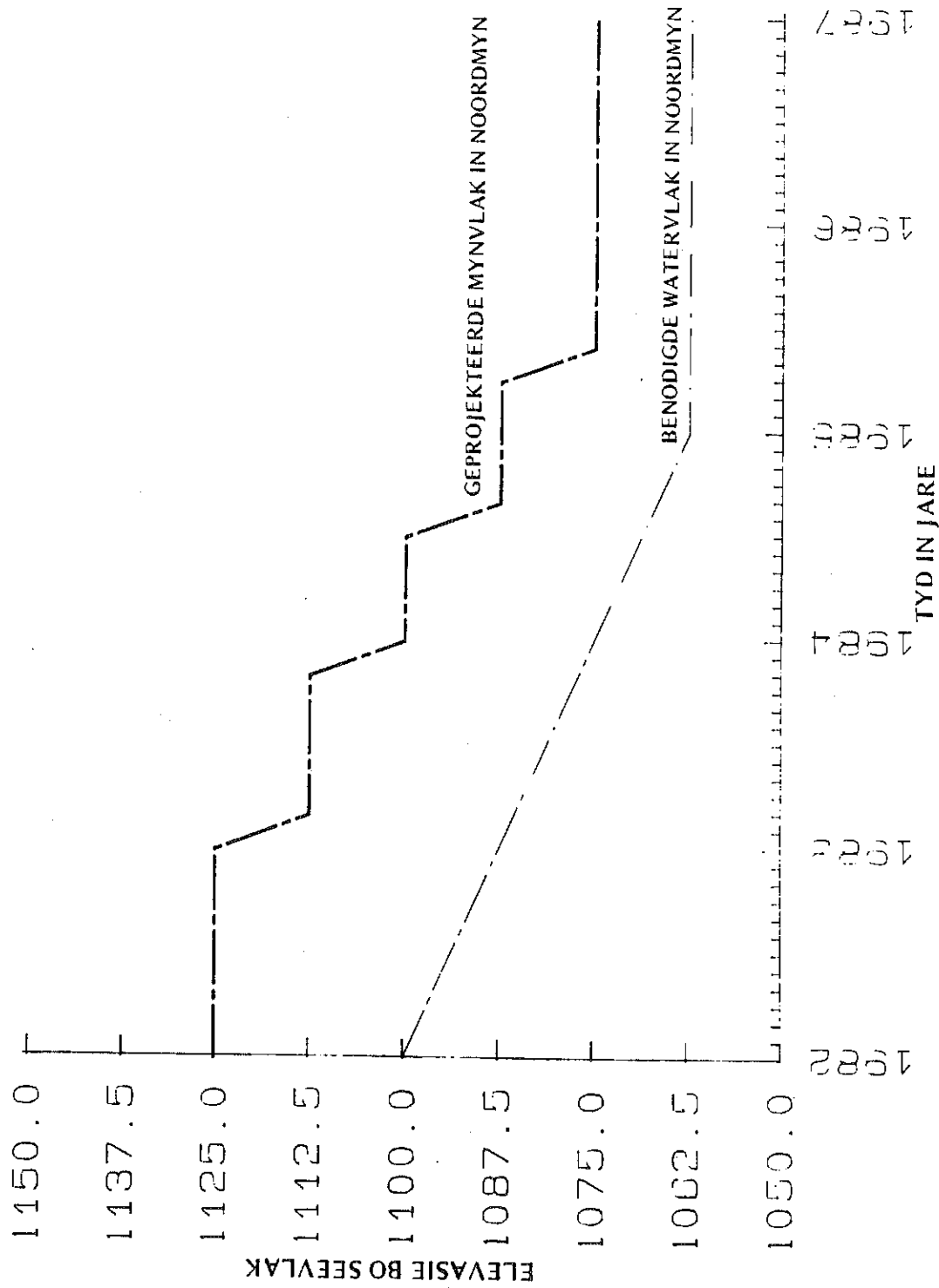
In die vorige mynuitleg sou die pomptempo in die Suidmyn-gebied nie voldoende gewees het nie. As gevolg van die alternatiewe mynuitleg in die suide, word 'n drastiese afname in die pomptempo gevind. Inisieel sal daar wel teen relatiewe hoë pomptempo's, naamlik $58\,000\text{ m}^3/\text{dag}$ gepomp moet word, maar daarna sal die pomptempo geleidelik tot $34\,000\text{ m}^3/\text{dag}$ in 1987 verminder kan word.



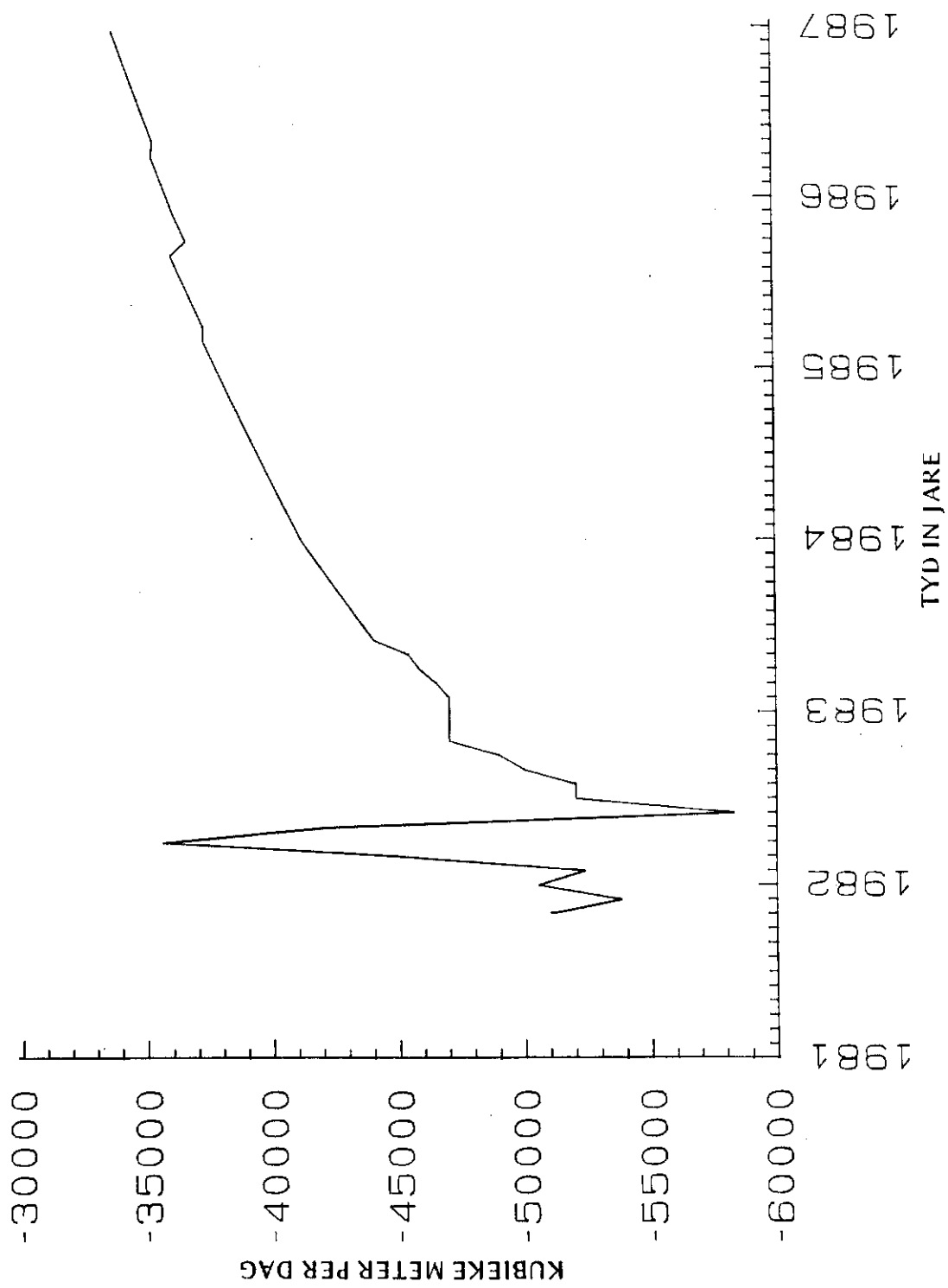
Figuur 7.19. Pomptempo by node 123 indien pompe op 'n rotasiebasis afge-
skakel word.



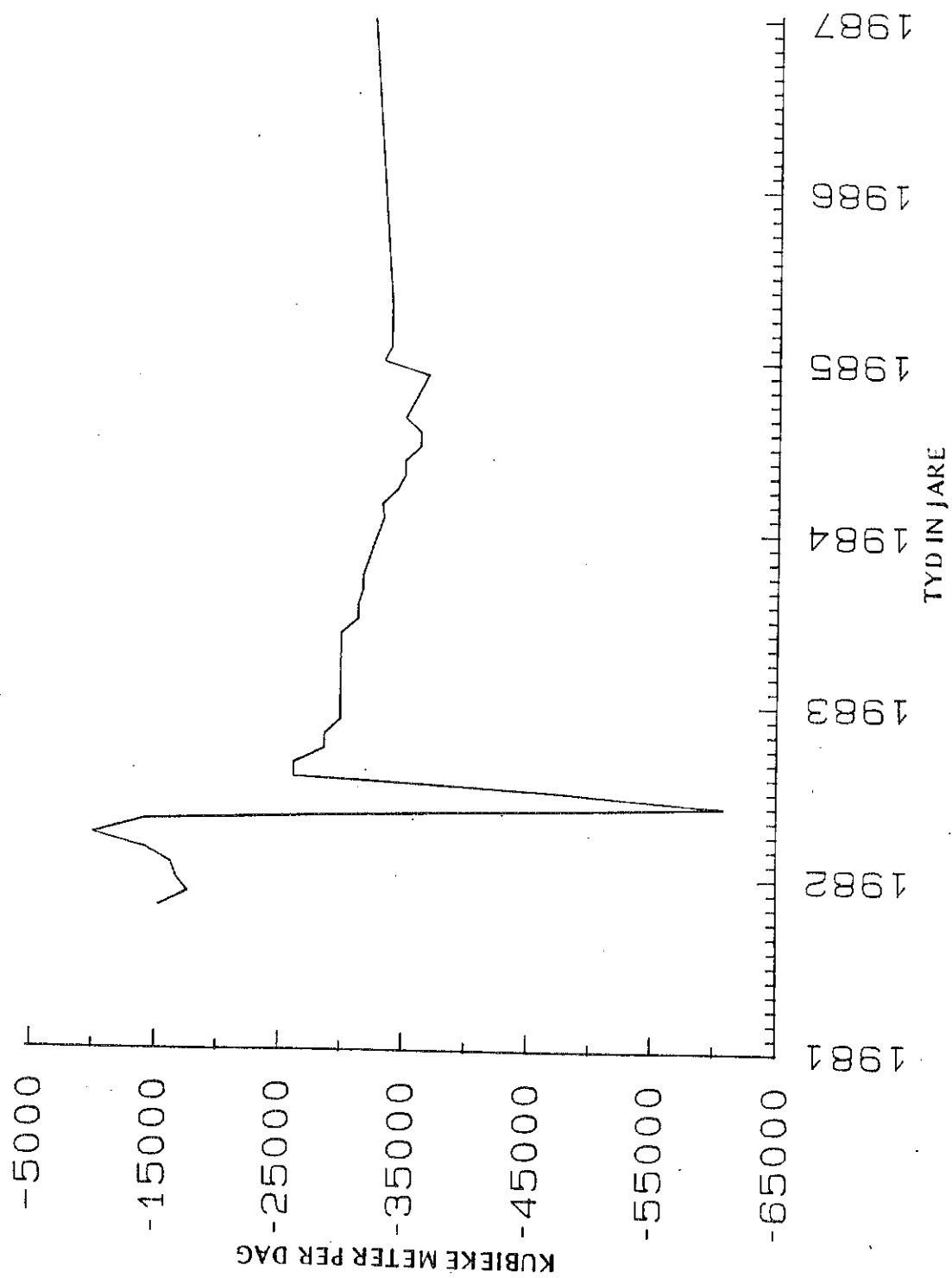
Figuur 7.20. Mynuitleg nr. 2 vir periode 1982 tot 1986 in die Suidmyn.



Figuur 7.21. Mynuitleg nr. 2 vir die periode 1982 tot 1986 in die Noordmyn.



Figuur 7.22. Voorspelde pomptempo's by die Suidmyn vir mynuitleg nr. 2.



Figuur 7.23. Voorspelde pomptempo's by die Noordnyn vir nymnitteg nr. 2.

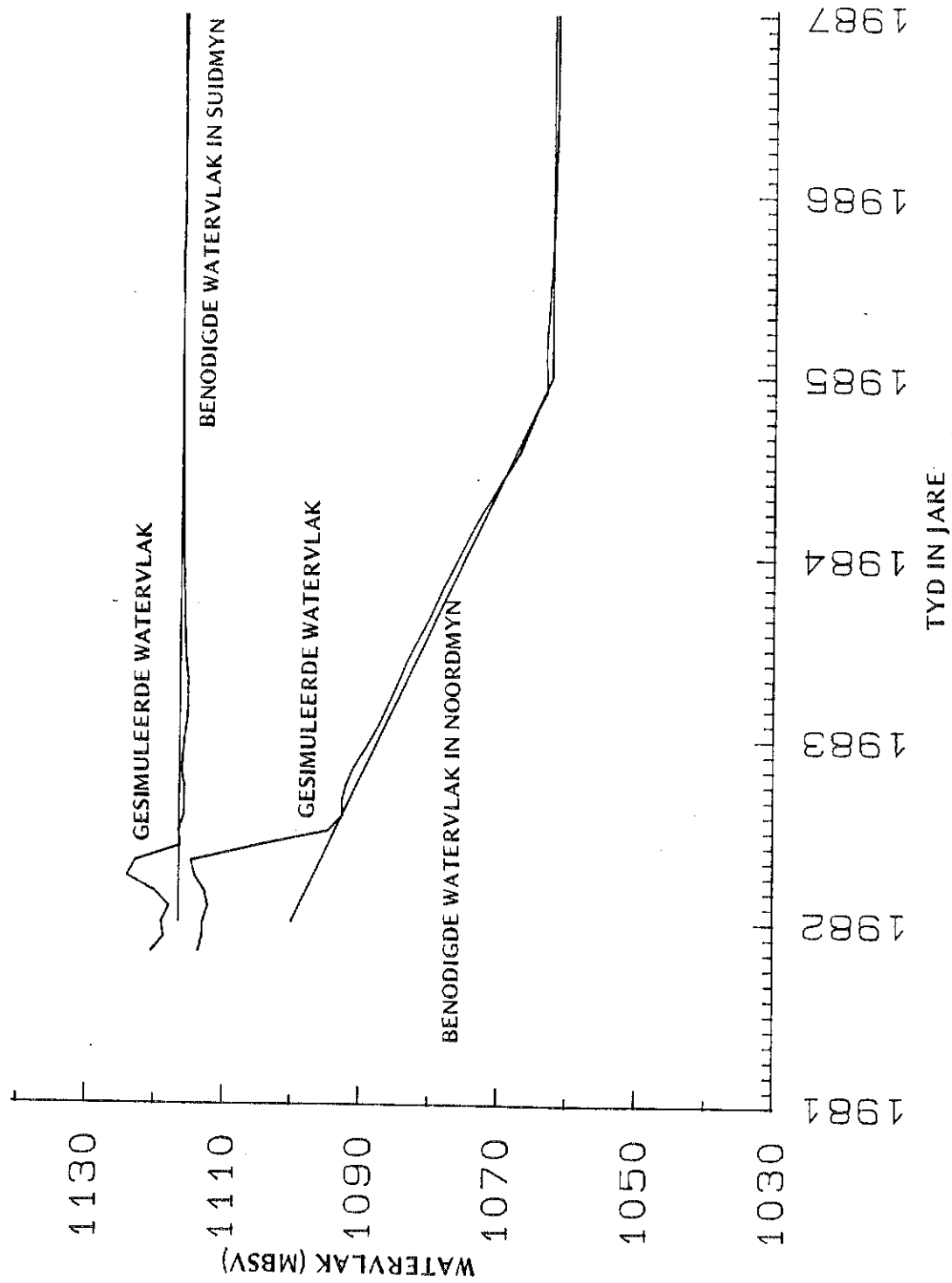
In die Noordmyn-gebied sal die huidige pompkapasiteit egter deurentyd onvoldoende wees. Bykomende boorgate sal ongetwyfeld nodig wees om die verlangde ontwateringseffek te verkry. Die benodigde pompsyfers is aan die hand van gesimuleerde watervlakdalings by node 122 bereken. Indien daar na die individuele pompgate gekyk sou word, sal net soos in die geval van die vorige mynuitleg gevind word dat watervlakke by sommige van die pompgate meer daal as wat nodig is, terwyl ander pompgate kleiner dalings tot gevolg het. Die model kan verder benut word om die pomptempo's te kalibreer, maar in effek sal dit voldoende wees om die pomptempo's eksperimenteel in die veld te reguleer. Grafieke van die watervlakdalings by individuele simulasiepunte word in Figure 7.24 tot 7.30 weergegee.

Die vernaamste gevolgtrekking wat hier gemaak kan word, is dat die tweede mynuitleg die hele ontwateringsstelsel wat vir die eerste mynuitleg voorgestel is, omverwerp. Voldoende pompkapasiteit sal nou in die Suidmyn beskikbaar wees, terwyl die pompkapasiteit in die Noordmyn heeltemal onvoldoende sal wees.

