

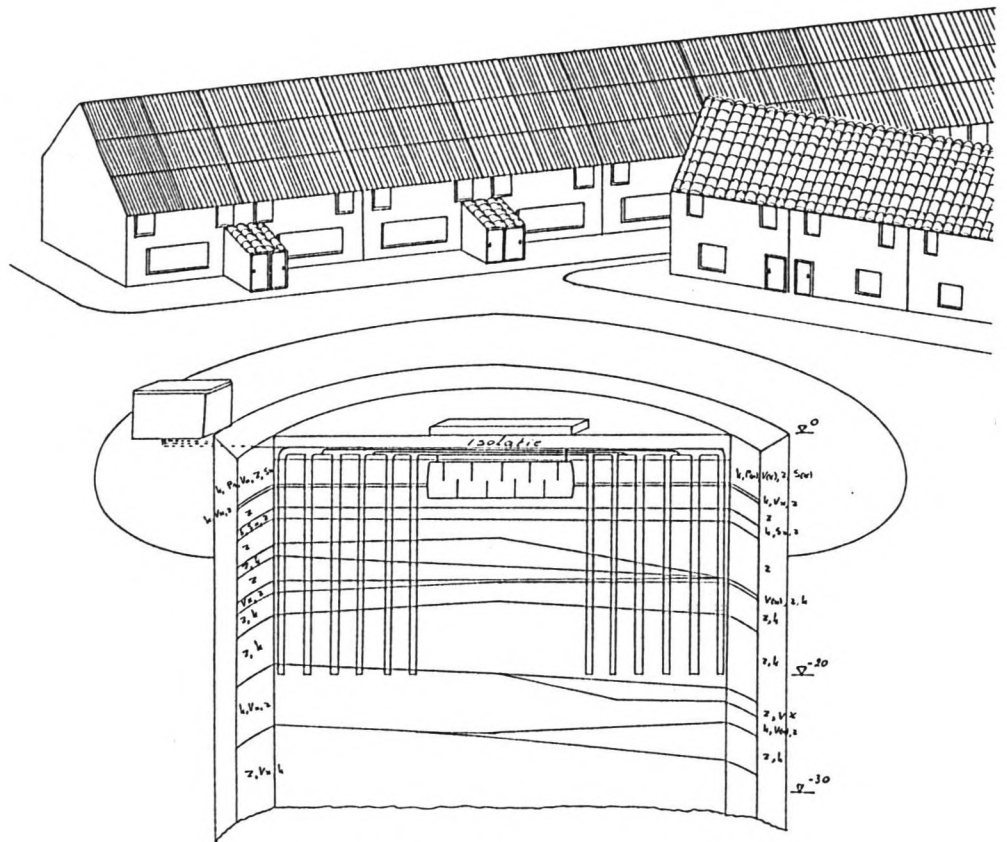
WK-ENO- 3133  
Bouman- 1988

# Evaluatie warmteopslag Beijum

April 1988

A. Boumans

---



EVALUATIE WARMTEOPSLAG BEIJUM

( afstudeerverslag )



Delft, april 1988

Begeleider: Prof.ir. A.F. van Weele  
ir. J.W. de Feijter

A. Boumans



## Inhoudsopgave

|  |          |
|--|----------|
| Inhoudsopgave  | blz. A 1 |
| Omschrijving gebruikte begrippen                                 | A 3      |
| Samenvatting   | 1        |
| 1 Inleiding  | 1        |
| 2 Onderzoek  | 2        |
| 3 Resultaten   | 2        |
| Conclusie  | 5        |
| Aanbeveling  | 7        |
| Totale Samenvatting  | 11       |
| <br>   |          |
| Evaluatie Beyum  | 13       |
| 1 Algemeen   | 13       |
| 1.1 Inleiding  | 13       |
| 1.2 Opslagsysteem  | 14       |
| 1.2.1 Korte-Termijopslag   | 14       |
| 1.2.2 Lange-Termijnopslag  | 16       |
| 1.3 Het Verwarmingssysteem                                       | 19       |
| 1.3.1 Het Ketelhuis  | 19       |
| 1.3.2 Het Collectorsysteem                                       | 19       |
| 1.3.3 De Woningen  | 19       |
| 1.4 Onderzoek  | 20       |
| 1.5 Resumé Technische Gegevens                                   | 23       |
| 2 Grondopbouw  | 24       |
| 2.1 Gebruikte Methoden   | 24       |
| 2.1.1 Algemene Uitgangspunten                                    | 26       |
| 2.1.2 Commentaar Op Algemene Uitgangspunten                      | 26       |
| 1 Laagopbouw   | 26       |
| 2 Warmtecapaciteit   | 28       |
| 3 Thermische Geleiding (Warmtegeleidingscoëfficiënt)             | 28       |
| 4 Intrinsieke Doorlatendheid                                     | 28       |
| 5 Verhang, Drukverschil, Grondwatersnelheid                      | 30       |
| 6 Totale Warmtecapaciteit  | 33       |
| 7 Warmteuitwisseling   | 33       |
| 2.2 Opmerkingen Betreffende Algemene Uitgangspunten              | 34       |
| 5 Verhang, Drukverschil, Grondwatersnelheid                      | 34       |
| 2.3 De Afdekconstructie  | 35       |
| 2.3.1 Warmteverlies Door De Afdekconstructie                     | 38       |
| 2.3.2 Mogelijke Oorzaken Warmteverlies Door De Afdekconstructie  | 42       |
| 2.3.3 Opmerkingen  | 43       |
| 2.3.4 Warmtegeleidingscoëfficiënt Humus-, Zavel- en Zandisolatie | 46       |
| 2.3.5 Warmtegeleidingscoëfficiënt Totale Afdekconstructie        | 48       |
| 2.4 Ringdrainage   | 49       |

|   |      |     |
|---|------|-----|
| 3 Warmteopslag  | blz. | 54  |
| 3.1 Het Opslagsysteem   |      | 54  |
| 3.2 Lange- En Korte-Termijnopslag                                       |      | 57  |
| 3.3 Warmteverlies Lange- En Korte-Termijnopslag                         |      | 58  |
| 3.3.1 Totale Warmteverlies  |      | 58  |
| 3.3.2 Warmteverlies Binnen De Opslag                                    |      | 59  |
| 3.3.3 Warmteverlies Aan De Buitenlucht                                  |      | 59  |
| 3.3.4 Warmteverlies Aan De Grond  |      | 63  |
| 4 Warmteverliezen   |      | 65  |
| 4.1 Geborgen Warmte   |      | 65  |
| 4.4 Grondwaterstromingen  |      | 70  |
| 4.3 Warmtegeleiding   |      | 72  |
| 4.3.1 Warmtegeleiding Uit De Opslag                                     |      | 73  |
| 4.3.2 Warmtegeleiding Door Kleilaag, (Diepte -22 Tot -24<br>Meter), Lek |      | 77  |
| 4.4 Chloride- en Sulfaatmetingen  |      | 81  |
| 4.4.1 Resultaten Metingen   |      | 85  |
| 4.4.2 Commentaar Op Metingen  |      | 87  |
| 4.4.2.1 Bepaling Chloridegehalte  |      | 87  |
| 4.4.2.2 Bepaling Sulfaatgehalte   |      | 89  |
| 4.4.3 Samenvattend  |      | 90  |
| 4.5 Samenvatting Warmteverliezen  |      | 91  |
| Appendix A  |      | 97  |
| Literatuurlijst   |      | 100 |