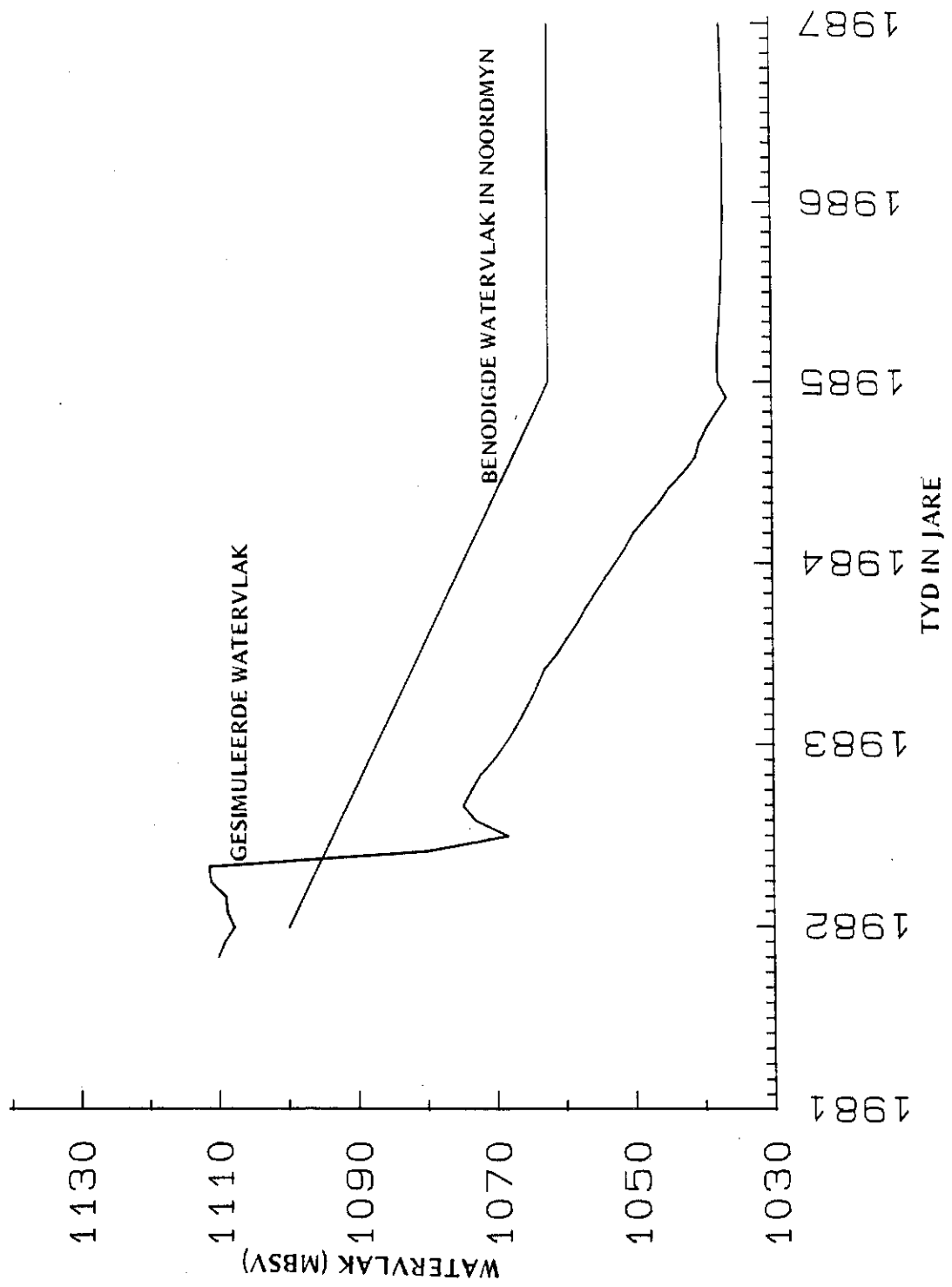
Ten einde hierdie aspek verder te illustreer, is twee verdere simulasies uitgevoer. In elkeen van hierdie simulasies is 85 persent van die maksimum pomptempo by die Suidmyn en Noordmyn gespesifiseer, terwyl 0 persent aanvulling in die eerste simulasie en 8 persent aanvulling in die tweede simulasie aanvaar is. Die syfer van 85 persent van die maksimum pomptempo word as 'n aanvaarbare waarde gereken, aangesien breekkasies kan voorkom.

In die eerste simulasie, waarvan die resultate in Figuur 7.31 weergegee word, is gevind dat die verlangde ontwateringsvlak in die Suidmyn maklik deur uitpompings aldaar bereik kan word. In die Noordmyn-gebied is die watervlak egter deurgaans hoër as die verlangde ontwateringsvlak. Weer eens dui dit daarop dat die pomptempo in die Noordmyn-gebied heeltemal onvoldoende oor die lang termyn sal wees.

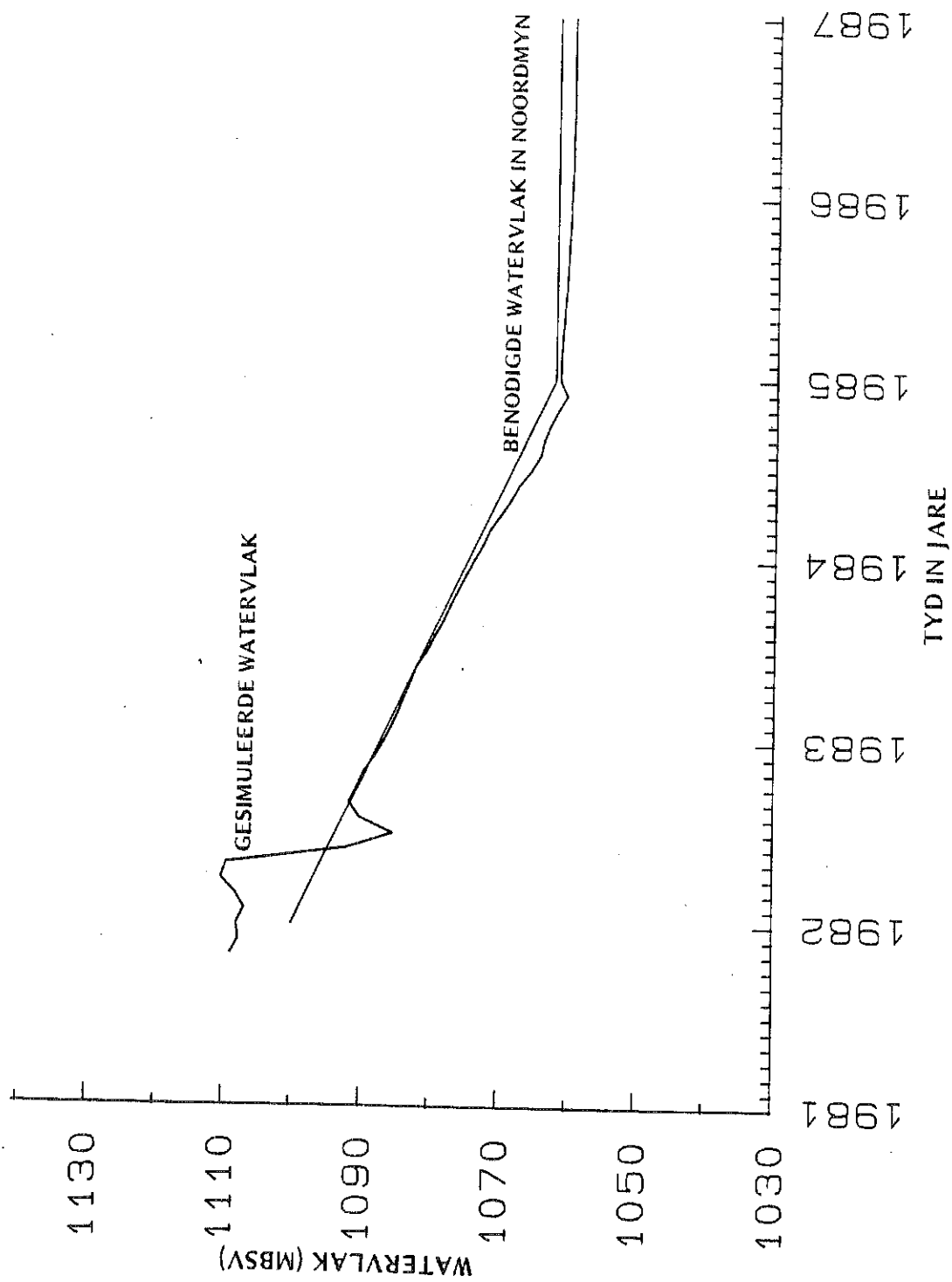
In al die berekenings van ontwateringstempo's en geassosieerde pomptempo's is aanvulling vanuit reënval tot nou toe buite rekening gelaat. Die rede hier-



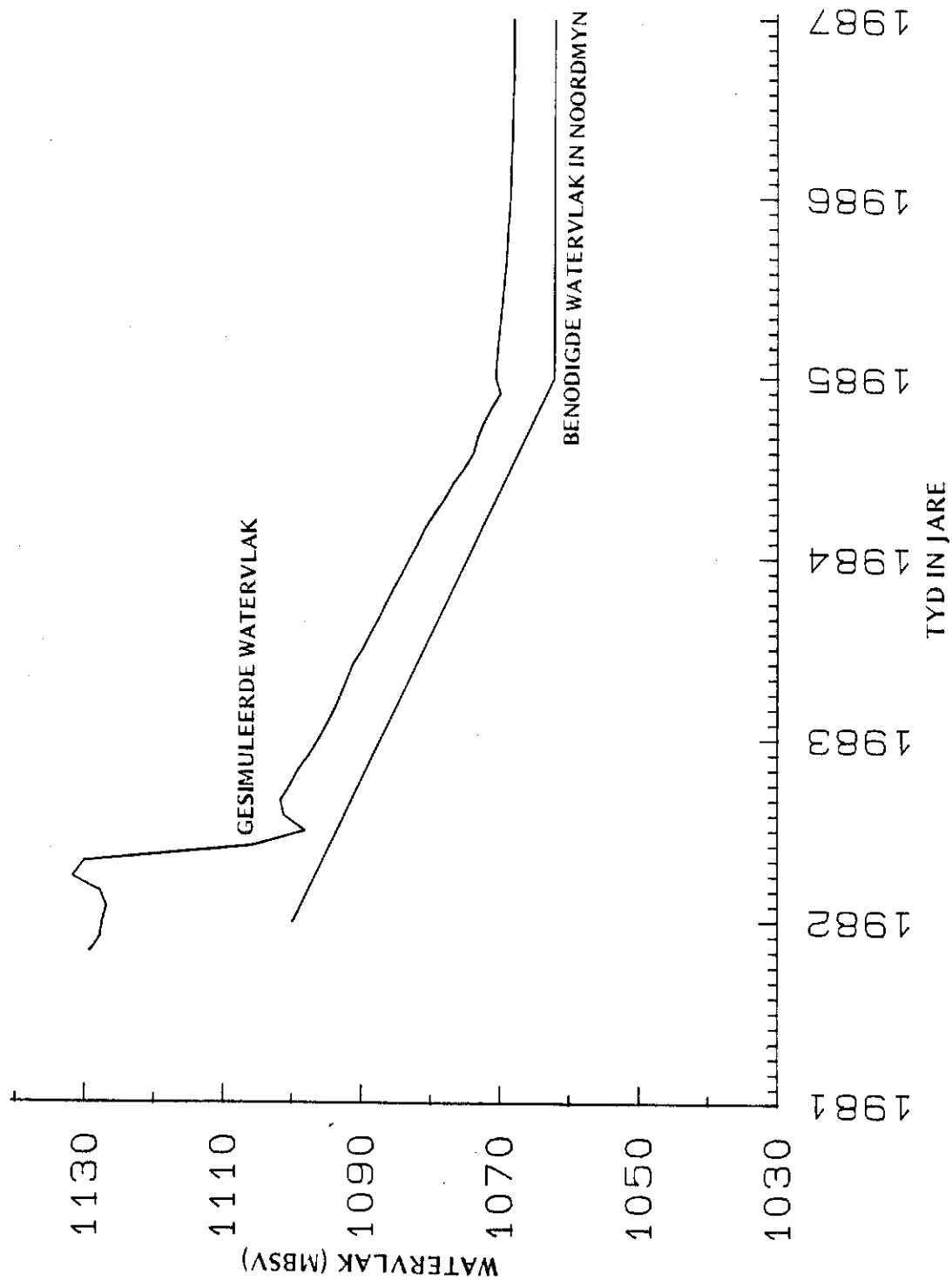
Figuur 7.24. Voorspelde watervlakdalings in die Suid- en Noordmyn vir myn-
uitleg nr. 2.



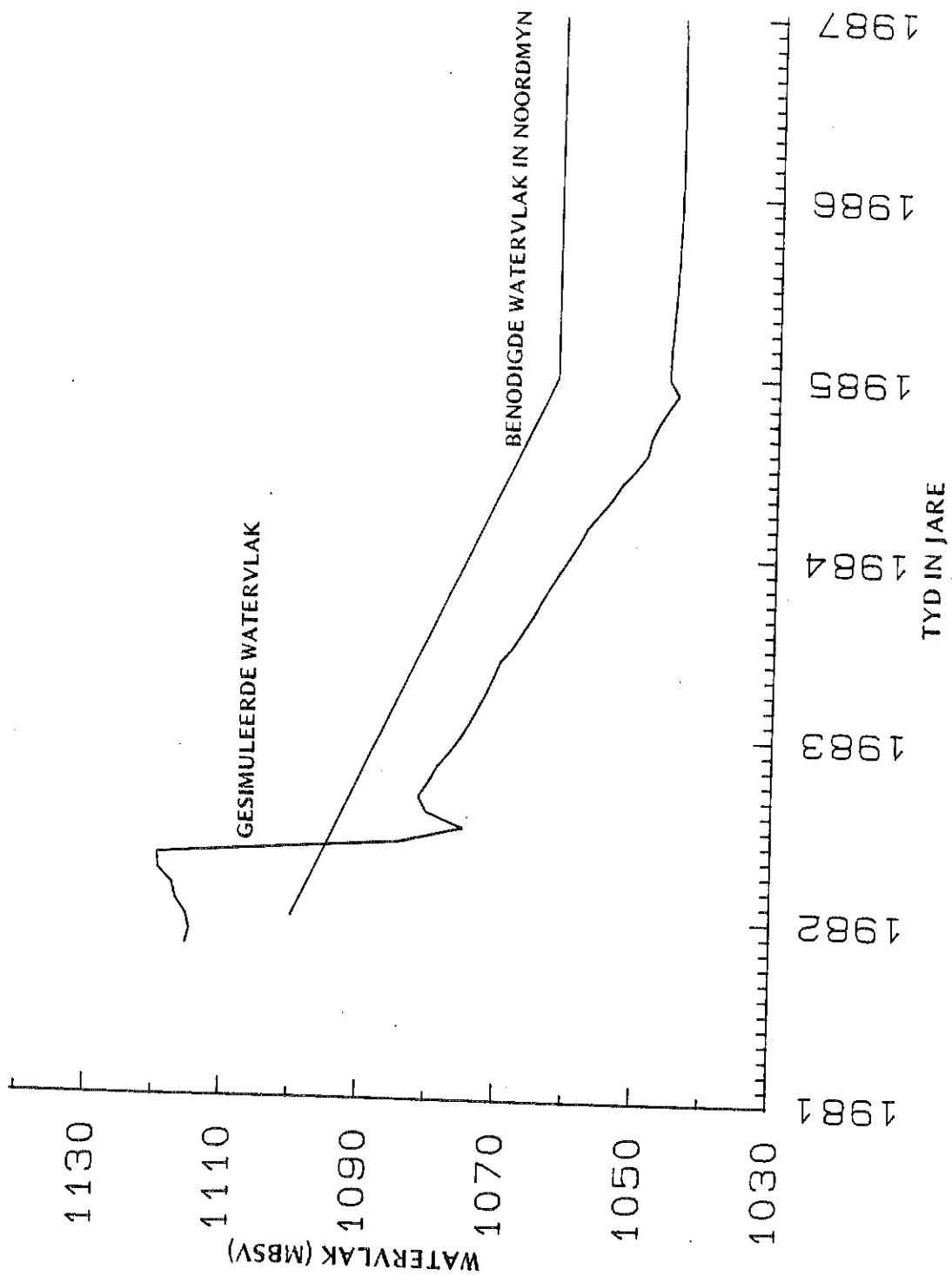
Figuur 7.25. Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 123 vir mynuitleg nr. 2.



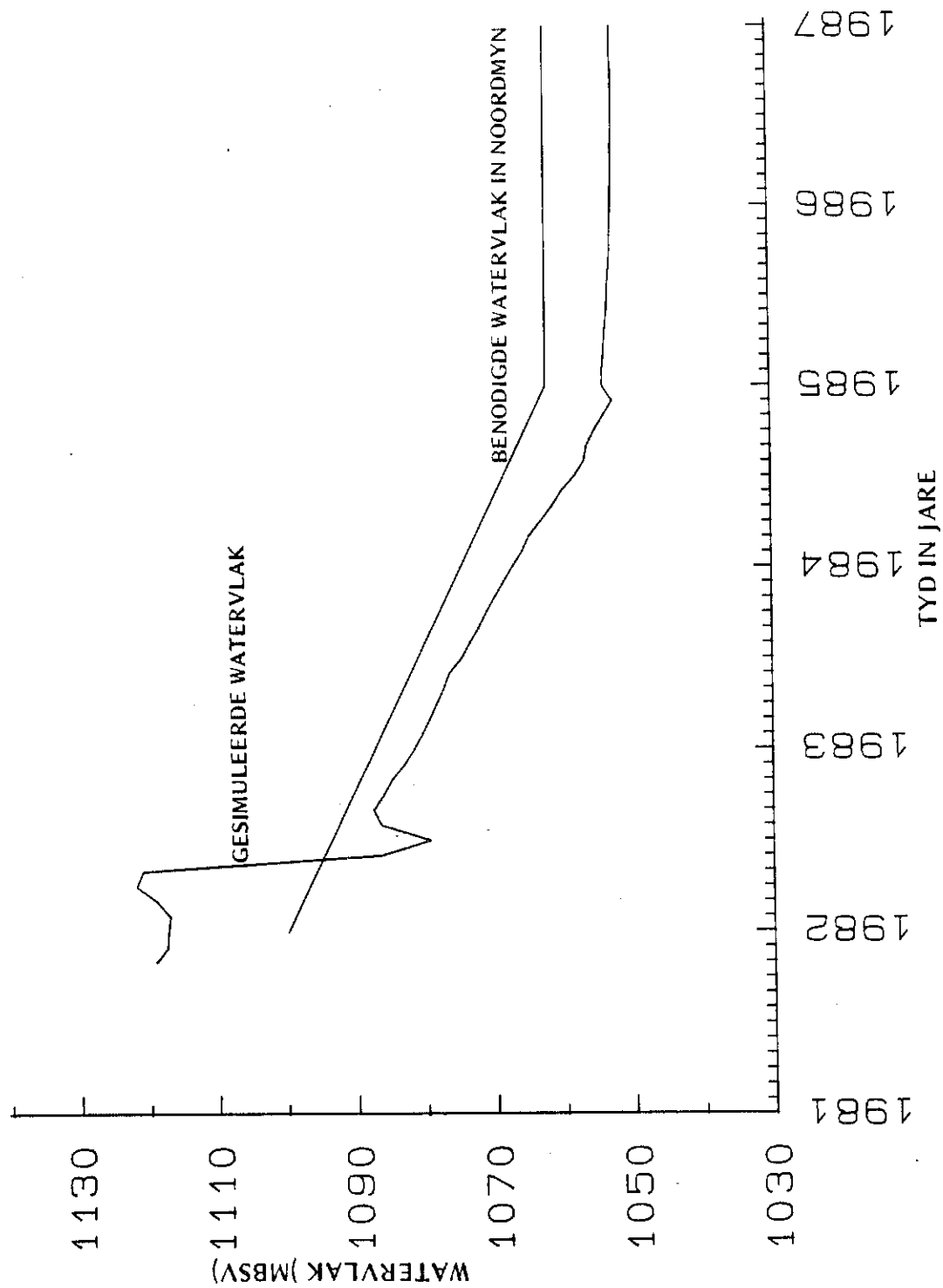
Figuur 7.26. Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 130 vir mynuitleg nr. 2.



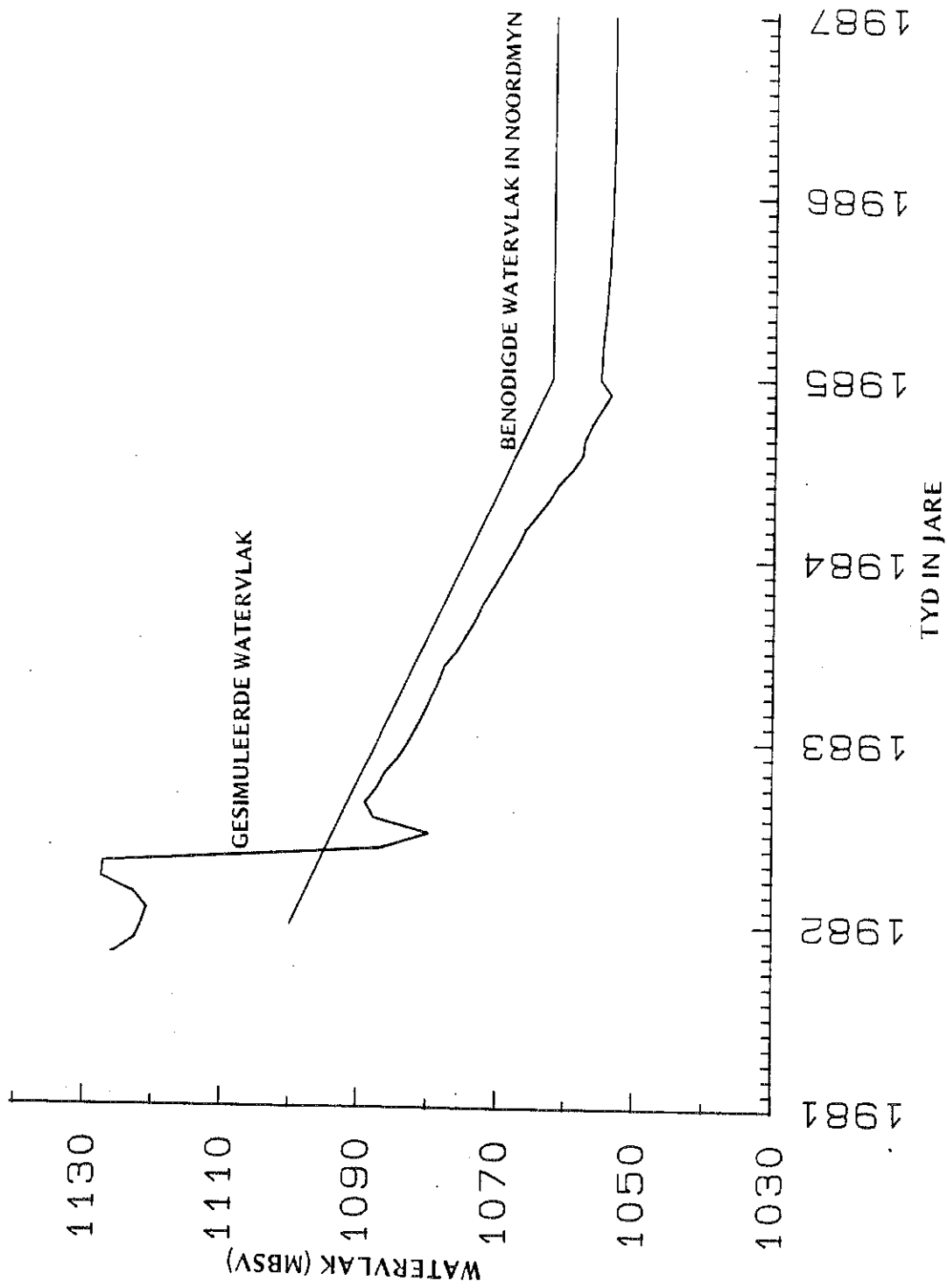
Figuur 7.27. Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 138 vir mynuitleg nr. 2.



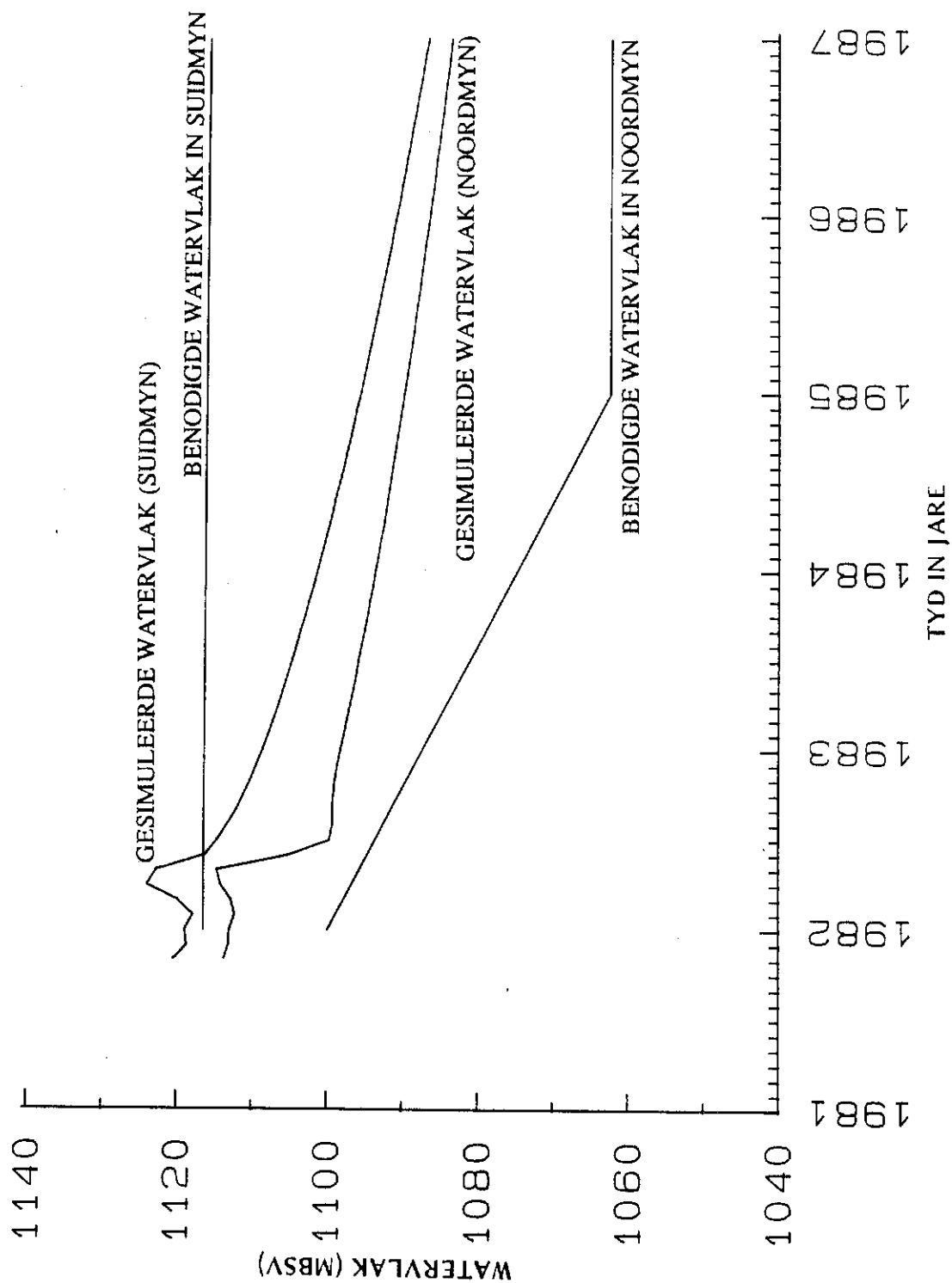
Figuur 7.28. Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 142 vir mynuitleg nr. 2.



Figuur 7.29. Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 151 vir mynuitleg nr. 2.



Figuur 7.30. Voorspelde watervlakdaling in die Noordmyn by node 161 vir mynuitleg nr. 2.



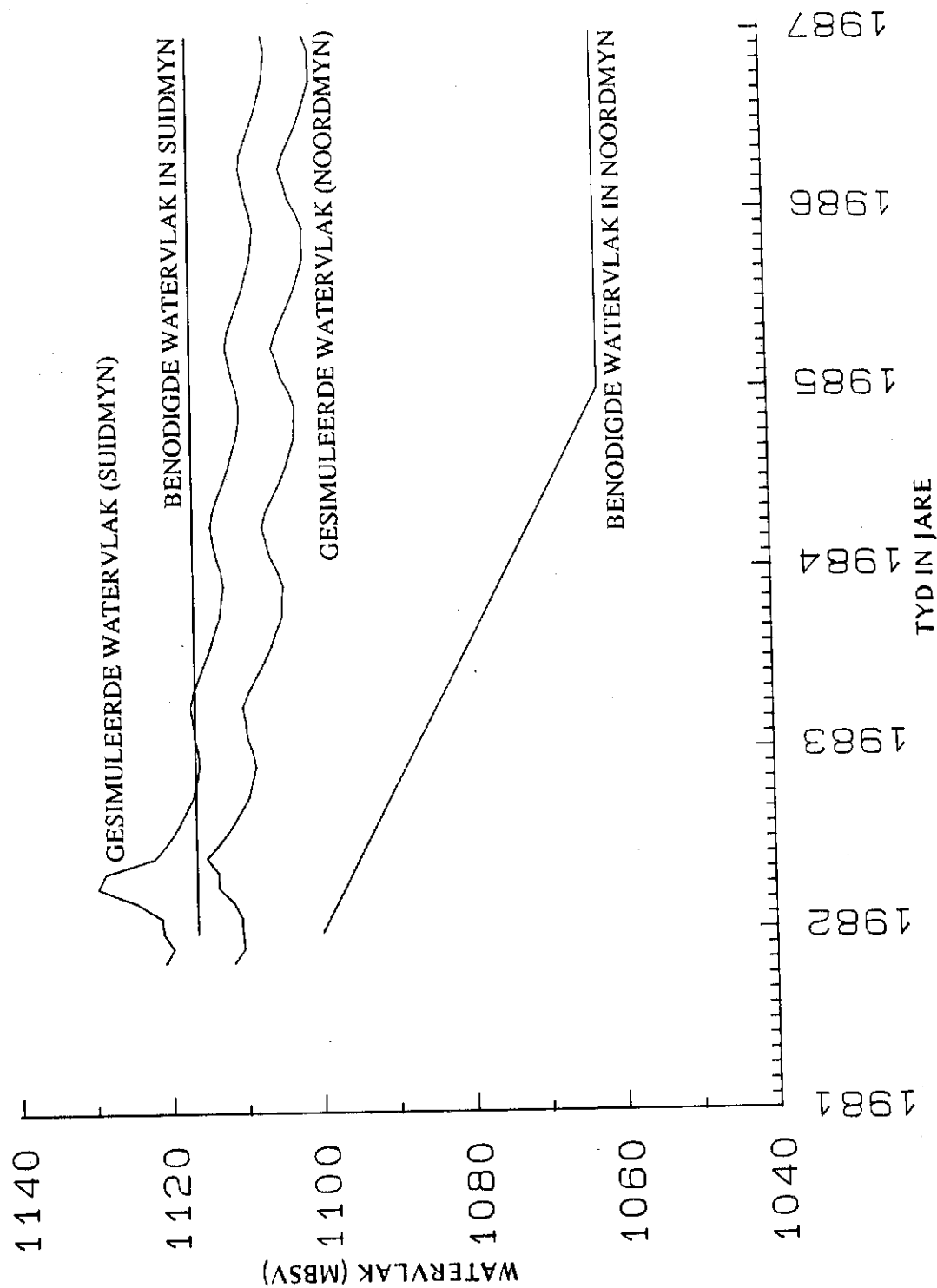
Figuur 7.31. Voorspelde watervlakdalinge in die Suid- en Noordmyn indien daar teen 85 persent kapasiteit gepomp word.
(Eerste gedeelte van 1982 is waargenome watervlakke)

voor was in hoofsaak omdat die werklike aanvullingsyfer nog nie sonder twyfel bewys is nie. Net om 'n gevoel van die bydrae van aanvulling op die sisteem te verkry, is 'n tweede rekenaarsimulasie uitgevoer. Die parameterwaardes was identies aan die waardes in die vorige simulasie, behalwe dat 8 persent van die gemiddelde seisoenale reënval as aanvulling tot die grondwatersisteem bereken is. Die ontwateringsgrafieke in Figuur 7.32 dui die effek van hierdie aanvulling aan. Dit is duidelik dat beide die ontwateringsvlakke in die Suidmyn- en in die Noordmyn-gebied ongeveer 15 meter as gevolg van hierdie aanvulling oor 'n tydperk van 5 jaar styg. Pomptempo's in die Suidmyn is egter nog steeds voldoende om die verlangde ontwateringseffek te verkry. Daarenteen lyk die prentjie in die Noordmyn-gebied selfs minder gunstig.

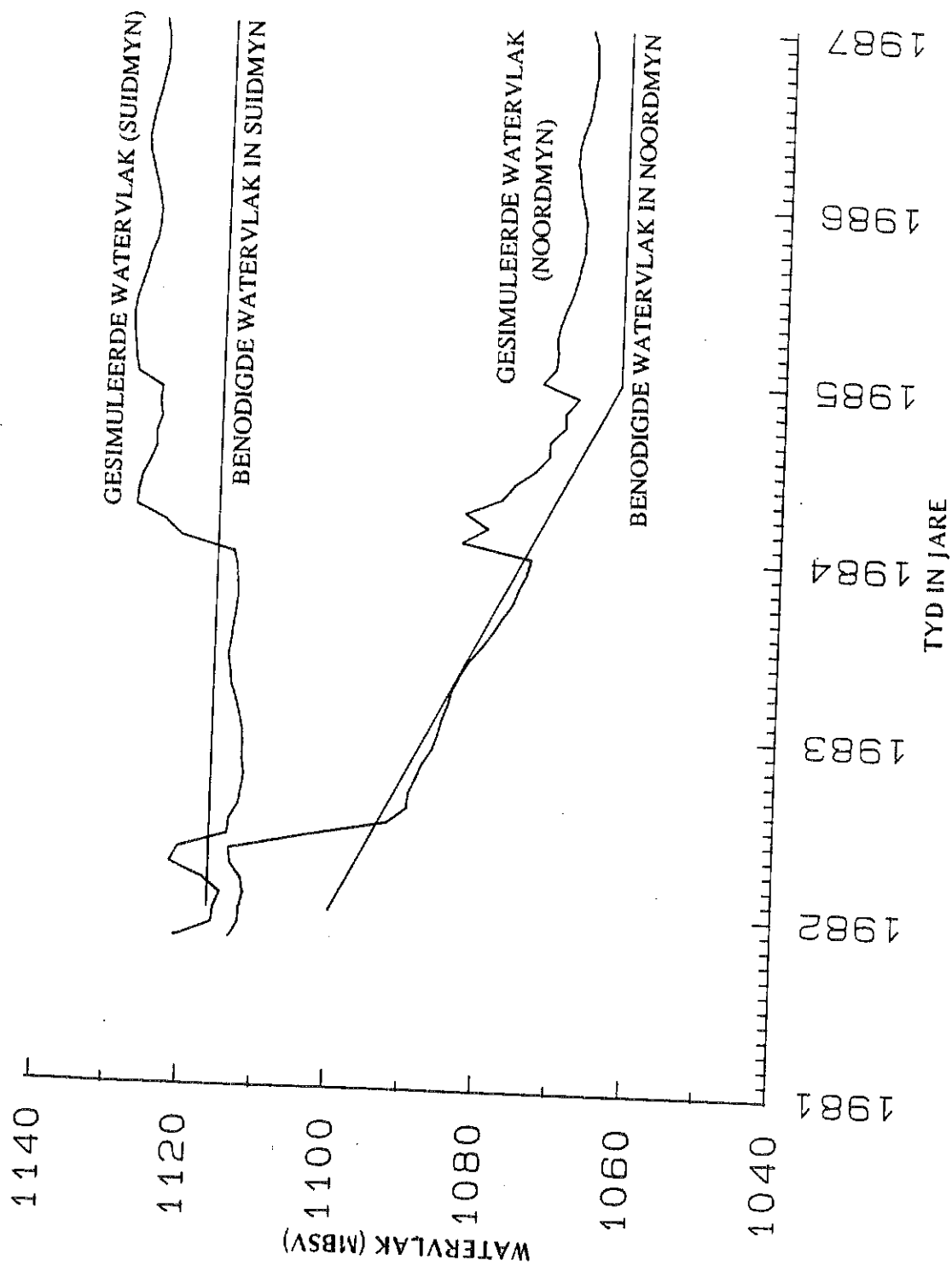
As 'n verdere eksperiment is die pomptempo's soos in Figure 7.22 en 7.23 in nog simulasiepogings gebruik. 'n Buitengewone hoë reënvalsiklus wat met dié van 1973/74 ooreenstem, is vir die jaar 1984 gespesifiseer. Agt persent van hierdie reënval is as aanvulling tot die grondwatersisteem bygereken. Die resultante ontwateringsgrafieke word in Figuur 7.33 weergegee. Hieruit is dit duidelik dat 'n buitengewone reënvalperiode soos wat in 1973/74 ondervind is, 'n algemene styging in die watervlakke van ongeveer 10 meter tot gevolg kan hê. In toekomstige beplanning sal daar ook hiervoor voorsiening gemaak moet word.