Omschrijving gebruikte begrippen

| Begrip           | Omschrijving   | dimensie               |
|------------------|--|------------------------|
| $\alpha$         | Temperatuurvereffeningscoëfficiënt                               | [m <sup>2</sup> /s]    |
| $\rho$           | Volumieke massa van een materiaal                                | [N/m <sup>3</sup> ]    |
| X                | Intrinsieke doorlatendheid                                       | [m <sup>2</sup> ]      |
| J                | Warmtegeleidingscoëfficiënt                                      | [W/m.K]                |
| $\mu$            | Dynamische viscositeit   | [N.s/m <sup>2</sup> ]  |
| $\nu$            | Kinematische viscositeit   | [m <sup>2</sup> /s]    |
| $\rho$           | Soortelijke dichtheid van een materiaal                          | [kg/m <sup>3</sup> ]   |
| $\rho \cdot c$   | Gemiddelde warmtegeleidingscoëfficiënt per m <sup>3</sup> per °C | [MJ/m <sup>3</sup> .K] |
| c                | Soortelijke warmte van een materiaal                             | [J/kg.K]               |
| k                | Doorlatendheid van grondpakket of hydraulische geleidbaarheid    | [m/s]                  |
| n                | Volume percentage holle ruimte                                   | [%].                   |
| P                | Druk   | [N/m <sup>2</sup> ].   |
| P <sub>mwk</sub> | Druk in meters water kolom                                       | [mwk]                  |
|                  | Debiet   | [m <sup>3</sup> /s]    |
|                  | Warmtestroom   | [MWh]                  |
| q                | Specifieke debiet  | [m/s]                  |
|                  | Warmtestroomdichtheid  | [W/m <sup>2</sup> ]    |
| r                | Warmteweerstand  | [K.m <sup>2</sup> /W]  |
| v(porie)         | Poriesnelheid  | [m/s]                  |
| v(Darcy)         | Darcysnelheid  | [m/s]                  |

## Samenvatting

### 1 Inleiding

In opdracht van het bureau Projecten Energie Onderzoek (PEO) van het Energie Onderzoek Centrum (ECN) is onderzocht hoe met name zonnecollectoren te combineren zijn met een systeem van lange termijnopslag van warmte in de grond. PEO coördineert in opdracht van het ministerie van Economische Zaken (EZ), projecten die in het kader van het Nationale Onderzoekprogramma Zonneënergie worden uitgevoerd. Dit project is gefinancierd door EZ en de EEG.

In de Groningse wijk Beyum zijn 96 woningen uitgerust met 2500 m<sup>2</sup> zonnecollectoren. Deze zijn via een distributienetwerk van leidingen aangesloten op een centraal warmte-opslag systeem. De overtollige warmte die door de collectoren wordt opgevangen, wordt naar het centrale opslagsysteem afgevoerd.

Het centrale opslagsysteem bestaat uit een lange-termijnopslag, de grond, en een korte-termijnopslag, een tank met een inhoud van 1000 m<sup>3</sup>. De totale opslag is een cilindervormig grondpakket. De diameter is 38 meter en de diepte 20 meter. In het centrum, bovenin, is de korte-termijnopslag aangebracht. 's Zomers, als de warmtetoevoer groot is, dient deze korte-termijnopslag als buffer. Niet alle warmte kan meteen aan de lange-termijnopslag worden afgestaan. In de winter gebeurt hetzelfde in omgekeerde richting, omdat dan de vraag naar warm water uit de grond zo groot is dat het niet meteen geleverd kan worden.

De lange-termijnopslag bestaat uit de totale opslag min de korte-termijnopslag. Hij bevat lussen waardoor het water stroomt dat door de zonnecollectoren is verwarmd. Het warme water wordt in de zomer in het centrum via de lussen ingebracht en na afkoeling gaat het er dan aan de randen uit. In de winter is de stromingsrichting omgekeerd. Het koudere water gaat er dan aan de randen in en als warm water in het centrum er uit. Op deze manier concentreert de warmte zich in het centrum.

Ter beperking van warmteverliezen is de bovenkant van de opslag geïsoleerd.

In het ketelhuis komen de leidingen samen die de korte- en lange-termijnopslag en de woningen met elkaar verbinden. Indien nodig wordt, als de warmte uit de opslag te gering is om de woningen te verwarmen, met gas bijgestookt. De capaciteit is voldoende om de huizen zonder het warme water uit de opslag te verwarmen.

### 2 Grondopbouw

De grondopbouw ter plaatse van de opslag ziet er in grote lijnen als volgt uit:

Vanaf maaiveld tot 5 meter daaronder is een siltachtige zandlaag met een kleine doorlatendheid.

Tussen 5 tot 6 meter onder maaiveld volgt een fijnzandlaag.

Tussen de 6 en de 7 meter een leemlaag met een geringe doorlatendheid. Deze is door de lussen (warmtewisselaar), om de bodem te verwarmen, zo vaak doorgeprikt, dat deze als doorlatend in verticale richting beschouwd moet worden.

Tussen de 7 en 22 meter onder maaiveld komt een zandlaag met leem-, veen- en kleilagen voor. Mede omdat de leemlaag niet meer als waterdicht te beschouwen is, is deze zandlaag het eerste watervoerende pakket. Tussen 22 tot 24 meter komt een slecht doorlatende kleilaag en onder de 24 meter zand met wat klei- en veenlagen. Onder deze kleilaag bevindt zich tenslotte het tweede watervoerende pakket.

### 3 Onderzoek

Uit metingen is gebleken dat er meer warmteverliezen optreden dan de verwachting was. De energiebalans van het totale systeem laat zien dat de zonnecollectoren in 1985 voor 34 % en in 1986 voor 49 % hebben bijgedragen om de huizen en het tapwater te verwarmen. Verwacht was 50 %. De meeste verliezen, namelijk 80 %, treden op in de grond (de opslag). De overige 20 % in het distributienetwerk.

Ter beschikking staan temperatuur- en waterspanningsmetingen. Uit sonderingen en grondboringen zijn grondgegevens beschikbaar. Tevens zijn zettingen en grondwaterstanden bekend en sulfaat- en chlorideconcentratie metingen gedaan.

De opslag is onderverdeeld in drie horizontale meetrichtingen A, B en C. Deze zijn gelijk over de opslag verdeeld en maken een hoek van 120 ° met elkaar. In deze richtingen zijn metingen tot op een diepte van 30 meter onder maaiveld gedaan.

Er is nagegaan waar de warmte van de opslag naar toe gaat. Waar de meeste verliezen optreden, wat daarvan de oorzaak is en wat er tegen gedaan kan worden om ze in de toekomst te beperken.