7.4 TOEKOMSTIGE WATERVOORSIENING

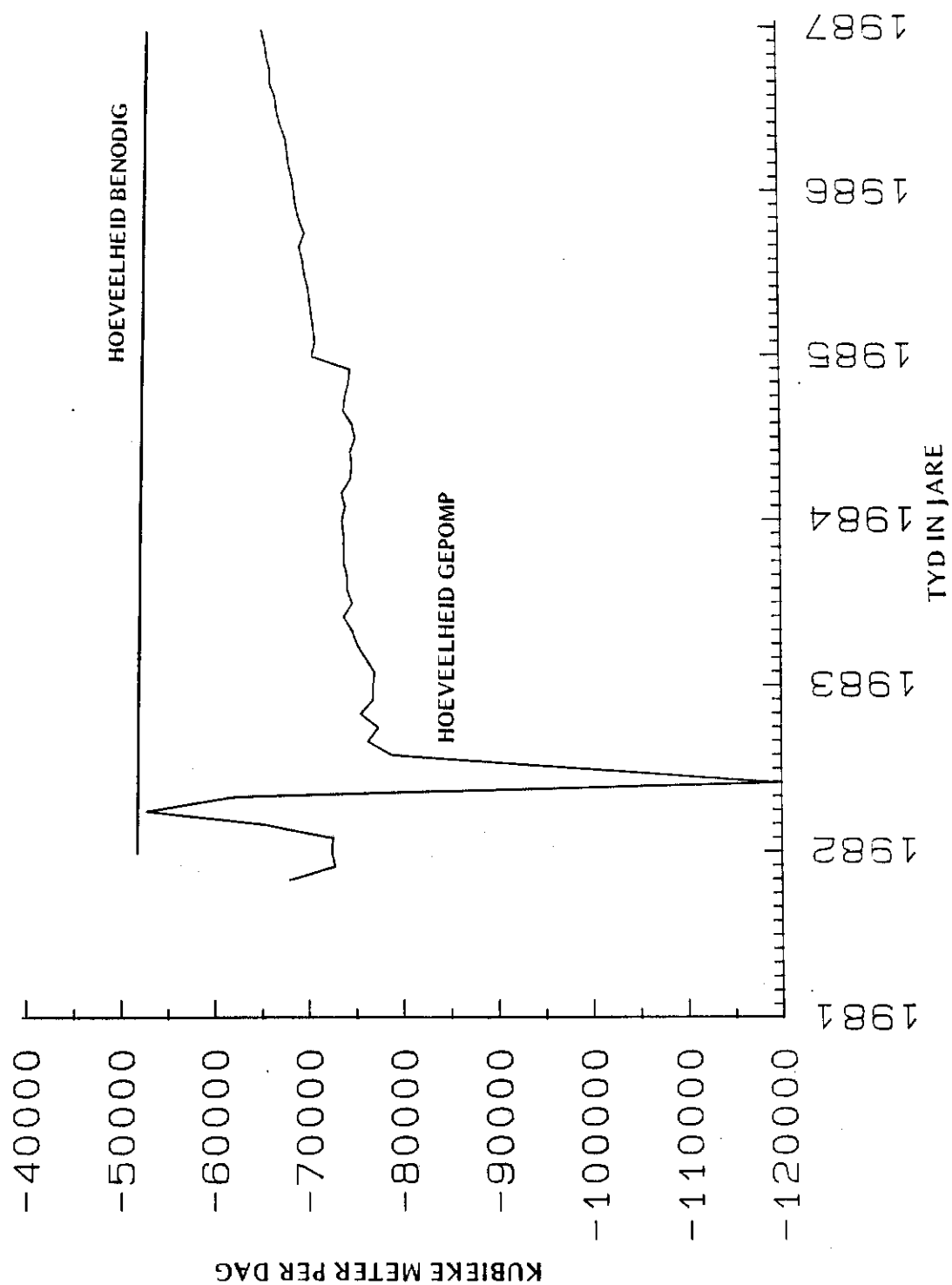
Huidiglik word ongeveer $52\,000\text{ m}^3$ water per dag in die Sishen-gebied gebruik. Om vooruitskattings van die toekomstige waterverbruik te maak, is uiters moeilik. Hierdie syfer is gevolglik met 'n reguitlyn in Figuur 7.34 aangedui. Die totale geprojekteerde pompsyfers vir die tweede mynuitleg word ook aangedui. Dit is duidelik dat voldoende grondwater vir die volgende vyf jaar vanuit die gebied onttrek kan word. In werklikheid sal daar 'n surplus van ongeveer $20\,000\text{ m}^3/\text{dag}$ wees.



Figuur 7.32. Voorspelde watervlakdalings in die Suid- en Noordmyn indien daar teen 85 persent kapasiteit gepomp word en 8 persent aanvulling vanuit reënval bygereken word.
(Eerste gedeelte van 1982 is waargenome watervlakke)



Figuur 7.33. Voorstelling van die effek van 'n abnormale hoë reënvalperiode (soos in 1976) op die gesimuleerde watervlakdalings.
(Eerste gedeelte van 1982 is waargenome watervlakke)



Figuur 7.34. Grafiese voorstelling van waterbenodigdhede en totale onttrekkingstempo's in die Sishen-gebied.
(Eerste gedeelte van 1982 is waargenome watervlakke)

Voorspellings van toekomstige onttrekkingstempo's vir langer as vyf jaar vooruit, is uiters moeilik aangesien invloei hoofsaaklik deur die vlak van mynbou bepaal word. Met behulp van die model kon egter aangetoon word dat voldoende grondwater vir ten minste die volgende vyf jaar en waarskynlik vir 'n veel langer tydperk vanuit die myn onttrek sal kan word.

'n Feit wat egter op hierdie stadium sterk beklemtoon moet word, is dat die model op grond van 'n minimum geohidrologiese inligting gekonstrueer is. Ook behoort die T- en S-waardes met diepte te verminder. Alhoewel die model hiervoor voorsiening kan maak, is dit huidiglik nie geïmplementeer nie, vanweë 'n gebrek aan inligting. In enige langtermyn grondwateronttrekkingskema is die bepalende faktore die mate van aanvulling en die grense tot die sisteem. Beide hierdie parameters is nog nie na wense in die Sishen-gebied bepaal nie. Tans lyk dit asok 8 persent van die reënval die grondwater bereik. Verder lyk dit ook asof die meeste van die dolerietgange in die Sishen-gebied van 'n lekkende aard is. Indien hierdie twee aannames korrek is, is daar geen rede waarom die Sishen-akwifer nie vir baie jare in die toekoms in die waterbehoefte van die gebied sal kan voorsien nie.

Gedetailleerde veldondersoeke om die effek van aanvulling en die effek van die dolerietgange op die grondwatersisteem te probeer bepaal, moet egter nie nou van stapel gestuur word nie. Soos die ontwateringskeël verder uitsprei en die inligting jaarliks met behulp van die model geherevalueer word, sal 'n beter begrip van die aanvullingskomponent en die effek van die grense wel verkry word.

HOOFSTUK 8

GEVOLGTREKKINGS

Die Sishen-akwifereer is een van die eerste grondwatersisteme wat suksesvol met behulp van eindige element modelleringstegnieke in Suid-Afrika ondersoek is.

Die ondersoek dien as 'n sprekende voorbeeld van 'n gebied waar relatief min geohidrologiese inligting bestaan. Geen suksesvolle pomptoetse is in die verlede in hierdie gebied uitgevoer nie en syfers wat betrekking op aanvulling of verliese uit die sisteem het, is nie beskikbaar nie.

Inligting waarvan die hidrouliese parameterwaardes deur indirekte werksyfes afgelei kon word, het egter volop bestaan. Hieronder kan geologiese inligting, watervlakke en pompsyfers genoem word. Deur ontleding van hierdie inligting kon 'n eindige element-model waardeur grondwaterbeweging suksesvol gesimuleer kon word, daargestel word.

Die model is op grond van geohidrologiese inligting vir Junie 1979 gegeneere. Daarna is dit oor die tydperk Junie 1979 tot Junie 1980 gekalibreer. Hierdeur is 'n idee van die transmissiteits- en bergingswaardes verkry. Die goeie resultate wat gedurende hierdie kalibrasieproses verkry is, impliseer dat die basiese aannames waarop die model gebaseer is, korrek is. Daarna is die model gebruik om watervlakreaksies vir die periode Junie 1980 tot begin Mei 1982 te simuleer. 'n Goeie ooreenstemming is weer eens tussen die gesimuleerde waardes en die waargenome waardes verkry.

As 'n verdere toets is die model gebruik om grondwaterreaksies aan die hand van watervlakke in 1972, vir die periode 1972 tot 1979, te simuleer. Geringe afwykings tussen die voorspelde en die waargenome watervlakke is in hierdie simulاسie gevind. Daarna is agt persent aanvulling vanuit reënval in die model geïnkorporeer. Die ooreenstemming tussen die gesimuleerde en werklike watervlakke het hierdeur heelwat verbeter. Daarna is die model as voldoende gekalibreer beskou ten einde die effek van ander eksterne invloede soos verskillende mynboukonfigurasies, op die grondwatersisteem uit te toets.

Twee mynboukonfigurasies is hiervoor geselekteer en watervlakreaksies met die gepaardgaande uitpomptempo's vir respektiewelike tydperke van vyf en tien jaar vooruit, is voorspel. Aan die hand van hierdie voorspellings kan die gevolgtrekking gemaak word dat voldoende grondwater in die Sishen-gebied voorkom om ten minste vir hierdie tydperke in die lokale behoeftes te voorsien. Ook, sal die hoeveelheid grondwater wat vanuit die sisteem onttrek kan word, nou met die mynboudiepte saamhang. Hoe dieper daar gemyn word, hoe meer water sal onttrek moet word ten einde die oop groef droog te lê. 'n Verdere belangrike afleiding wat vanuit hierdie voorspellings gemaak kan word, is dat die pompkapasiteit in die Noordmyn, volgens beide mynboukonfigurasies, onvoldoende sal wees. Bykomende pompe sal op strategiese posisies geïnstalleer moet word, ten einde verlangde watervlakdalings in hierdie gebied te kan bewerkstellig.

Die gevolgtrekking kan verder gemaak word dat die model tans as voldoende gekalibreer beskou word om die mynowerhede in toekomstige besluitnemingsprosesse van hulp te wees. Deur spesifieke mynboukonfigurasies in die model te inkorporeer, kan die doeltreffendste ontwateringstelsels ontwerp word. Hiervoor sal noue skakeling tussen die mynowerhede en die modeleringsafdeling nodig wees.

HOOFSTUK 9

AANBEVELINGS

Die modellering van die grondwaterbeweging in die Sishen-myn kan as 'n eerste poging beskou word. Deur middel van 'n model kon aangetoon word dat bykomende werk soos die uitvoering van pomptoeuse huidige nie nodig is nie. Veel eerder moet die sisteem waargeneem word, waartydens watervlakke en uitpomptempo's genoteer word. Hierdie inligting moet gebruik word om die huidige grondwatermodel jaarliks aan te pas.

Indien akkurater voorspellings by sekere punte nodig mag wees, sal 'n meer gedetailleerde netwerk die eerste vereiste wees. Hidrouliese parameterwaardes aan die hand van waardes soos dit in die huidige model toegeken is, kan vir eers gebruik word. Daarna kan die model, deur geringe verstellings aan hierdie waardes aan te bring, verder gekalibreer word.

Van groot belang is die feit dat grondwatermodelle van dinamiese sisteme soos wat by Sishen voorkom, jaarliks opgedateer moet word. Indien dit nie geskied nie, sal die nut van so 'n model vinnig afneem en verkeerde voorspellings sal sonder twyfel daaruit volg.

'n Verdere aspek wat ewe belangrik is, is dat die geohidroloog wat in beheer van die modelleringspoging staan, goed met die geologie, fisiese voorkoms van die grondwater en die beperkings van die model onderleg moet word. Indien die model wat gedurende hierdie modelleringspoging opgestel is, deur die oningeligte gebruik sou word, sal verkeerde voorspellings ongetwyfeld daaruit verkry word.

Hopelik sal hierdie suksesvolle modelleringspoging die weg baan tot verdere soortgelyke ondersoeke in Suid-Afrika. Slegs daardeur sal die belangrikheid en die nut van grondwatermodellering in die algemeen gedemonstreer en besef word.

VERWYSINGS

- BAKKES, G.N. en BOTHA, J.F., 1981. An improved numeric solution for the diffusion equation. *Bull. Inst. Ground-water Studies, Bloemfontein*, 11, p. 1-25.
- BEUKES, N.J., 1978. Die karbonaatgesteentes en ysterformasies van die Ghaap-Groep van die Transvaal-Supergroep in Noord-Kaapland. *Ongepubl. Ph.D.-verhandeling, Univ. R.A.U., Johannesburg*.
- BEZUIDENHOUT, P., 1978. Grondwaterstudie d.m.v. rekenaar - Sishen tot en met 22 Februarie 1978. *Interne verslag, YSKOR*.
- BOARDMAN, L.G. en HAUGHTON, S.H., 1936. Geological map of the iron and manganese occurrences. Sheet 173 - Oliphants Hoek. *Geol. Surv. S. Afr.*
- BOTHA, J.F., WEIDEMAN, J.A.C. en BAKKES, G.N., 1981. The optimal θ -method in numerical analysis. *Bull. Inst. Ground-water Studies, Bloemfontein*, 11, p. 26-43.
- BREBBIA, C.A., 1980. *The boundary element method for engineers*. Pentech Press, London.
- DELVES, L.M. en HALL, C.A., 1979. *An implicit matching principle for global element calculations*. Academic Press, London.
- DZIEMBOWSKI, Z.M., 1974. Grondwaterondersoek by Sishenmyn met spesiale verwysing na toestand in groef in Heuwel 2, distrik Postmasburg. *Ongepubl. verslag Gh 2803, Geol. Opn. S. Afr., Pretoria*.

- DZIEMBOWSKI, Z.M., 1975. Her-evaluasie van grondwatertoestande by Sishenmyn op einde Maart 1975. *Ongepubl. verslag Gh 2830, Geol. Opn. S. Afr., Pretoria.*
- DZIEMBOWSKI, Z.M., 1976. Grondwatertoestande by Sishenmyn soos op 30 Junie 1976. *Ongepubl. verslag Gh 2912, Geol. Opn. S. Afr., Pretoria.*
- DZIEMBOWSKI, Z.M., 1977. Grondwatertoestande by Sishenmyn op 15 Junie 1977. *Ongepubl. verslag Gh 2958, Afdeling Geohidrologie, Dept. Waterwese, Pretoria.*
- DZIEMBOWSKI, Z.M., 1978. Water from Sishen Mine as a temporary source of supply. *Unpubl. report Gh 2998, Division Geohydrology, Dept. of Water Affairs, Pretoria.*
- DZIEMBOWSKI, Z.M., 1979. Grondwaterkontoerkaart van die Sishen-kompartement, Junie 1979. *Ongepubl. 1:25 000 kaart, Afdeling Geohidrologie, Dept. Waterwese, Pretoria.*
- DZIEMBOWSKI, Z.M., 1980. Grondwaterkontoerkaart van die Sishen-kompartement, Junie 1980. *Ongepubl. 1:25 000 kaart, Afdeling Geohidrologie, Dept. Waterwese, Pretoria.*
- FREEZE, R.A., 1975. A stochastic-conceptual analysis of one-dimensional groundwater flow in nonuniform homogeneous media. *Water Resources Research*, 11 (5), p. 725-741.
- GILDING, B.H., 1979. A preliminary mathematical model of a confined watertable aquifer known as the Sishen Compartment. *Unpubl. report Gh 3129, Division of Geohydrology, Dept. of Water Affairs, Pretoria.*

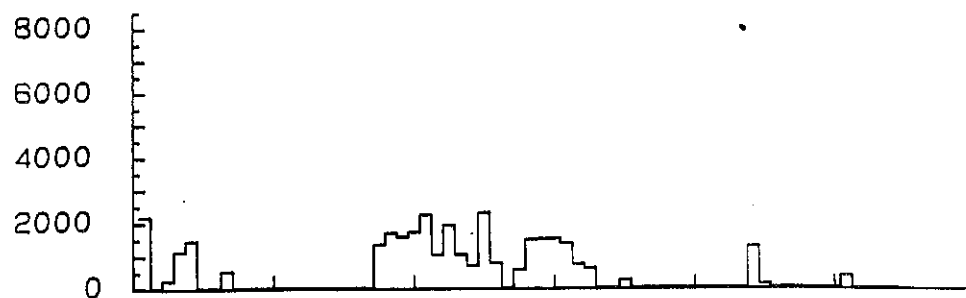
- HODGSON, F.D.I., 1978. The use of multiple linear regression in simulating groundwater level responses. *Groundwater* 17.
- KONIKOW, L.F. en GROVE, D.B., 1977. Derivation of equations describing solute transport in groundwater. *U.S. Geol. Survey, Water Resource Investigations*, 77-19, 30 p.
- LAURIE, D.P., 1975. Optimal parameter choice in the θ -method for parabolic equations. *Special report WISK 192, N.I.M.S., C.S.I.R., Pretoria*.
- LAURIE, D.P., 1977. The numerical treatment of the time variable in parabolic equations. *Special report WISK 750, N.I.M.S., C.S.I.R., Pretoria*.
- MOEN, H.F.G., 1977. Geologiese reeks 2722 Kuruman, saamgestel deur Moen, H.F.G. 1:250 000 kaart, *Geol. Opname, Pretoria*.
- NEL, D.G. en VAN DER MERWE, C.A., 1980. A time-series model for water-level prediction. *Unpubl. tech. rep., Dept. Math. Stat., U.O.F.S., Bloemfontein*, 62.
- N.P.R.U., 1979. Ground-water studies in the Gamogara Catchment. *Unpubl. report to the W.R.C.*, 189.
- PINDER, G.F., 1974. Galerkin-finite element models for aquifer simulations. *Rep. Water Resources Program, Princeton University*, 29 p.
- PINDER, G.F. en BREDEHOEFT, J.D., 1968. Application of the digital computer for aquifer evaluation. *Water Resources Research*, 4 (5), p. 1069-1093.
- PINDER, G.F. en GRAY, W.G., 1977. *Finite element simulation in surface and subsurface hydrology*. Academic Press, London, 1st ed., 295 p.

- PITMAN, W.V., MIDDLETON, B.J. en MIDGLEY, D.G., 1981. *Surface water resources of South Africa, Volume III. Drainage regions DF, The Orange River Basin and Namaqualand.* Report, Hydrological Research Unit, 11/81.
- PRICKETT, T.A. en LONNQUIST, C.G., 1971. Selected digital computer techniques for groundwater resource evaluation. *Illinois State Water Survey, Urbana, Bulletin 55.*
- ROGERS, A.W. en DU TOIT, A.L., 1909. *An introduction to the geology of the Cape Colony.* Longmans, Green and Co., London, 491 p.
- SMIT, P.J., 1972. 1:100 000 Groundwater contour plan of the Sishen Area, GHP 4684. *Unpubl. map, Geol. Surv. S. Afr., Kuruman.*
- STRINGFIELD, V.T. en LE GRAND, H.E., 1969. Hydrology of carbonate rock terranes, a review with special reference to the United States. *J. Hydr., 8 (3), p. 349-374.*
- TRUTER, F.C., WASSERSTEIN, B., BOTHA, P.R., VISSER, D.J.L., BOARDMAN, L.G. en PAVER, G.L., 1938. *The geology and mineral deposits of the Oliphants Hoek Area, Cape Province.* Exp. Sheet 173 (Oliphants Hoek). Publ. Geol. Surv., Union of South Africa.
- VAN DER MERWE, J., 1973. Die geologie van 'n gebied om Campbell, Noord-Kaapland, met spesiale verwysing na die Serieë Swarttrif en Dolomiet. *Ongepubl. M.Sc.-verhandeling, U.O.V.S., Bloemfontein, 157 p.*
- VAN DER MERWE, J., VAN ROOYEN, L. en HODGSON, F.D.I., 1981. Die grondwaterpotensiaal van die karbonaatryke gesteentes in Noord-Kaapland. *Bull. Inst. Grondwaterstudies, Bloemfontein, 4, p. 173.*
- WILLEMINK, J., 1982. A developed correlation model for predicting the future drawdown - abstract only. *Groundwater Symposium, Johannesburg.*

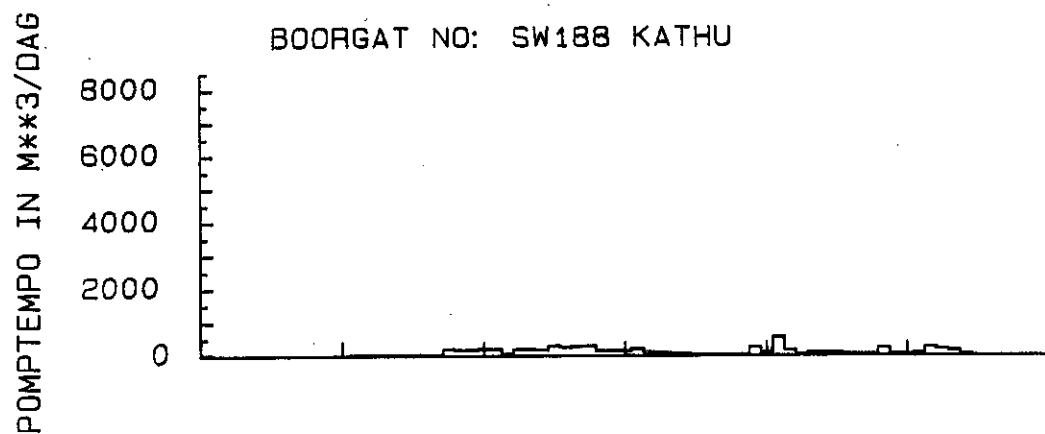
BYLAE I

POMPTEMPO'S VAN INDIVIDUELE BOORGATE

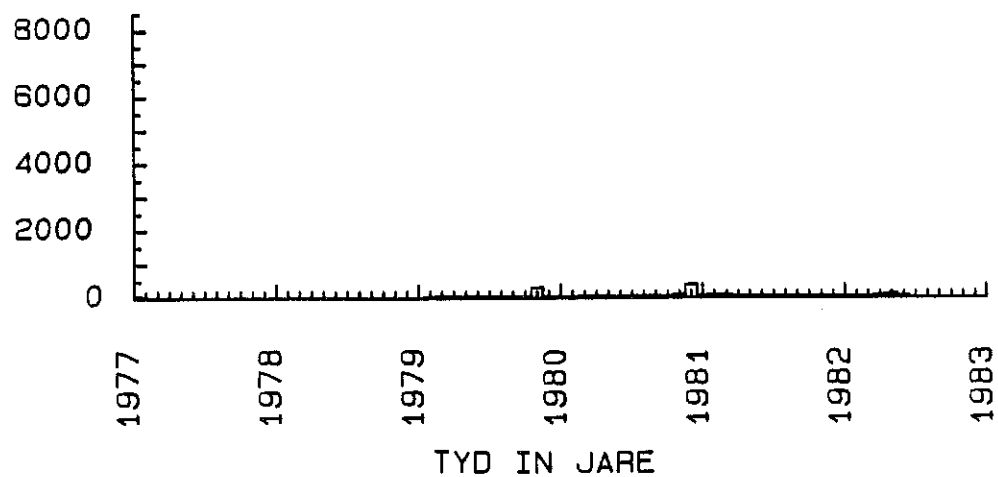
BOORGAT NO: SW280 KATHU



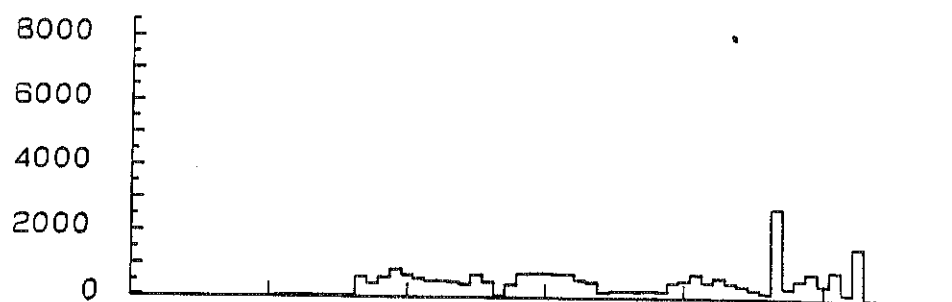
BOORGAT NO: SW188 KATHU



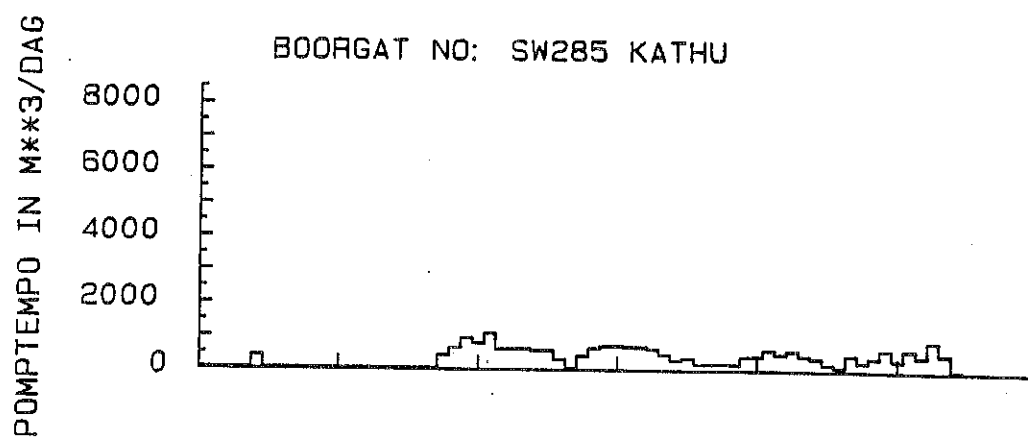
BOORGAT NO: 10-17 KHAI APPEL



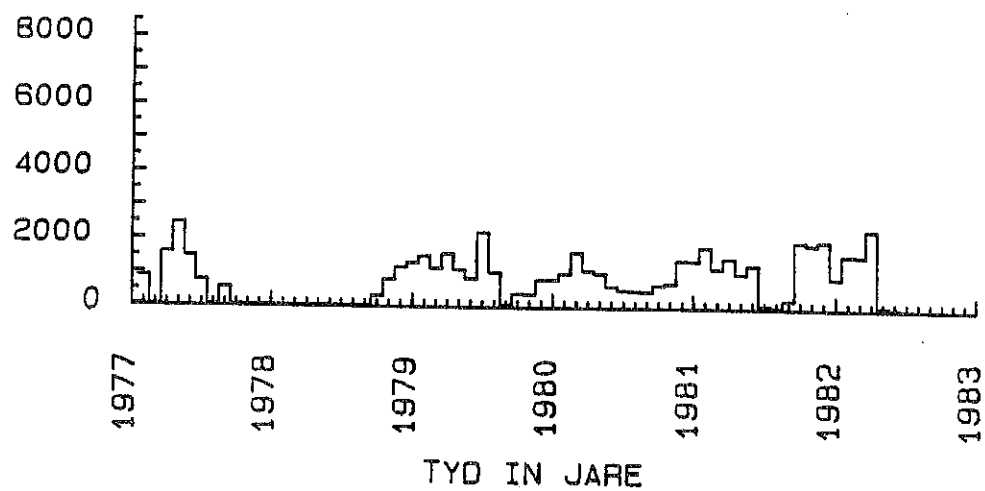
BOORGAT NO: SW286 KATHU



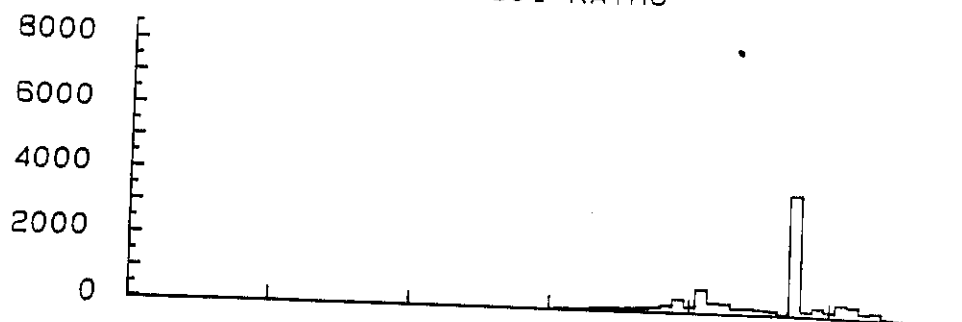
BOORGAT NO: SW285 KATHU



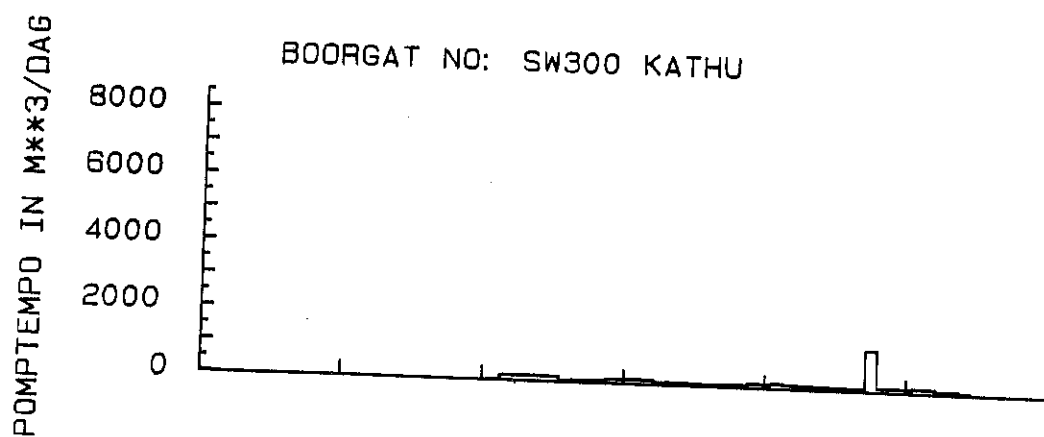
BOORGAT NO: SW281 KATHU



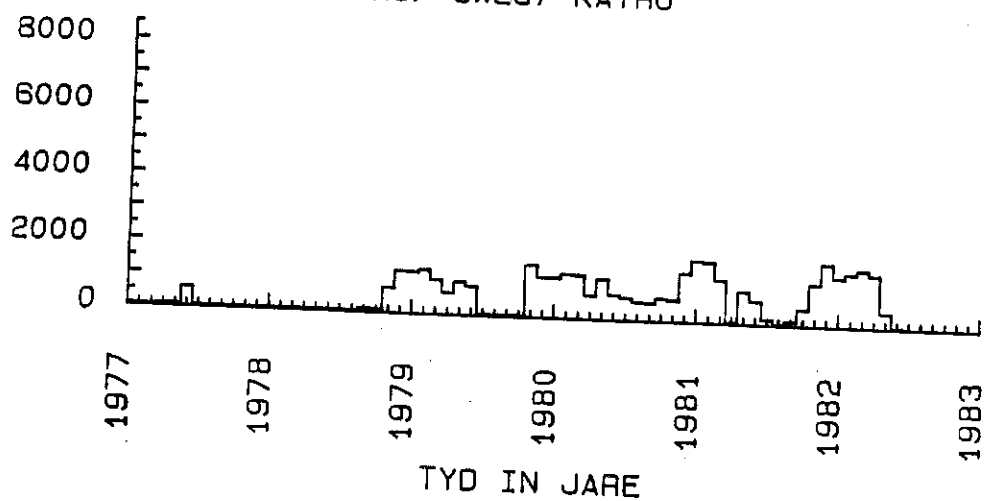
BOORGAT NO: SW301 KATHU

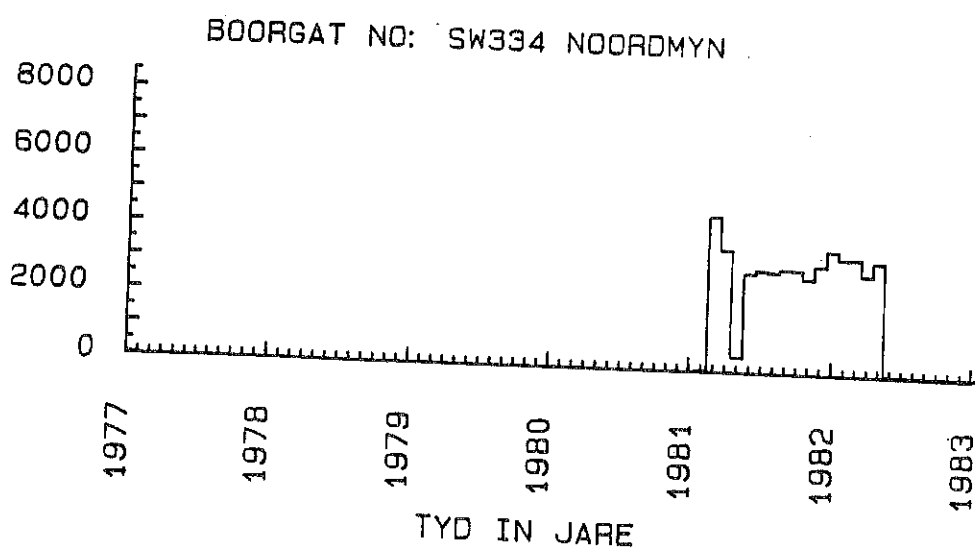
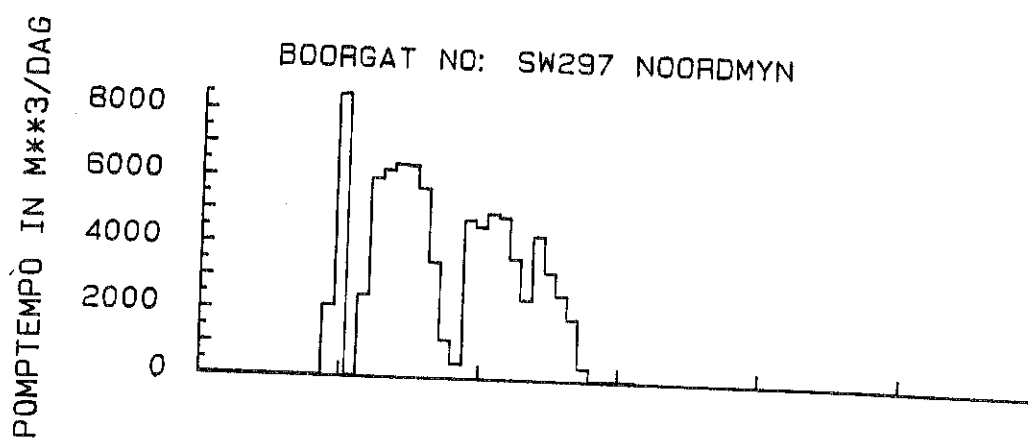
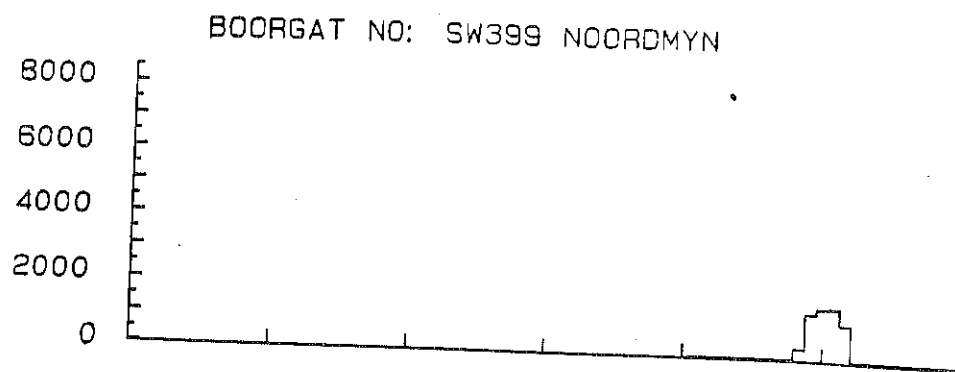