### 4 Resultaten

Voor de berekening van de warmteverliezen is gebruik gemaakt van constante grondparameters. Uit nader grondonderzoek aan de hand van sonderingen en boringen blijken deze constanten niet zo eenduidig vast te liggen.

De afsluitende kleilaag blijkt dunne zandlagen te bevatten waardoor de doorlatendheid hoger uitvalt. Dit blijkt vooral in de A-, C-richting het geval. De zandlagen in de kleilaag bevinden zich van 3 tot 23 meter uit het centrum. Uit de sonderingen en boringen is niet precies te reconstrueren hoe deze zandlagen verlopen. Daarvoor zijn meer sonderingen en of boringen nodig. Uit de gegevens blijkt wel dat de kleilaag toch nog minimaal een meter dik is. Dat moet voldoende zijn om eventuele lekkages van warm water uit de opslag naar het koudere watervoerende pakket onder de klei en daarmee warmteverliezen in sterke mate te beperken. Zie ook figuur 8, paragraaf 2.1.2.

Uit drukmetingen in de A-richting zijn snelheden bepaald. Voor de jaren 1985, 1986 zijn deze metingen niet volledig. In het centrum van de opslag, waar de temperaturen hoog kunnen oplopen, zijn enkele meetpunten uitgevallen. Uit de metingen volgt dat op een diepte van 9 meter onder maaiveld de grondwaterstroming naar het centrum toe gericht is. Op 19 meter is deze van het centrum af gericht en op 30 meter onder maaiveld er weer naar toe. Er treden voor de eerste twee metingen in het eerste watervoerende pakket Darcy-snelheden van 20 en 79 meter per jaar op. In het tweede watervoerende pakket is deze snelheid 42 [m/jaar]. Deze waarden zijn niet geheel betrouwbaar. De richtingen zijn verschillend



en er zijn te veel meetpunten uitgevallen.

Om wat meer zekerheid te krijgen omtrent snelheden en richtingen van het grondwater, zijn op 01-09-1987 extra drukmetingen verricht.

Op een diepte van 9 meter is de grondwaterstroming nu van het centrum af gericht met een Darcy-snelheid van 15 [m/jaar]. Op 19 meter ook van het centrum afgericht, de snelheid is 22 [m/jaar]. En op 30 meter onder maai-veld eveneens van het centrum af met een snelheid van 17 [m/jaar].

Uit vooronderzoek is gebleken dat het economisch verantwoord is een slecht doorlatend scherm te plaatsen bij Darcy-snelheden boven de 18 [m/jaar].

De opslag is aan de bovenkant voorzien van een isolerende afdekconstructie met een totale dikte van 2.15 [m]. Door deze constructie gaat meer warmte verloren dan oorspronkelijk verwacht. De warmtestroom uit de opslag door de afdekking naar de buitenlucht is constant voor de hele constructie.

Twee opeenvolgende lagen in de afdekking bestaan uit argex en foamglass. Hierover is gedurende de meetperiode het warmteverschil gemeten en de warmtestroom. Hiermee en met behulp van de dikte van de lagen kan nagegaan worden hoeveel de opgegeven waarden voor de warmtegeleidingscoëfficiënten, van de lagen, afwijken van de gemeten waarden.

Uit de metingen blijkt de warmtegeleidingscoëfficiënt voor de beide lagen samen 1.78\* (78 %) hoger liggen dan opgegeven. De opgegeven waarde voor het foamglass is 0.04 [W/m.K] en die van argex 0.4 [W/m.K]. De totale gemeten warmtegeleidingscoëfficiënt  $\lambda$  voor de beide lagen samen is 0.28 [W/m.K]. Een lage  $\lambda$  houdt in een slechte geleiding en daardoor een gering warmteverlies van de opslag door de afdekking.

Omdat  $\lambda$  en de warmtestroom rechtevenredig met elkaar zijn, is het gevolg een 1.78\* hogere warmtestroom dan verwacht door de afdekconstructie.

De bovenste drie lagen van de afdekconstructie bestaan uit humus, zavel en draineerzand. Deze liggen op het foamglass. De warmtegeleidingscoëfficiënt van de drie lagen bedraagt 1.05 [W/m.K]. De waarde voor vochtige grond is 0.9 [W/m.K]. Deze waarden liggen dus dicht bij elkaar. Zie paragraaf 2.3.4.

De totale afdekconstructie met, een dikte van 2.15 [m] en een prijs van fl 200.000,-, heeft een warmtegeleidingscoëfficiënt van 0.82 [W/m.K].

Dat is maar 9 % gunstiger dan die van vochtige grond (=0.9 [W/m.K]).

Zie paragraaf 2.3.5.

Bij een hoge grondwaterstand gaat meer warmte door de afdekconstructie verloren dan bij een lage. Uit metingen blijkt dat voor elke meter stijging van de grondwaterstand het warmteverlies 5.5\* zo groot wordt door de afdekking. Het gaat hier om waterstandsverschillen van maximaal 0.5 meter. Het maximale verlies kan daardoor 50 [MWh/jaar] bedragen. Zie paragraaf 2.3.3 tabel 3d.

De ringdrainage moet ervoor zorgen dat de opbolling van het waterpeil binnen de opslag voldoende laag blijft. De argexkorrels en zeker het foamglass mogen niet nat worden. Water geleidt warmte immers veel beter dan het droge en luchtige foamglass.

De drainerende hoogte van de ringdrainage ligt op -1.40 [m] N.A.P. De onderkant van de argexkorrels op -0.75 [m] N.A.P. Dit is een speling van 0.65 [m]. Door de drainage rondom de opslag op een dusdanige afstand van elkaar te leggen dat de opbolling daardoor 0.5 [m] wordt, blijft er nog een veiligheid van 0.15 [m] over voordat de argex nat wordt. Met een onderling drainage afstand van 58 [m], moet de doorlatendheid van de zavel ondergrond  $1.8 \cdot 10^{-6}$  [m/s] bedragen. Dit komt met de doorlatendheidsmetingen overeen. Controle van de doorlatendheid nu de opslag in

werking is, is niet mogelijk. Daardoor zou de afdekconstructie beschadigd moeten worden. Toch is het van belang deze doorlatendheid te kennen. Bij hoge grondwaterstand is het verlies door het isolerende pakket een stuk groter. De lokale verhangen in de opslag bedragen 1:400.

De indirecte warmteverliezen van de opslag via de omringende grond naar de buitenlucht worden met een stationair model volgens Johan Claesson en Ben Efring, Optimal distribution of thermal insulation and ground heat losses, geschat. Voor 1985, 1986, 1987 levert dat op 39, 48 en 52 [MWh/jaar]. Dat is 12 % van de totale verliezen over deze drie jaren.