BOORGAT NO: SW300 KATHU

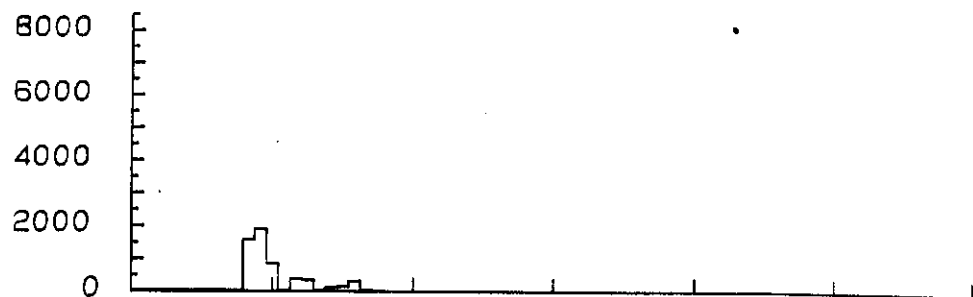


BOORGAT NO: SW287 KATHU



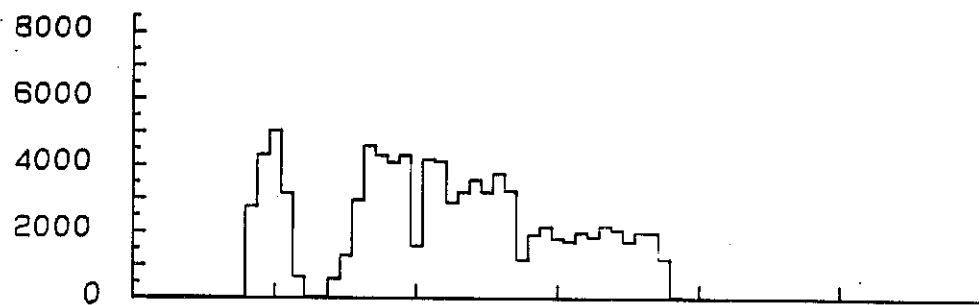


BOORGAT NO: SW293 NOORDMYN

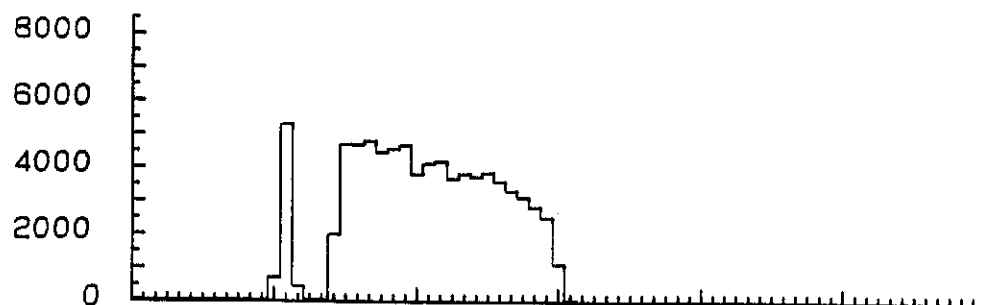


POMPTEMPO IN M**3/DAG

BOORGAT NO: SW294 NOORDMYN

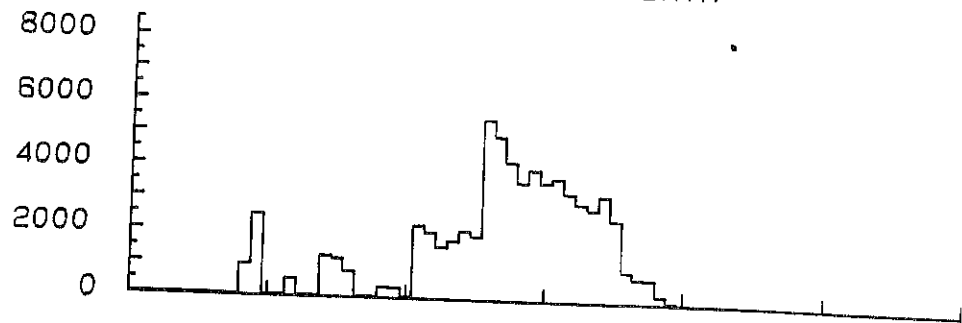


BOORGAT NO: SW295 NOORDMYN

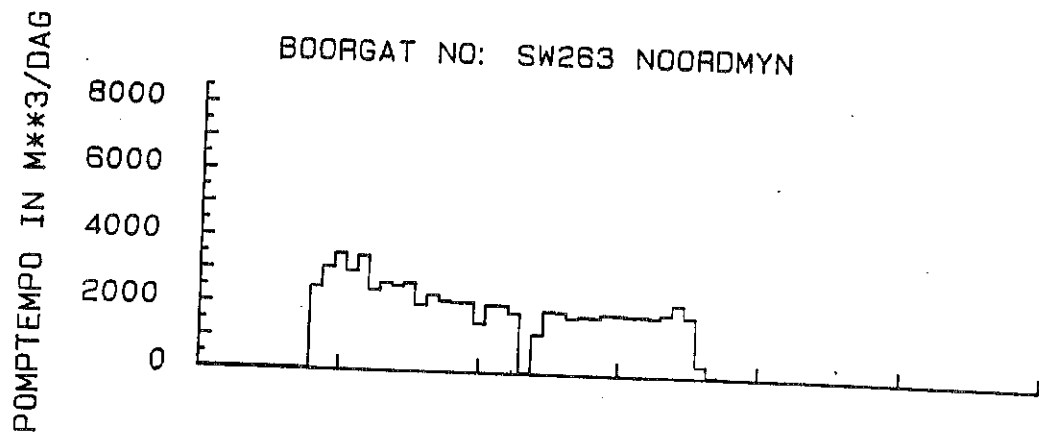


1977 1978 1979 1980 1981 1982 1983
TYD IN JARE

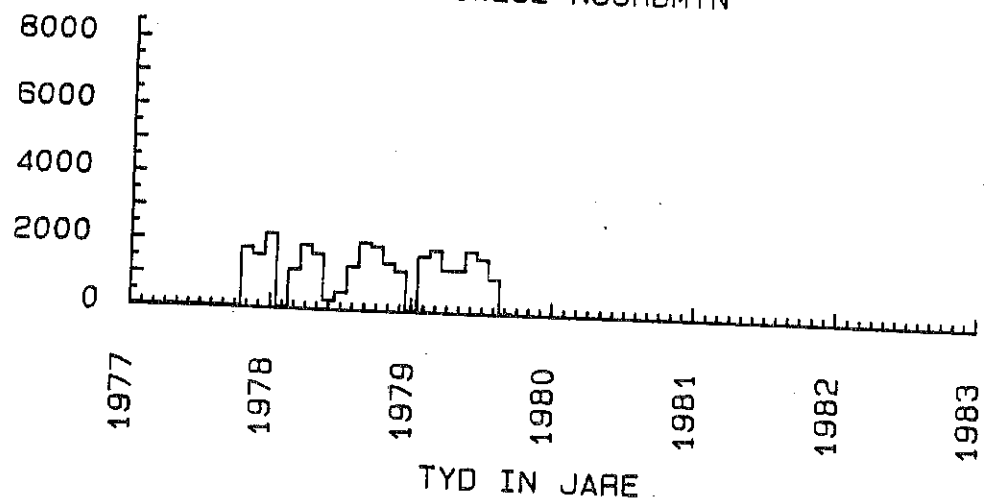
BOORGAT NO: SW240 NOORDMYN



BOORGAT NO: SW263 NOORDMYN



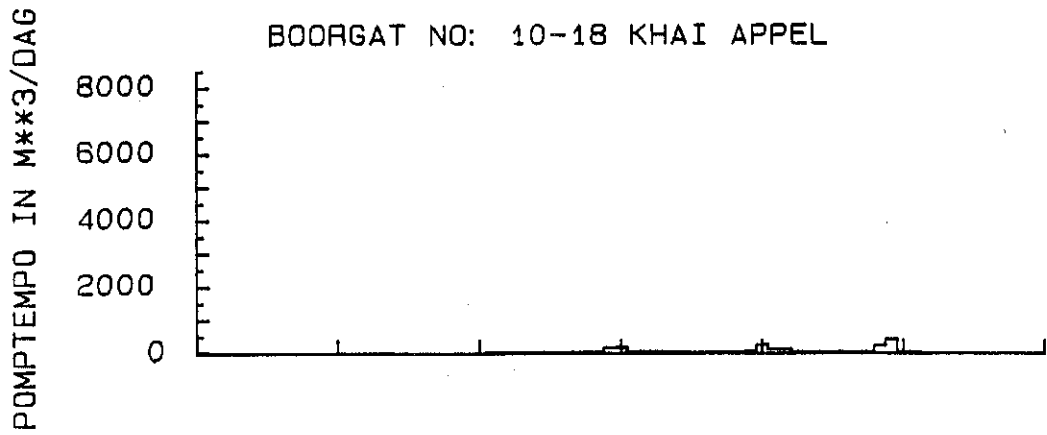
BOORGAT NO: SW292 NOORDMYN



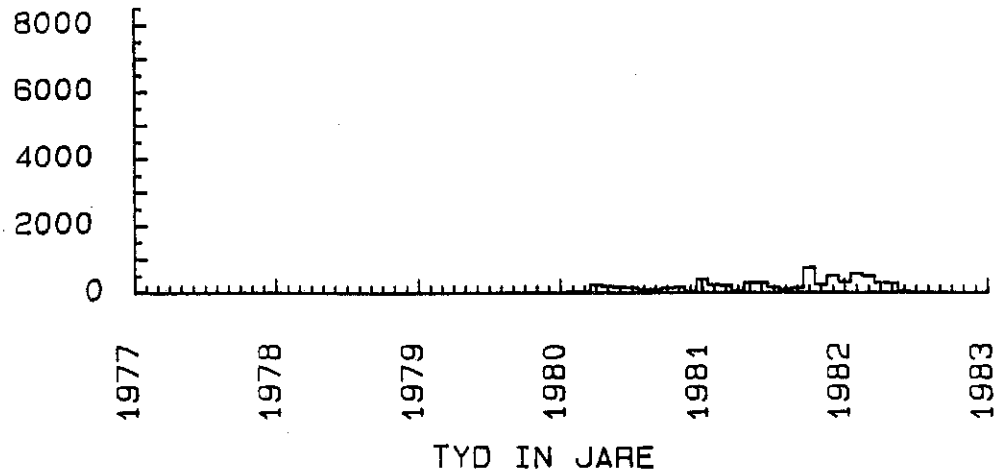
BOORGAT NO: 10.93 KHAI APPEL



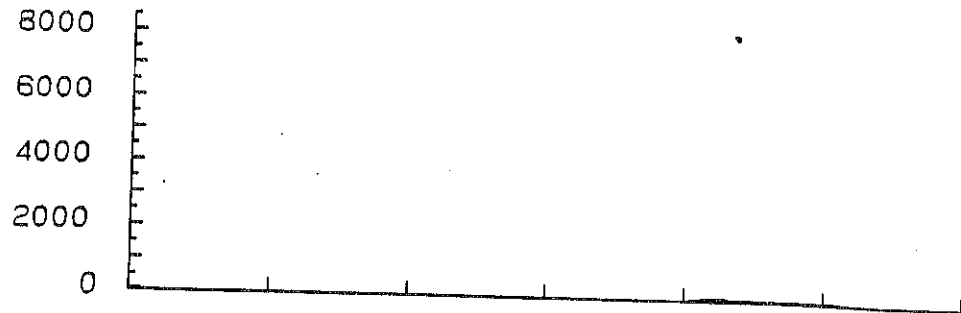
BOORGAT NO: 10-18 KHAI APPEL



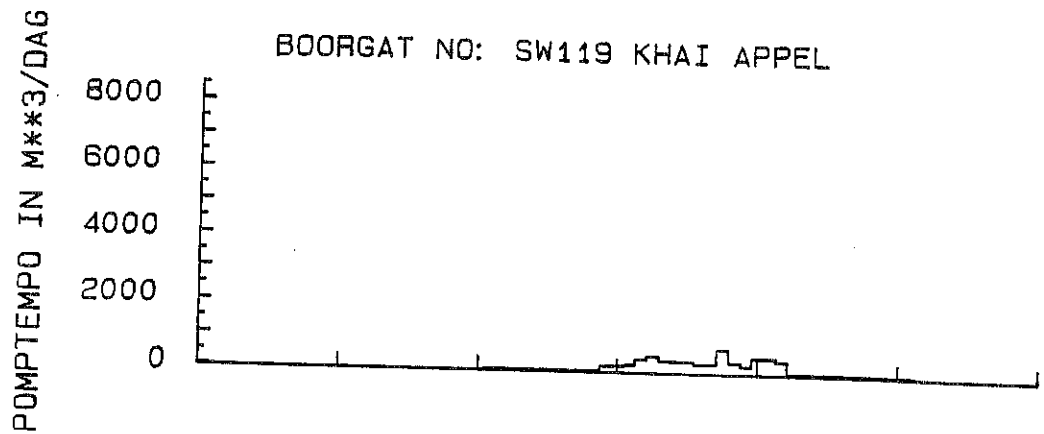
BOORGAT NO: SW359 KATHU



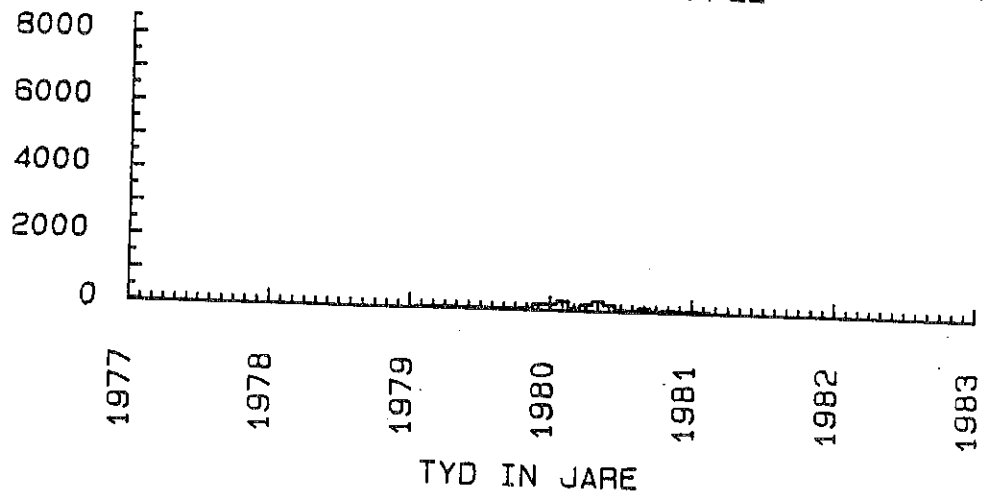
BOORGAT NO: SW120 KHAI APPEL



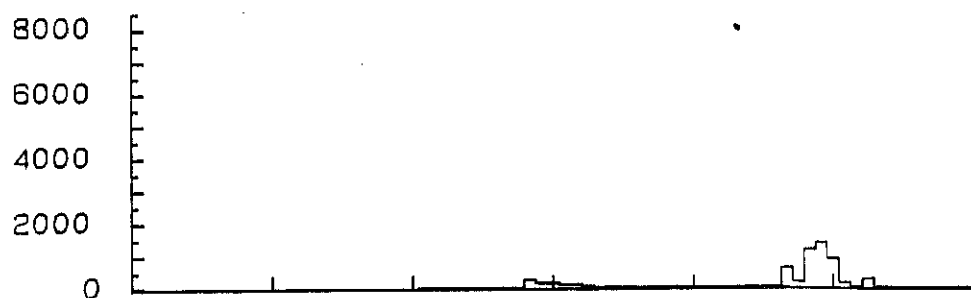
BOORGAT NO: SW119 KHAI APPEL



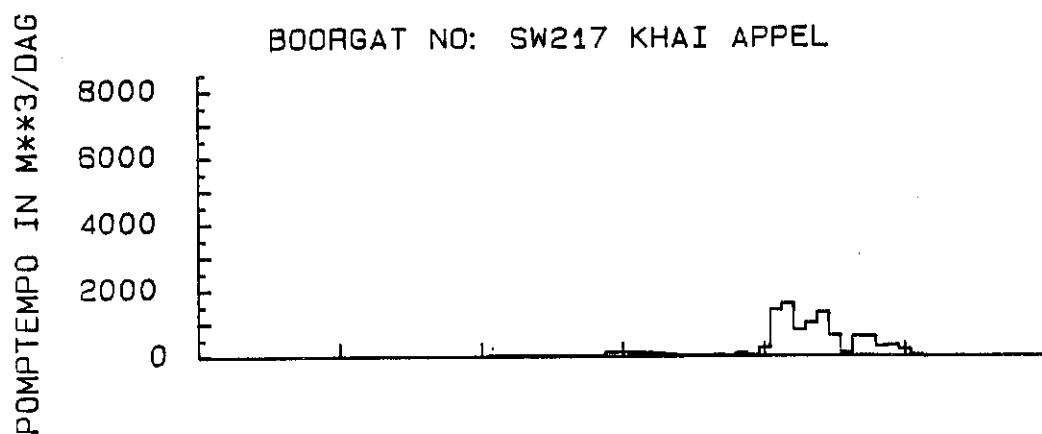
BOORGAT NO: SW118 KHAI APPEL



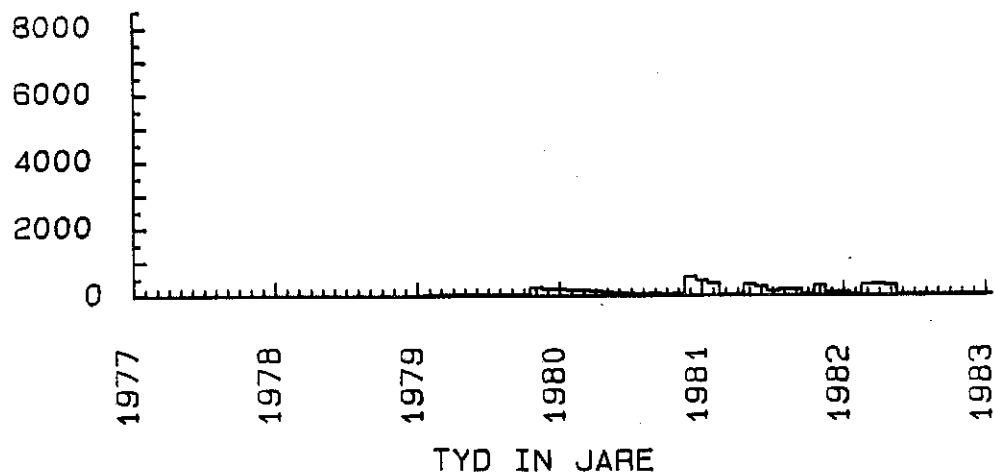