De warmteverliezen zijn bepaald over een gebied met een straal tot 59 [m] uit het centrum en een diepte van 30 [m] onder maaiveld. De opslag heeft een straal van 0 tot 19 en een diepte van 0 tot 20 [m]. Om een beter inzicht te krijgen in waar de verliezen naar toe gaan is het totale gebied onderverdeeld in vier cylinders. Er is gelet op verliezen veroorzaakt door geleiding, grondwaterstromingen, lekkage en infiltratie. Voor een gedetailleerde uitwerking zie ook paragraaf 4.5. Hieronder zullen de gemiddelde warmtestroomverliezen gegeven worden van de opslag aan zijn omgeving voor de jaren 1985, 1986 en 1987.

- De totale gemiddelde verliezen over voornoemde drie jaren bedragen 420 [MWh/jaar].
- De toename van de warmteberging in de opslag is 45 [MWh/jaar], 11 % van de totale verliezen.
- Warmtestroomverliezen door geleiding via de afdekconstructie bedragen 96 [MWh/jaar], 23 %.
- Radiale geleidingsverliezen van de opslag naar de naastliggende grond zijn 90 [MWh/jaar], 21 %.
- Warmtestroomverliezen door horizontale grondwaterstromingen bedragen 140 [MWh/jaar], 33 %.
- Verticale geleidingsverliezen onder de opslag zijn 49 [MWh/jaar], 12 %.

De warmtestroomverliezen door de horizontale grondwaterstroming nemen 1/3 deel van de totale verliezen van de opslag voor hun rekening.

Uit de warmtetoename per jaar van de opslag blijkt dat deze zijn stationaire toestand nadert. Hij werd in 1987 gemiddeld niet warmer dan in 1986. Het totale gebied laat voor augustus tot oktober van 1987 ten opzichte van die zelfde periode in 1986 ook maar een geringe toename van de warmte zien. Een stationaire toestand van het hele gebied lijkt daarom in zicht.

Uit de temperatuurprofielen van bijlage 4 en de waterstandmetingen van 01-09-1987, volgt dat er een horizontale stroming in de A-richting, over een diepte van het maaiveld tot 30 meter daaronder, heerst van het centrum naar de buitenrand van de opslag. Een stroming naar de rand is, uit eerdere metingen, ook in de B-richting waargenomen voor een diepte van 11 meter onder maaiveld.

Het temperatuurprofiel is in alle richtingen symetrisch ten opzichte van het centrum van de opslag (axiaal-symetrisch). Soms is de rand van de opslag in de ene richting wat warmer dan in de andere. De horizontale grondwaterstroming is dan in die richting wat groter dan in de andere. De verschillen zijn echter niet groot. Voor de jaren 1984, 1985 en 1986 is te zien dat de sterkste grondwaterstromingen optreden in de C-, dan in de A- en uiteindelijk in de B-richting. Voor 1987 is de grootte volgorde de A-, de B- en dan de C-richting.

De warmteverliezen door geleiding via de kleilaag bedragen voor 1985,

1986 en 1987 gemiddeld 43 [MWh/jaar]. Opvallend is dat tot drie meter uit het centrum minder verlies door de kleilaag optreedt dan tussen de 4 en 9 meter. Oorzaak hiervan kan zijn dat de lussen beginnen op een afstand van 3 meter uit het centrum, omdat de korte termijnsopslag tot deze afstand loopt. De warmte zit in het centrum echter opgesloten. Geringer geleidingsverlies is op die plaats dus niet te verwachten. Oorzaak kan lekkage zijn. Een schatting hiervoor is 12 [MWh/jaar].

De chloride- en sulfaatmetingen geven een lekkage op een afstand van 3 [m] uit het centrum te zien. Het chloride-gehalte voor een afstand van 3 [m] uit het centrum en op een diepte van 9 [m] onder het maaiveld geven een lagere waarde te zien dan op een afstand van 17 [m] uit het centrum op diezelfde diepte. Dit is een gevolg van indringing van zoet water door de afdekconstructie. Het sulfaatgehalte op 3 [m] uit het centrum en een diepte van 9 [m] onder maaiveld, geeft ten opzichte van de rest van de opslag wel een zeer hoge concentratie te zien. Dit duidt op uitlogen van sulfaat uit de humus-, argex-, zavelaag van de isolerende afdekconstructie. Deze gegevens zijn onafhankelijk van elkaar verkregen uit de A- en de B-richting. Uit de metingen blijkt de lekkage in de afdekconstructie rond de korte-termijnsopslag op te treden. De warmtestroom is berekend op  $Q=0.01S*A$  [MWh/jaar]. Waarin A het oppervlak van de lekkage is. Bij alleen lekkage rond de korte-termijnsopslag is het verlies aan warmte klein (0.6 [MWh/jaar]).

## CONCLUSIES

De gemiddelde warmteverliezen voor 1985 en 1986 van het hele systeem bedragen 490 [MWh/jaar]. 80 % hiervan gaat aan de grond verloren (390 [MWh/jaar]). De overige 20 % (100 [MWh/jaar]) gaat in het distributienetwerk verloren.

De zonnecollectoren leverden in 1985, 34 % en in 1986, 49 % van de warmtebehoefte om de huizen te verwarmen. De verwachte bijdrage was 50 %.

De warmteverliezen door de afdekconstructie zijn 78 % hoger dan verwacht. Voor de periode 1985 tot en met 1987 is dat gemiddeld 96 [MWh/jaar]. Dat is 23 % van het totale verlies aan de grond voor die jaren. Rond de korte-termijnsopslag op drie meter uit het centrum van de opslag treedt lekkage op. De aansluiting met de afdekconstructie is niet waterdicht. Kouder regenwater kan infiltreren.

Er zal in een toekomstig project van gelijke aard meer aandacht aan de isolerende afdekconstructie besteed moeten worden. Vooral het foamglass dat de grootste isolerende bijdrage levert, moet zonder lekkages in de constructie verwerkt worden. De warmtegeleidingscoëfficiënt van de totale constructie, 0.82 [W/m.K], toont de slechte isolerende werking aan. Deze is maar 9 % gunstiger dan die voor vochtige grond (0.9 [W/m.K]).

De grondwaterstand moet zo laag mogelijk worden gehouden. Een 1 [m] hogere grondwaterstand betekent een warmteverlies door de afdekconstructie die  $5.5*$  zo hoog is. Bij een maximaal grondwaterstandverschil van 0.5 [m] komt dat neer op een maximaal verlies van 50 [MWh/jaar].

Uit de waterstandsmetingen blijkt dat voor de A-richting een horizontale



grondwaterstroming van het centrum naar de buitenkanten optreedt. Voor de B-richting is op 11 meter onder het maaiveld hetzelfde te zien. Een aanwijzing voor convectorie is niet te vinden. Dan zouden de warmteprofielen aan de bovenkant meer naar buiten moeten lopen dan aan de onderkant. Bij convectorie is het volgende te zien: In het centrum van de opslag is het water warmer. Daardoor krijgt het een geringere dichtheid dan aan de rand, waar de temperatuur lager is. Het gevolg is een drukverschil. Het water stijgt in het centrum en wil boven in de opslag naar de rand en en onder, net boven de kleilaag, van de rand naar het centrum stromen.

De horizontale warmteverliezen van de opslag door radiale geleiding en horizontale grondwaterstroming bedragen totaal voor 1985, 1986 en 1987, 230 [MWh/jaar]. Dat is 54 % van het totale verlies, 420 [MWh/jaar], aan de grond voor die periode. Beiden beïnvloeden elkaar. Als er een grotere horizontale grondwaterstroming heerst over de rand van de opslag, dan is de rand warmer. Het temperatuurverschil tussen net binnen de opslag en daarbuiten wordt groter en daardoor wordt de radiale geleiding ook weer groter. Als nu de grondwaterstromingen kleiner gemaakt worden, worden de geleidingsverliezen kleiner en de warmteverliezen door grondwaterstroming ook.

De Darcy-snelheden, in het eerste watervoerende pakket tot de kleilaag, bedragen zo'n 18 [m/jaar]. Boven deze snelheid is het economisch verantwoord een slecht doorlatend scherm te plaatsen.

Gezien de grote warmteverliezen, die radiaal optreden, lijkt de keuze voor een verticaal scherm rondom de opslag tot in de diepe afsluitende kleilaag verantwoord. Een prijsberekening zal dat nader moeten uitwijzen.

De opslag zelf wordt warmer. Het verlies daardoor is 45 [MWh/jaar], 11 % van het totale verlies, voor de jaren 1985 tot en met 1987. Door een scherm en een betere topisolatie zal dit verlies teruggedrongen worden. De opslag blijft dan warmer.

De overige verliezen van de opslag door geleiding aan de onderkant bedragen 49 [MWh/jaar]. Dat is 12 % van het totale verlies aan de grond.

Van de verliezen aan geleiding via de onderkant van de opslag, 45 [MWh/jaar], de onderkant van de opslag ligt circa twee meter boven de kleilaag, gaat weer 43 [MWh/jaar] door de kleilaag aan geleiding verloren. Dit verlies moet worden geaccepteerd. Dat geldt ook voor de eventuele lekken in de kleilaag, waarvan het geschatte warmteverlies 12 [MWh/jaar] bedraagt.

## AANBEVELINGEN

Een waterkerend scherm plaatsen is gezien de vrij hoge grondwatersnelheden van 18 [m/jaar] en de warmteverliezen door de horizontale grondwaterstroming, aan te bevelen. Het direkte verlies is 140 [MWh/jaar] en door radiale geleiding, indirect, 90 [MWh/jaar]. Dat is 54 % van de gemiddelde totale verliezen voor de jaren 1985, 1986 en 1987, die 420 [MWh/jaar] bedragen. De isolerende afdekconstructie laat te veel warmte van de opslag naar de buitenlucht ontsnappen. Dit is 1.78\* groter dan verwacht. Het geleidingsverlies door de topisolatie bedraagt gemiddeld 96 [MWh/jaar] over de voornoemde 3 jaren. Dat is 23 % van de totale warmteverliezen aan de grond. Het opnieuw leggen van de totale afdekconstructie lijkt te duur. Het is vooral van belang dat het foamglass, dat de grootste bijdrage levert aan de isolatie van de opslag aan de bovenkant, geen lekkages in de afdekconstructie veroorzaken. Beide genoemd verliezen zorgen voor 77 % van het warmteverlies aan de grond.

De totale prijs van de opslag zoals hij nu is, heeft bedragen:

|                          |           |                    |   |
|--------------------------|-----------|--------------------|---|
| Prijs grond              |           | nihil              |   |
| Grondwerk                | f1        | 140.000,-          |   |
| Topisolatie              | f1        | 200.000,-          |   |
| Warmteaccumulatieslangen | f1        | 250.000,-          |   |
| Watertank                | f1        | 430.000,-          | (incl. leidingen, pompen, bouwput, ontgraven) |
| <b>Totaal</b>            | <b>f1</b> | <b>1.020.000,-</b> | <b>(f1 44,-/m3 grond)</b>                     |

Als bij het bovenstaande bedrag de kosten van het ketelhuis met meetvoorzieningen en de meters in de grond worden geteld, dan komt het totale bedrag op circa f1 1.622.000,-, waarvan f1 200.000,- voor het meetgedeelte.

Als de kosten van de opslag in de huidige situatie worden berekend per netto bijdrage van de zonnecollectoren om de huizen te verwarmen in MWh per jaar, voor de periode 1985 tot en met 1986, dan levert dat op:  
Via de zonnecollectoren gaat in het systeem: 1000 [MWh/jaar].  
Het totale verlies in het systeem bedraagt: 490 [MWh/jaar].

De netto bijdrage is dan: 510 [MWh/jaar].  
De kosten per netto bijdrage van de zonnecollectoren zijn dan:  
f1 1.020.00,-/510=f1 2000,-/MWh/jaar.

Het verbeteren van het foamglass in de topisolatie zal aan meerkosten circa f1 50.000,- bedragen. De helft van de nu aanwezige dikte wordt voldoende geacht. Dit bovenop het oude, samen met een goede bitumenafdichting moet de isolate voldoende verbeteren. Bij de prijs is grondwerk inbegrepen. Er wordt van uitgegaan dat de rest van de afdekconstructie en het drainagesysteem goed functioneren.  
Bij het leggen van het nieuwe foamglass moet er vooral zorg besteed worden aan het goed aansluiten op de korte-termijnopslag. Ook dienen de foamglass platen zodanig op elkaar te liggen, dat geen lekkage van warmte via de naden kunnen optreden. De besparingen die een goede isolatie kan opleveren is een warmtestroom die 1.78\* minder is dan de nu optredende. Hierboven blijkt dat gemiddeld over de jaren 1985 tot en met 1987, 96 [MWh/jaar] aan verlies door de afdekconstructie optrad. Bij een goede isolatie zal dit  $96/1.78=54$  [MWh/jaar] zijn. Een winst van 42 [MWh/

jaar].

De totale kosten komen daarmee op : f1 1.070.000,-.  
De netto bijdrage wordt: 510+42=552 [MWh/jaar].  
De kosten per netto bijdrage van de zonnecollectoren bij alleen een verbetering van de topisolatie worden:  $f1\ 1.070.000/552=f1\ 1950,-/MWh/jaar.$

Voor een waterkerend scherm komen meerdere oplossingen in aanmerking. Gedacht kan worden aan een scherm dat alleen de doorlatendheid kleiner maakt. Daardoor nemen de grondwatersnelheden sterk af. Ook kan gekozen worden voor een scherm dat  $\hat{e}$ n de grondwatersnelheden verkleint  $\hat{e}$ n de warmtegeleiding van de opslag naar zijn naaste omgeving in radiale richting vermindert. Deze laatste oplossing zal duurder zijn. De warmteverliezen worden echter wel kleiner. Een ander probleem is de overlast die de bewoners ondervinden van deze werkzaamheden. Dat geldt ook voor het verbeteren van de topisolatie. Hieronder volgen enkele afwegingen.