BOORGAT NO: SW218 KHAI APPEL



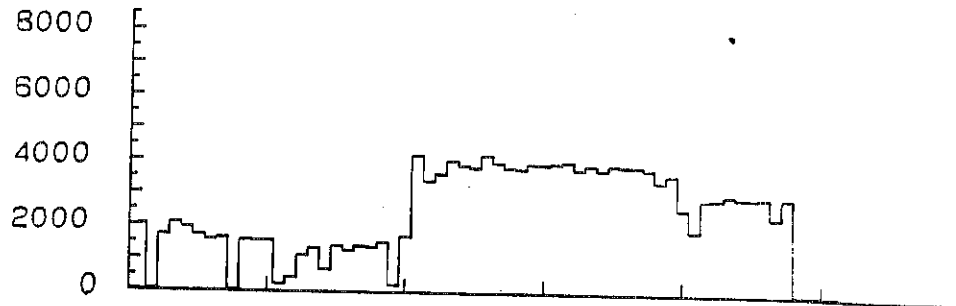
BOORGAT NO: SW217 KHAI APPEL



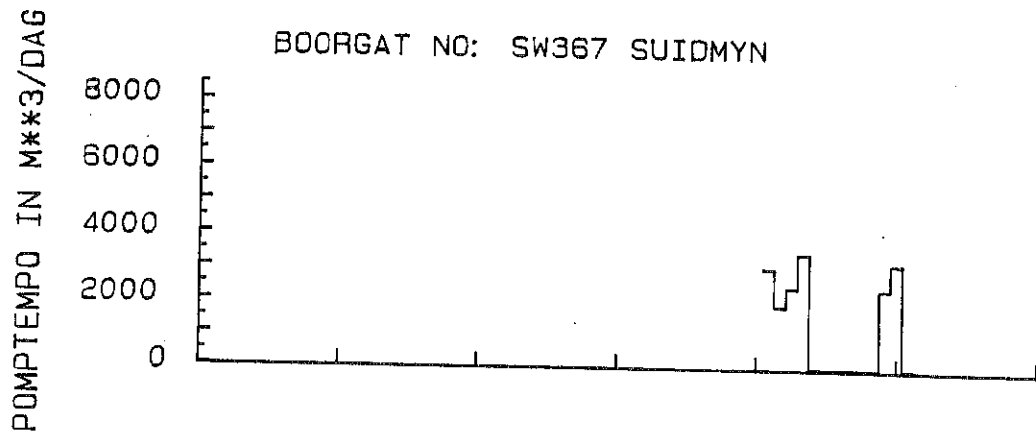
BOORGAT NO: SW121 KHAI APPEL



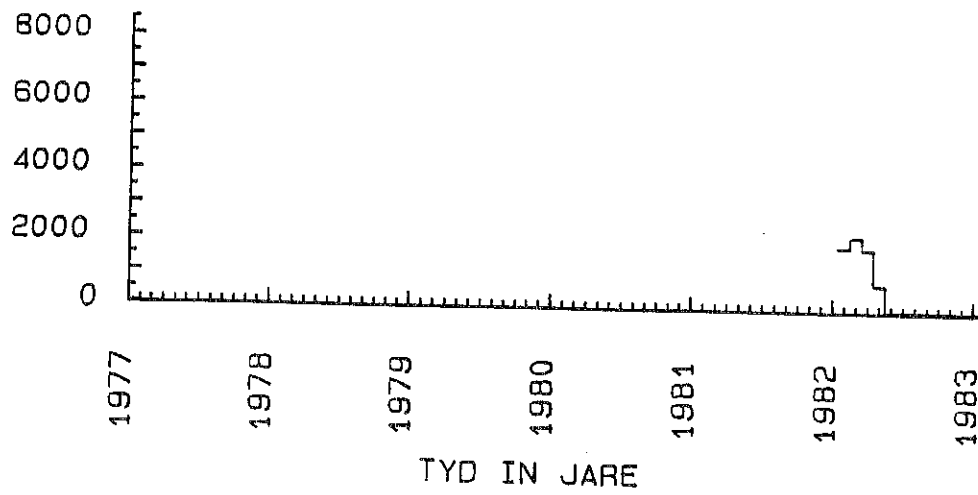
BOORGAT NO: SW258 SUIDMYN



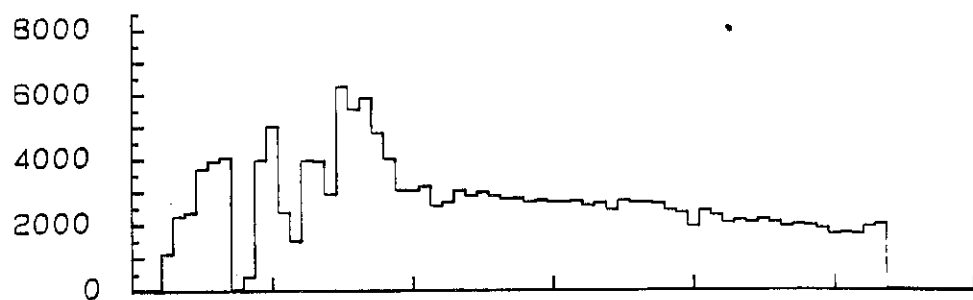
BOORGAT NO: SW367 SUIDMYN



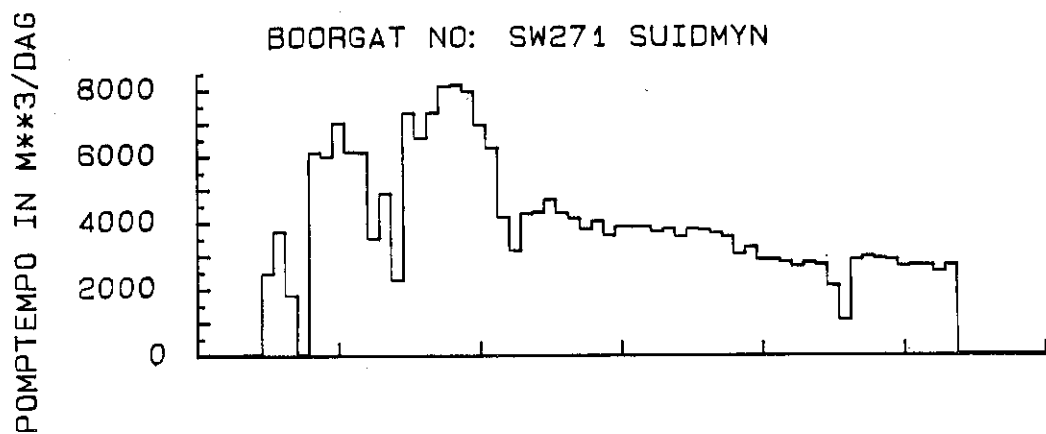
BOORGAT NO: SW400 KHAI APPEL



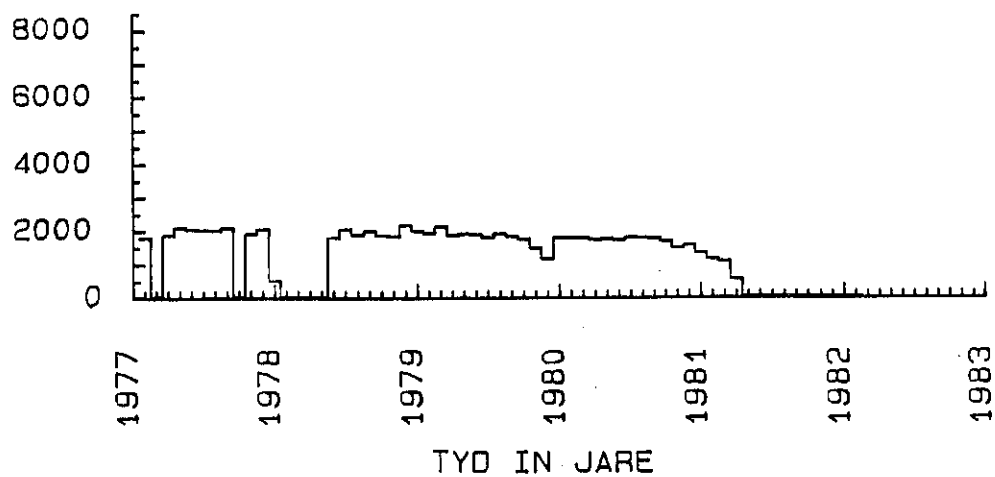
BOORGAT NO: SW272 SUIDMYN



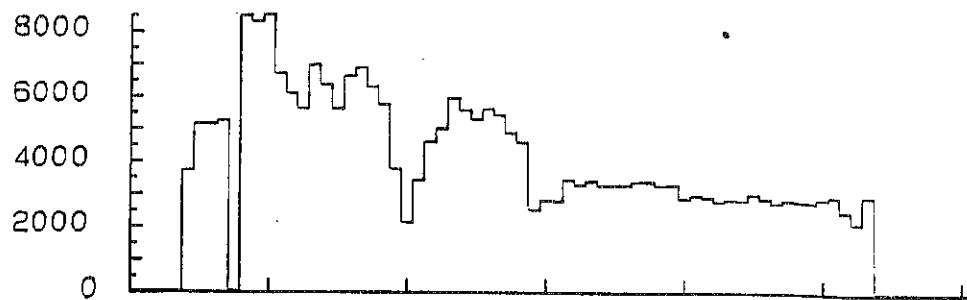
BOORGAT NO: SW271 SUIDMYN



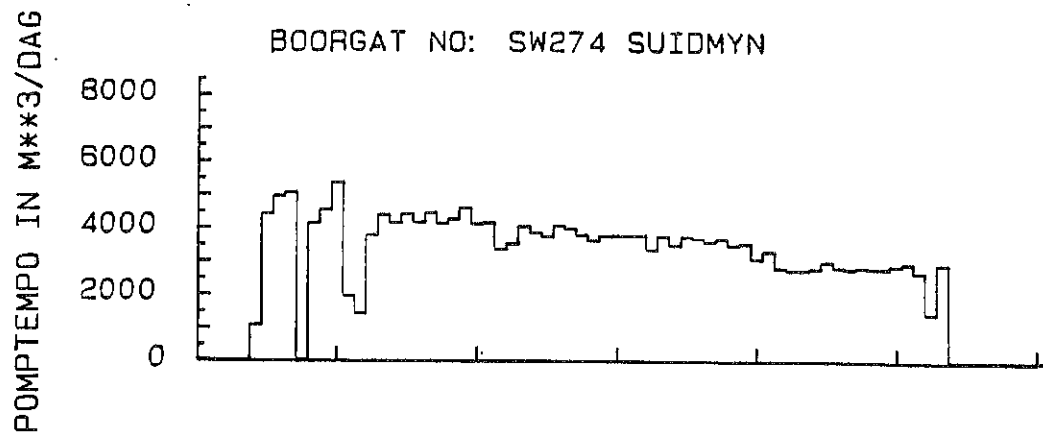
BOORGAT NO: SW259 SUIDMYN



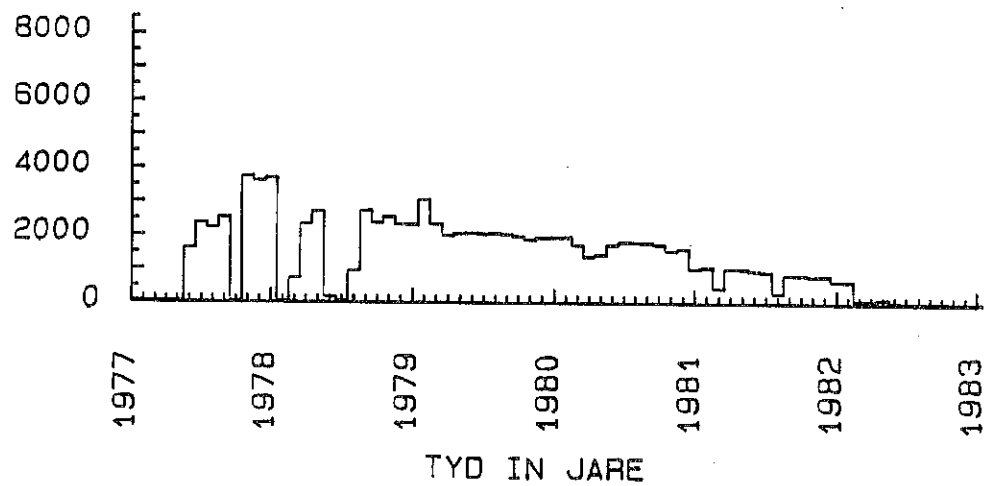
BOORGAT NO: SW275 SUIDMYN



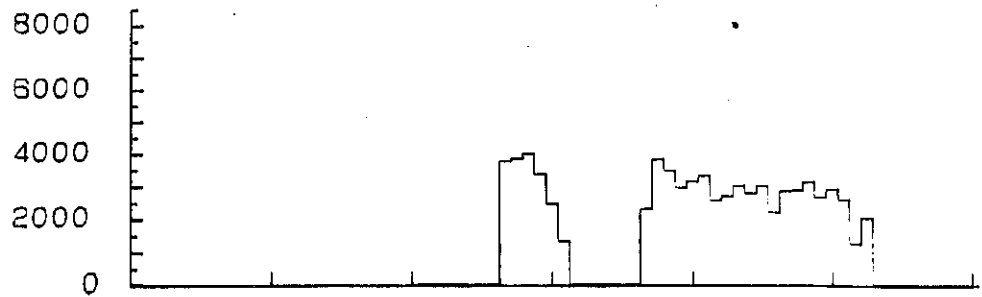
BOORGAT NO: SW274 SUIDMYN



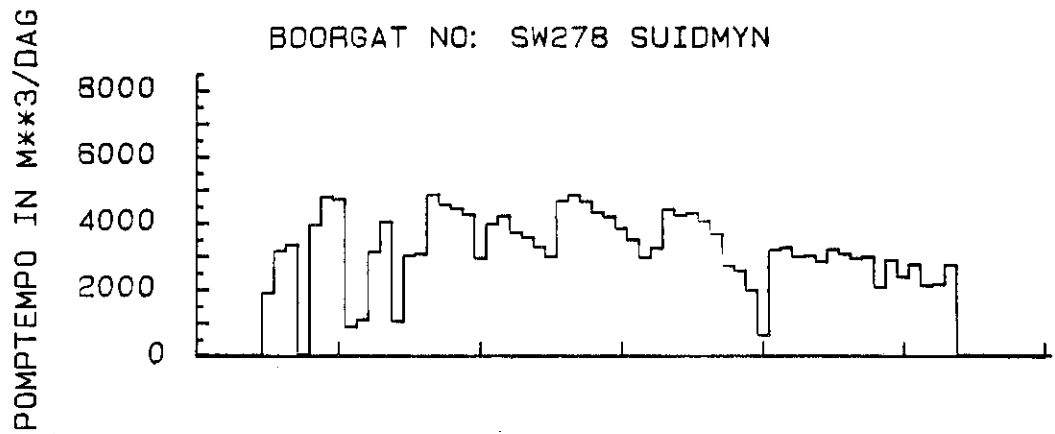
BOORGAT NO: SW273 SUIDMYN



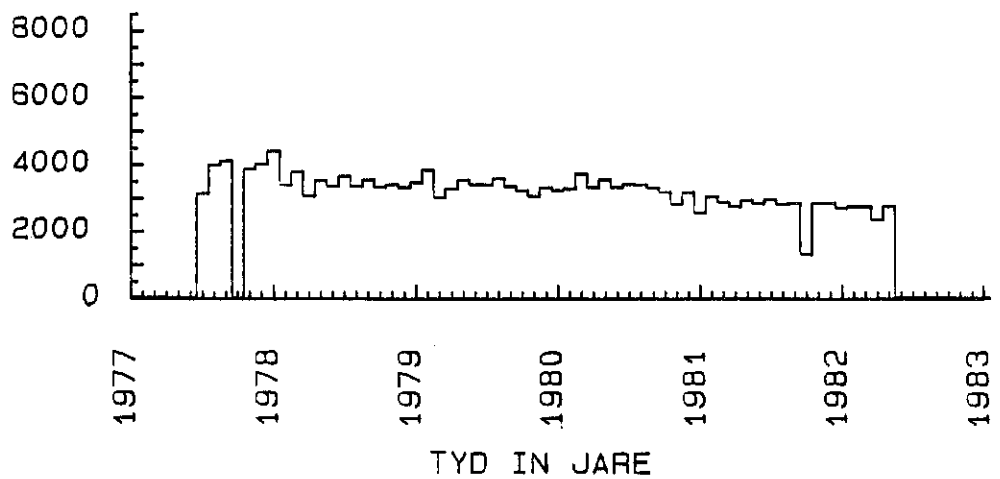
BOORGAT NO: SW299 SUIDMYN



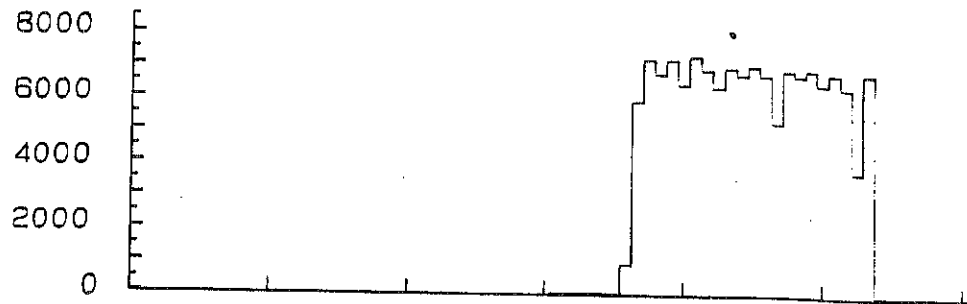
BOORGAT NO: SW278 SUIDMYN



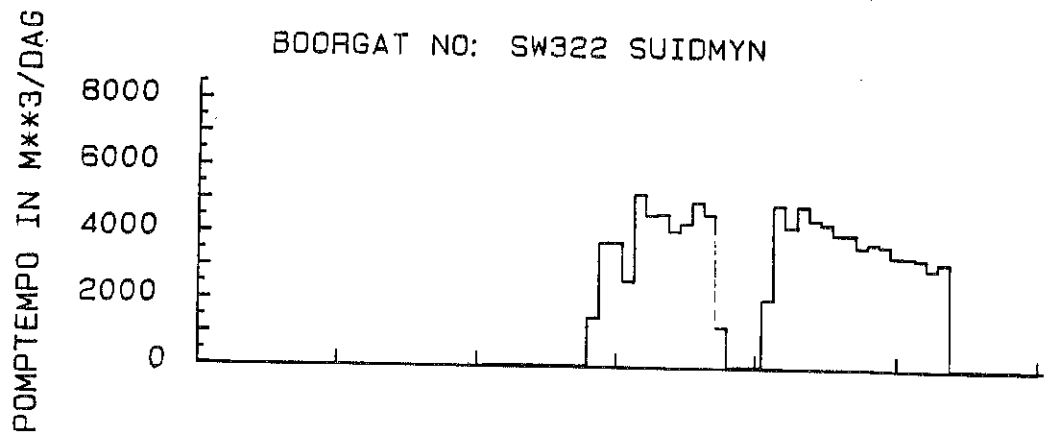
BOORGAT NO: SW276 SUIDMYN



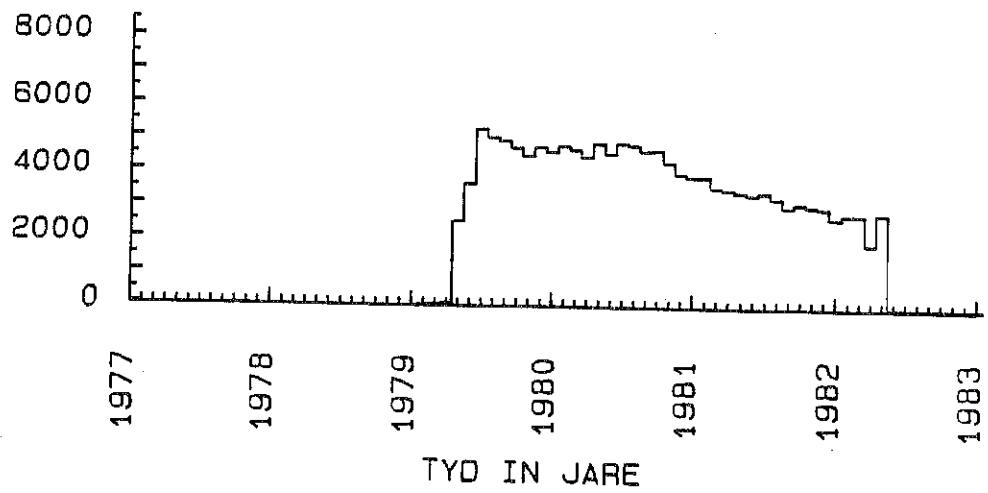