Er wordt voor gekozen om het scherm zo dicht mogelijk naast de opslag te plaatsen. Dan kan er zo min mogelijk warmte door berging verloren gaan en is de omtrek (kosten) van het scherm ook minimaal. Een straal van 20 meter wordt aangehouden. De opslag zelf heeft een straal van 19 meter. Het scherm moet minstens doorlopen tot een diepte van 22 meter onder het maaiveld. Daar begint de slecht doorlatende kleilaag. Deze loopt door tot 24 meter onder het maaiveld. De bovenkant van het scherm moet ook binnen de topisolatie vallen.

Het heien of trillen van een stalen damwand:  
Hierdoor wordt de horizontale doorlatendheid gereduceerd. De grondwaterstroming in die richting neemt af. Afhankelijk van de lekkage van de sloten is er een doorlatendheid van  $10^{*-7}$  tot  $10^{*-8}$  [m/s] te halen. De huidige is 5 tot  $20 \cdot 10^{*-5}$  [m/s]. Dit is dus een factor 100 tot 1000 gunstiger. Aan de onderkant is de damwand waterdicht als hij 1 tot 2 [m] in de slecht doorlatende laag steekt. De productiecapaciteit is circa 250 [m<sup>2</sup>] per dag bij gebruik van een licht profiel. Gezien de grondopbouw moeten deze lichte profielen toegepast kunnen worden. De weerstand is gering. Voor lichte profielen geldt een prijs van f1 200,-/m<sup>2</sup>, all in. Bij een lengte van 23 meter en een straal van 20 meter bedraagt de prijs f1 578.000,-.

De grondwaterstromingen zullen tot een minimum beperkt worden. Winst aan warmte wordt daardoor minimaal 140 [MWh/jaar]. Het verlies door geleiding zal ook minder worden.

Bij heien komt geluidsoverlast voor, bij trillen niet. Er dient rekening te worden gehouden met trillingen die schade aan het opslagsysteem kunnen veroorzaken. Vooral aan de gevoelige koppelingen van de slanglussen boven in de opslag. Als deze lekken kan teveel warmte verloren gaan. De totale kosten met damwand en verbeteren topisolatie worden:

$f1\ 1.070.000 + f1\ 578.000 = f1\ 1.648.000.$

De netto bijdrage wordt: 510+140+42=692 [MWh/jaar].  
De kosten per netto bijdrage van de zonnecollectoren met damwand en verbetering topisolatie worden: f1 1.648.000/692=f1 2382,-/MWh/jaar.  
Dat is duurder dan de huidige situatie van f1 2000,-/MWh/jaar.

Een keerwand van cementbentoniet:

Principe is het in de grond trillen of heien van een stalen I-profiel, voorzien van injectielanzen, tot in de kleilaag. Tijdens het trekken van het profiel wordt de vrijkomende ruimte met bijvoorbeeld bentonietcement volgespoten. Dit wordt overlappend gedaan. De voegen sluiten daardoor goed af. De dikte van de wand bedraagt circa 0,1 m. De doorlatendheid kan

hierdoor tot 10\*\*<sup>-8</sup> tot 10\*\*<sup>-9</sup> [m/s] terug gedrongen worden. Waterdichtheid aan de onderkant is te krijgen door wand 1 tot 2 [m] in de kleilaag te steken. De kosten zijn fl 75,-/m<sup>2</sup>.

De prijs komt daarbij, als bovenstaande afmetingen worden aangehouden, op fl 220.000,-. Hierbij komen nog mobilisatie- en demobilisatiekosten, van circa fl 70.000,-. De totale kosten komen daarmee op fl 290.000,-.

Winst aan warmteverlies minimaal 140 [MWh/jaar].

Bezwaar is weer de geluidsoverlast bij heien, rond de 80 dB en dat door de trillingen beschadigingen aan de koppelingen van de lussen kunnen optreden. Toepassing met kunststoffolie is mogelijk.

De productiecapaciteit bedraagt 400 tot 500 [m<sup>2</sup>/dag].

De kosten met wand van cementbentoniet en verbeteren topisolatie worden:  
fl 1.360.000,-.

Netto bijdrage:  $510+140+42=692$  [MWh/jaar].

De kosten van de opslag per netto bijdrage worden dan:  
 $fl\ 1.360.000/692=fl\ 1965,-/MWh/jaar.$

Gespoten kunststof wand:

Een kunststofscherf wordt op een plank bevestigd en de grond ingetrild en gespoten. Vervolgens wordt een tweede plank aan de eerste gekoppeld en op dezelfde manier de grond in gebracht. Nadat de tweede plank op diepte is wordt de eerste getrokken. Het scherm blijft achter. Waterdichte afsluiting met kleilaag is eventueel met bentoniet te verbeteren.

De doorlatendheid kan zeer klein worden, praktisch ondoorlaatbaar.

Kosten zijn fl 100,-/m<sup>2</sup>. Totale kosten bedragen fl 300.000,-.

Besparing op warmteverliezen minimaal 140 [MWh/jaar].

Productiecapaciteit 300 tot 400 m<sup>2</sup> per dag.

Voor trillingshinder weer oppassen met koppelingen van de lussen.

De kosten met gespoten wand en verbetering topisolatie komen dan op:  
fl 1.370.000,-.

De netto bijdrage wordt:  $510+40+42=692$  [MWh/jaar].  
 $fl\ 1.370.000,-/692=fl\ 1979,-/MWh/jaar.$

Ondoorlatend scherm in V-vorm aanbrengen:

Door twee damwanden in V-vorm te heien en de ingesloten grond droog te malen wordt niet alleen een slecht doorlatend scherm gekregen maar ook nog een lage warmtegeleidingscoëfficiënt. De laatste kan 2 tot 3 keer lager zijn dan de oorspronkelijke. Het is ook nog mogelijk om de ruimte tussen de V-vormige wanden met kunststof vol te spuiten. De warmtegeleidingscoëfficiënt wordt daardoor nog meer verbeterd. Dit laatste zal duurder zijn. Uit een nadere kosten- batenanalyse zou moeten blijken of dit toch rendabel is.

De totale kosten worden op fl 300.000,- geraamd.

Een winst aan warmteverlies van 140 [MWh/jaar] doordat het grondwater niet meer stroomt en een winst van 58 [MWh/jaar] omdat de warmte verliezen door geleiding kleiner worden, wordt bereikt. Totaal circa 200 [MWh/jaar].

De totale kosten worden met V-vormig scherm en verbetering topisolatie:  
fl 1.370.000,-.

Dan wordt de netto bijdrage:  $510+140+42+58=750$  [MWh/jaar].

De kosten van de opslag per netto bijdrage van de zonnecollectoren om de huizen te verwarmen voor de jaren 1985, 1986, 1987, worden:  
 $fl\ 1.370.000,-/750=fl\ 1830,-/MWh/jaar.$

Bij al deze methoden blijven de bewoners last houden van het werkverkeer en de werklui. Naar schatting zullen de werkzaamheden bij een goede voorbereiding 1 maand in beslag nemen. Overleg met de buurtbewoners is zeker nodig.



Uit het bovenstaande blijkt dat de oplossing met het V-vormige scherm en een verbetering van de topisolatie de goedkoopste oplossing oplevert. De hierbovenstaande prijzen zijn zeer globaal. Om meer zekerheid over warmtegeleidingscoëfficiënten van bijvoorbeeld bentoniet in combinatie met schuim te krijgen is verder onderzoek vereist. Dat geldt ook voor de gespoten kunststof wand en de prijzen hiervan.

## TOTALE SAMENVATTING

Van de totale opgevangen warmte door de zonnecollectoren, droeg in 1985 34 % en in 1986 49 % bij om de warmtebehoefte van de huizen te dekken. Indien nodig kan in het ketelhuis met gas bijgestookt worden. Door de collectoren wordt gemiddeld 1000 [MWh/jaar] over bovenstaande jaren aan het systeem afgestaan. Er treedt een warmteverlies van 390 [MWh/jaar] op aan de grond, dit is 80 % van de totale verliezen. In het distributienetwerk, dat het warme water van de zonnecollectoren naar de grond en het ketelhuis vervoert, gaat 100 [MWh/jaar] verloren. Dat is 20 %.

In de jaren 1985, 1986, 1987 trad een gemiddeld verlies op van 420 [MWh/jaar] in de grond. De verliezen in de grond zijn als volgt onder te verdelen:

- 96 [MWh/jaar] door de afdekconstructie, 23 % van de totale warmteverliezen aan de grond
- 45 [MWh/jaar] door toename van warmte in de opslag, 11 %
- 90 [MWh/jaar] door radiale geleiding uit de opslag, 21 %
- 49 [MWh/jaar] door verticale geleiding naar onderen uit de opslag, 12 %
- 140 [MWh/jaar] aan horizontale grondwaterstromingen, 33 %.

De optredende grondwaterstromingen door de opslag in het watervoerende pakket boven de kleilaag hebben een gemiddelde Darcy-snelheid van 18 [m/jaar]. Bij deze snelheid en bovenstaand warmteverlies door grondwaterstroming zal gelet op de geldende energieprijzen, de rentestand en de afschrijvingen, naast de vaste kosten, nagegaan moeten worden welke besparingen het oplevert om alsnog een waterkerend scherm te plaatsen.

Om het warmteverlies van de opslag door stroming van grondwater en geleiding te beperken zijn de volgende systemen bekeken.

Het heien of trillen van een stalen damwand, een keerwand van cementbetoniet, een gespoten kunststof wand en een ondoorlatend scherm in V-vorm aangebracht met de ertussen liggende grond droog gemalen.

Dit alles samen met verbetering van de topisolatie.

Uit een eerste globale berekening blijkt dat de oplossing met een V-vormig scherm, met de ertussen liggende grond droog gemalen, het goedkoopste is per netto bijgedragen warmte. De zonnecollectoren leveren 1000 [MWh/jaar] voor de periode 1985 tot en met 1987. In het systeem gaat hiervan 490 [MWh/jaar] verloren. De netto bijdrage om de huizen op te warmen bedraagt 510 [MWh/jaar]. Door plaatsing van het scherm kan de grondwaterstroming vrijwel tot nul gereduceerd en het warmteverlies met 140 [MWh/jaar] verminderd worden. Door het droogmalen van de ruimte tussen het scherm wordt het warmteverlies door geleiding nog eens met 58 [MWh/jaar] terug gedrongen, omdat de warmtegeleidingscoëfficiënt met een factor 2 tot 3 verkleind wordt.

De topisolatie verliest 1.78\* zoveel warmte als verwacht. De verbetering van dit pakket levert een winst op van 42 [MWh/jaar]. Totaal komt de netto bijdrage daardoor op 750 [MWh/jaar]. De kosten van de totale opslag worden dan fl 1.370.000. Zonder verbetering bedragen deze fl 1.020.00,-. De kosten per netto bijdrage zijn onverbeterd  $fl\ 1.020.00/510 = fl\ 2000,-/MWh/jaar$  en verbeterd  $fl\ 1.370.000,-/692 = fl\ 1830,-/MWh/jaar$ . Dat is een winst van fl 170,-/MWh/jaar.

Uit een nadere studie zou moeten blijken of bijvoorbeeld een scherm samen met schuimisolatie een nog geringere warmtegeleidingscoëfficiënt oplevert, waardoor nog minder warmte door geleiding verloren gaat. Een kosten-

batenanalyse zou dan moeten uitwijzen of een van bovenstaande methoden rendabel is.

# EVALUATIE WARMTEOPSLAG BEYUM

## 1 Algemeen

### 1.1 Inleiding

In opdracht van het bureau Projecten Energie Onderzoek (P.E.O.) van het Energie Onderzoek Centrum (E.C.N.) is onderzocht hoe met name zonnecollectoren te combineren zijn met een systeem van lange-termijnopslag voor warmte in de grond.

P.E.O. coördineert in opdracht van het ministerie van Economische Zaken (E.Z.), projecten die in het kader van het Nationale Onderzoekprogramma Zonneënergie worden uitgevoerd.

Dit project wordt gefinancierd door E.Z. en de E.E.G. via de commissie Directoraat Generaal XII: Research Science and Education, onder de naam "De eerste vier jaren van het programma van energie onderzoek en ontwikkeling".

Meewerkenden aan het project zijn:  
Projecten Energie Onderzoek (P.E.O.)  
Installatietechniek Bredero (I.T.B.)

Technisch Fysische Dienst TNO-TH

Grondmechanica Delft (G.D.)

Heidemij Adviesbureau

Kristinsson Architecten en Ingenieursbureau  
Sterk Heiwerken  
Philips Nederland  
Stichting Groninger Woningbouw Concordia

Opdrachtgever  
Hoofdaannemer en beheerder  
Systeemontwerp warmte-techniek  
Systeem ontwerp grond-techniek  
Ontwerp en directie grondtechnische werken  
Bouwkundig ontwerp Grondtechnische werken  
Vacuüm buiscollectoren  
Toekomstig eigenaar

Dit alles heeft geleid tot een aantal rapporten en vooronderzoeken, die hebben gediend als uitgangspunt van de evaluatie samen met de meetgegevens die tot begin 1987 zijn verzameld.

Het vooronderzoek heeft de locatie Beyum ten noord-oosten van de hoofdstad Groningen aangewezen als de meest geschikte plaats. Er is een zogenaamd gesloten systeem toegepast. Dat wil zeggen dat het water, dat middels zonnecollectoren is opgewarmd, via lussen door een grondpakket met een watervoerende laag wordt gevoerd. De opslag wordt daarbij nog opgedeeld in een lange termijnopslag, lussen, en een korte termijnopslag, tank in midden.

Het principe is dat zonnecollectoren straling in warmte omzetten. Die warmte wordt gebruikt om woningen en gebouwen alsmede tapwater te verwarmen.

Het voordeel van dit systeem is dat de opgevangen warmte niet meteen gebruikt hoeft te worden, maar in het opslagvat (de grond) bewaard kan worden tot er behoefte aan is. De korte termijnopslag is bedoeld voor de zomer en de lange termijnopslag voor de winter. Voor de lange termijnopslag geldt, dat de warmte opgevangen door de collectoren het grondwater opwarmt en zo maandenlang warm houdt. Een isolerende top-laag met teelaarde en planten moet voor weinig warmteverlies naar de buitenlucht zorgen.