BOORGAT NO: SW323 SUIDMYN



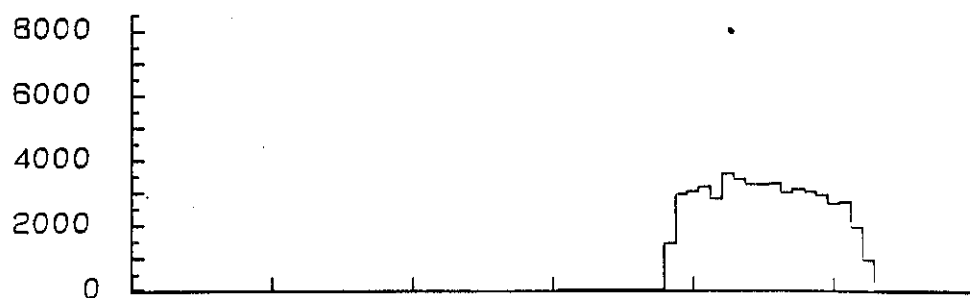
BOORGAT NO: SW322 SUIDMYN



BOORGAT NO: SW315 SUIDMYN

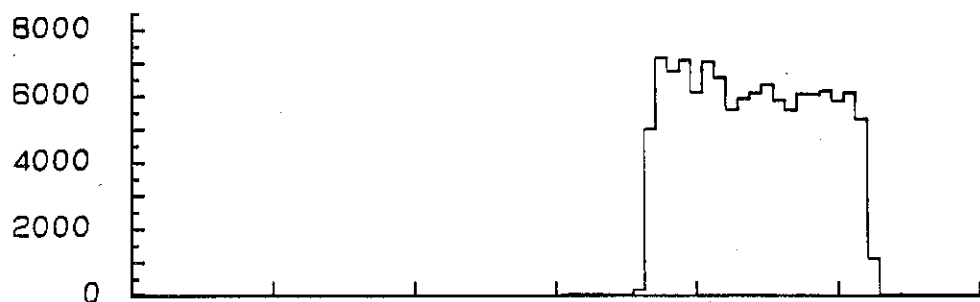


BOORGAT NO: SW366 SUIDMYN

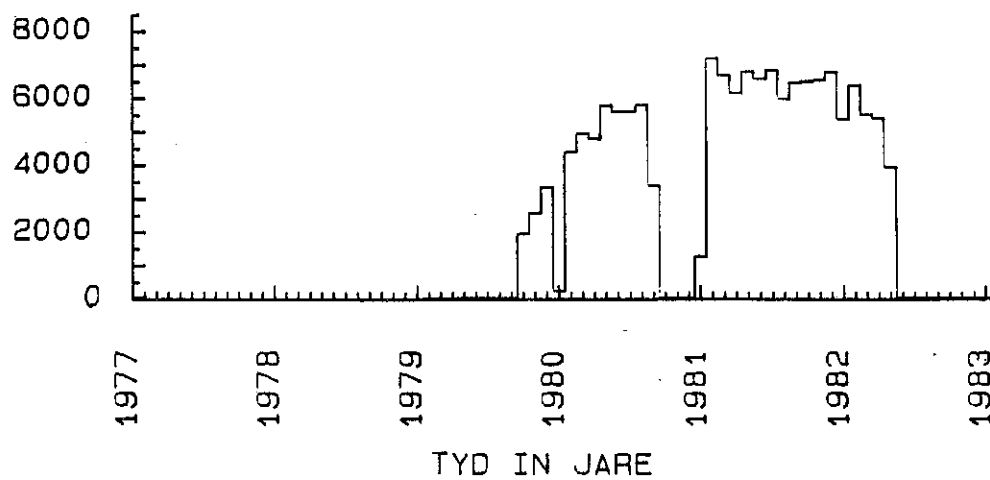


BOORGAT NO: SW364 SUIDMYN

POMPTEMPO IN M**3/DAG



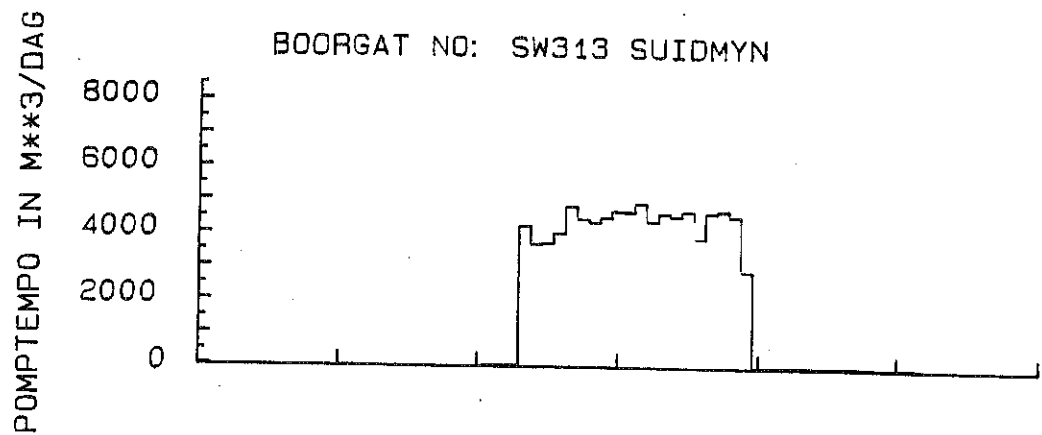
BOORGAT NO: SW324 SUIDMYN



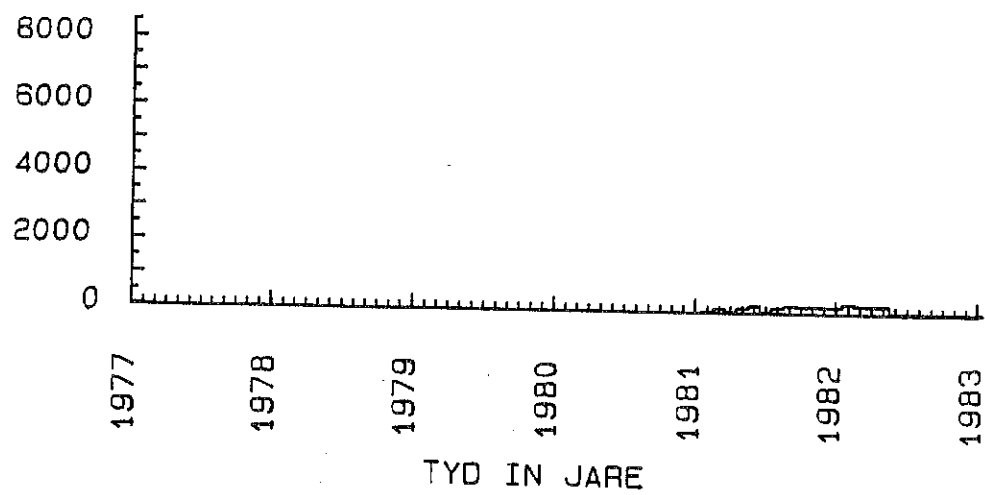
BOORGAT NO: SW303 SUIDMYN



BOORGAT NO: SW313 SUIDMYN

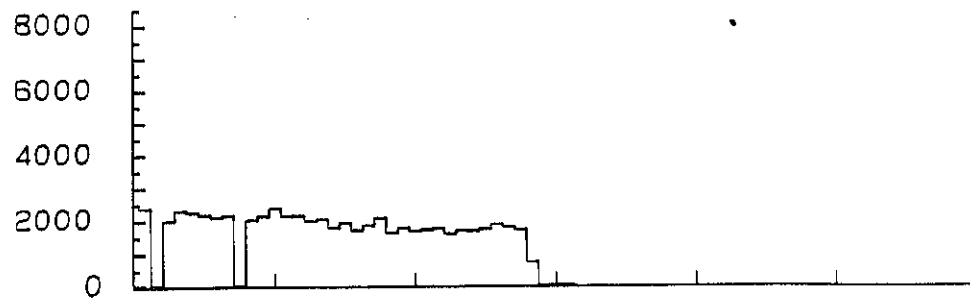


BOORGAT NO: SW374 SUIDMYN

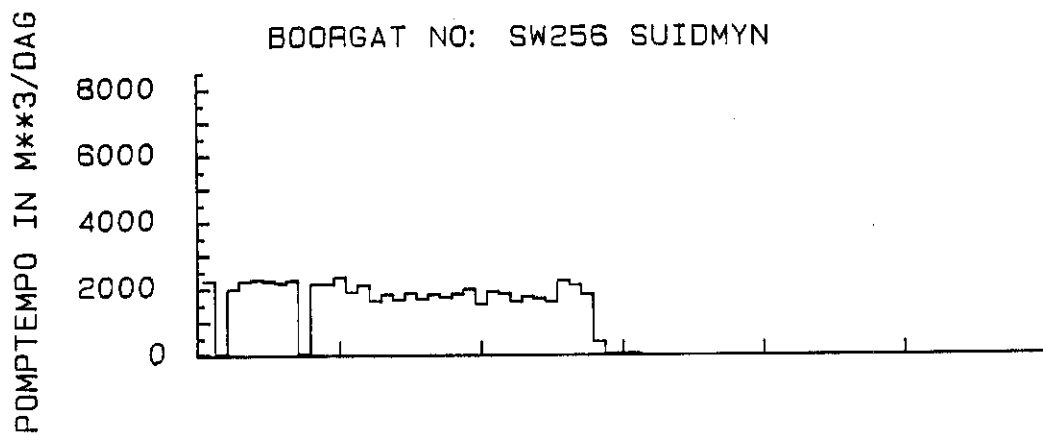


TYD IN JARE

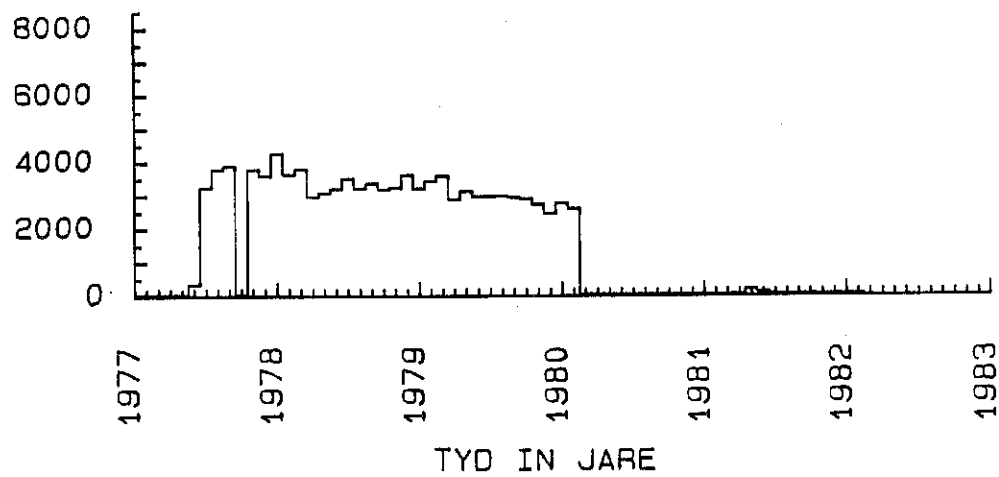
BOORGAT NO: SW255 SUIDMYN



BOORGAT NO: SW256 SUIDMYN



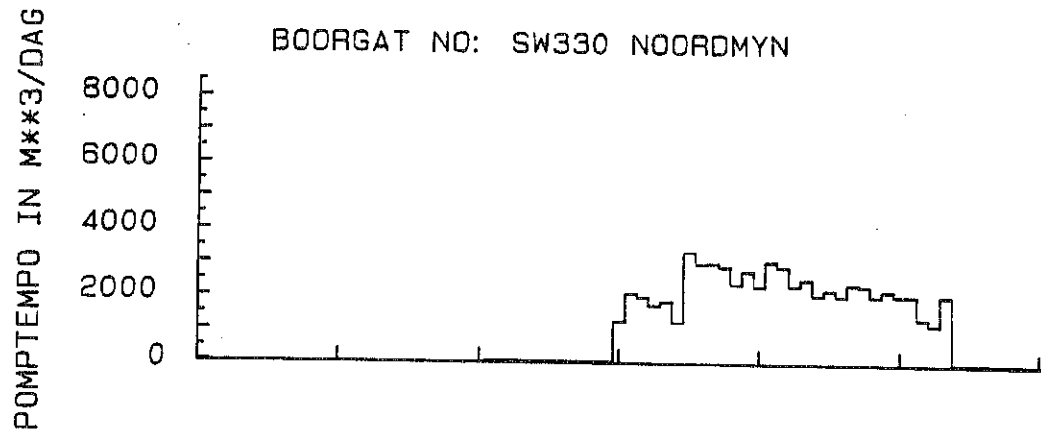
BOORGAT NO: SW277 SUIDMYN



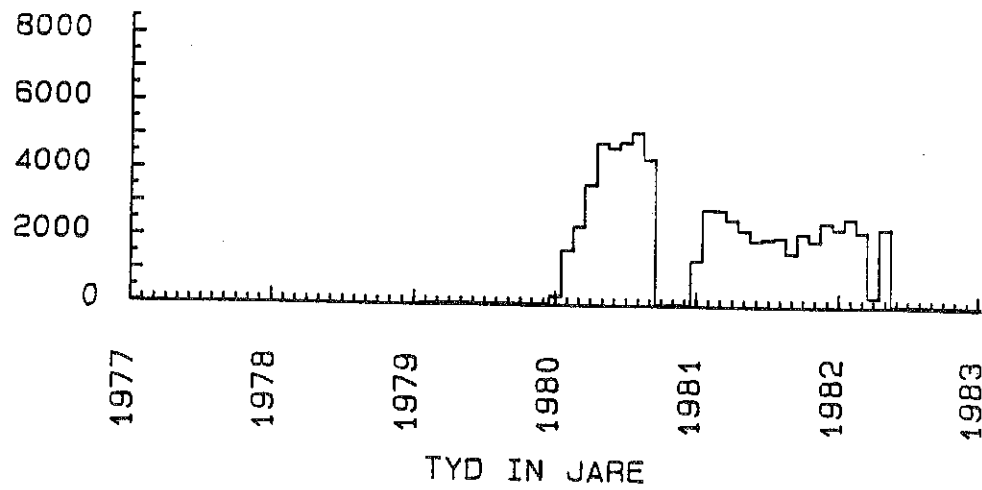
BOORGAT NO: SW329 NOORDMYN



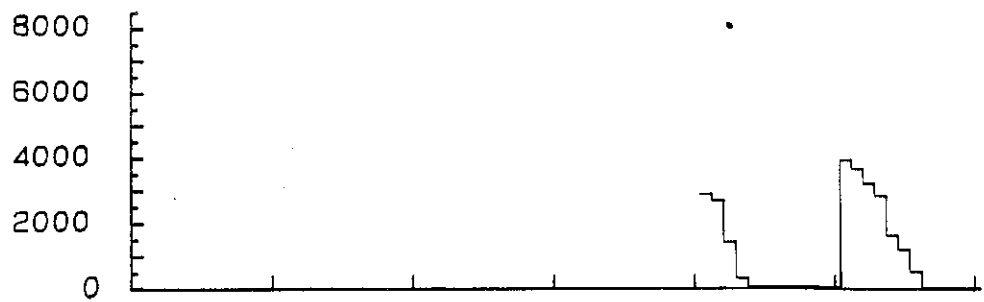
BOORGAT NO: SW330 NOORDMYN



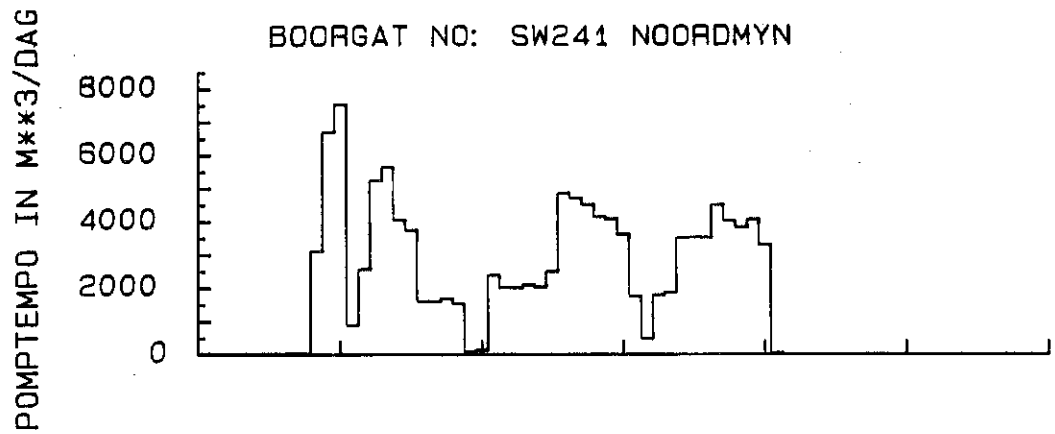
BOORGAT NO: SW332 NOORDMYN



BOORGAT NO: SW307 NOORDMYN



BOORGAT NO: SW241 NOORDMYN



BOORGAT NO: SW260 NOORDMYN