Als in de zomer meer warmte wordt geproduceerd dan nodig is voor de verwarming van het tapwater dan wordt de warmte de grond ingevoerd en daar aan het grondwater afgegeven. Als 's winters meer warmte nodig is dan de collectoren kunnen leveren, wordt het tekort weer aan de grond onttrokken en via een buizensysteem de huizen ingevoerd. Voor het geval zon en opslagsysteem toch nog te weinig warmte zouden leveren is een gewone verwarmingsinstallatie aanwezig om de woningen en het tapwater alsnog op te warmen.

De verwachting is dat het systeem meer dan de helft van het gasverbruik zal uitsparen.

De zonnecollectoren zijn op 96 woningen van de stichting Groninger Woningbouw Concordia geplaatst. De installering van het centrale opslagsysteem heeft plaatsgevonden door Bredero Installatietechniek.

#### Evaluatie.

Uit metingen in Beyum blijkt dat er toch meer warmteverlies optreedt dan van te voren berekend.

De bedoeling van deze evaluatie is aan te geven waar deze verliezen optreden, de grootte aan te geven en hoe deze in de toekomst bij soortgelijke projecten te voorkomen zullen zijn.

Ter beschikking staan metingen van G.D., T.P.D. en Heidemij. Samen met G.D. zijn tevens nog enkele aanvullende metingen gedaan. Het betreft chloride en sulfaat metingen te Beyum op watermonsters ontleend aan verschillende peilbuizen. Daarvan zijn tevens de waterhoogten bepaald (01-09-'87).

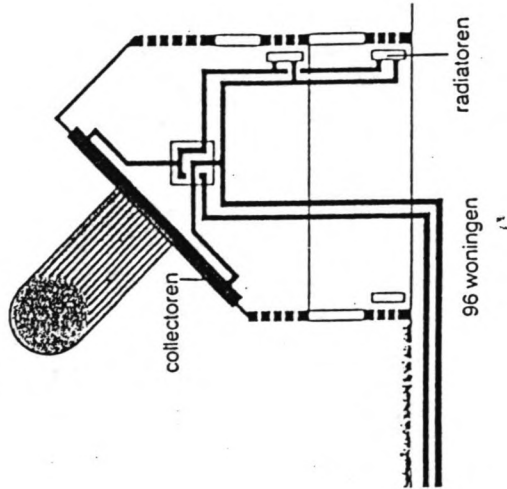
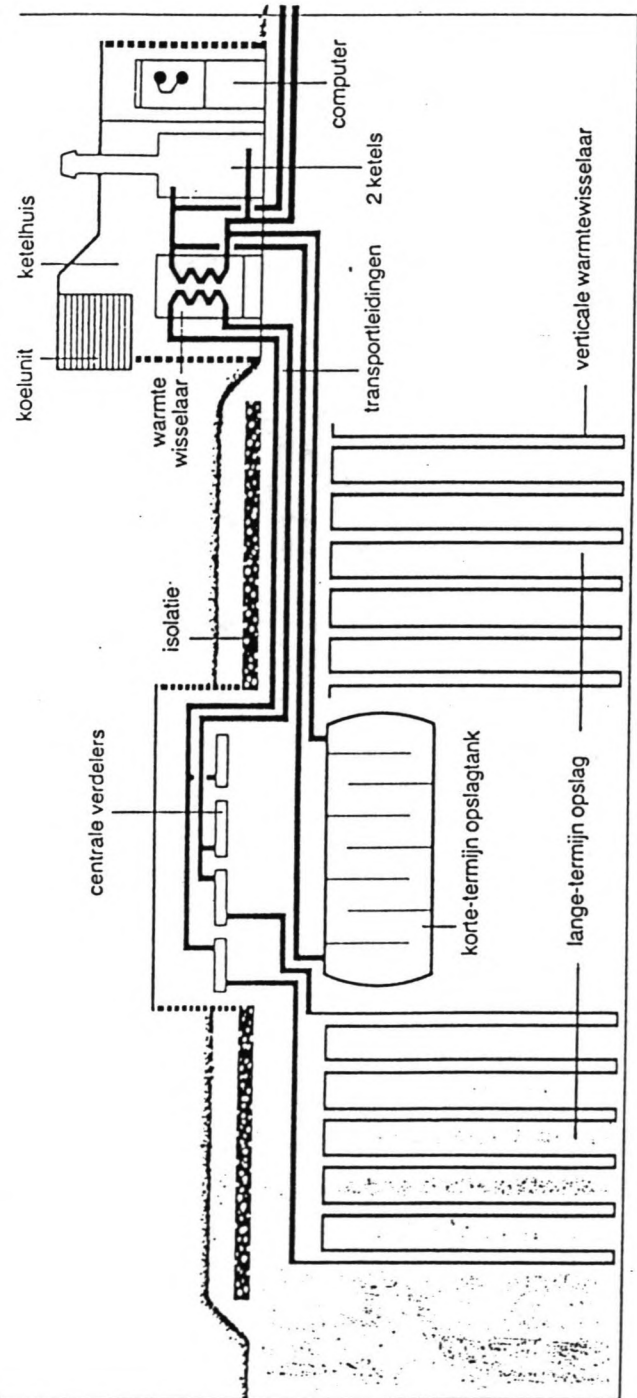
Met het dagelijks meten ter plaatse is 01-02-'87 gestopt. De meeste meters zijn daarna afgekoppeld, nog zo'n dertigtal zijn in werking en worden ongeveer eens per maand afgelezen.

### 1.2 Het opslagsysteem

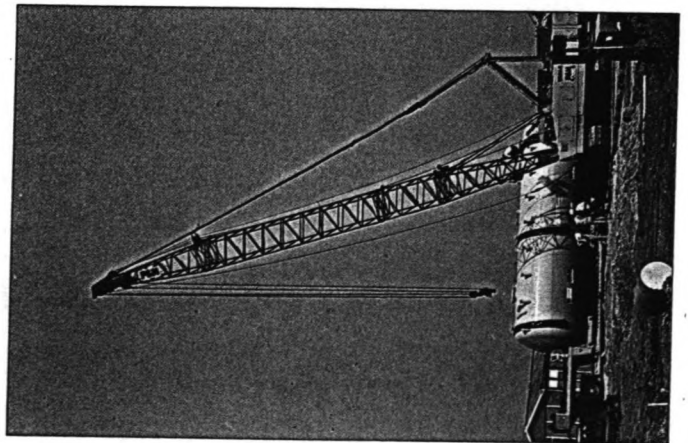
In de Groningse wijk Beyum zijn 96 woningen uitgerust met zonnecollectoren. Ze zijn aangesloten op een centraal warmte-opslagsysteem niet op een individueel opslagsysteem. De overtollige warmte wordt naar het centrale opslagsysteem afgevoerd. Hier wordt de warmte door de lange termijnopslag, de grond, en door de korte termijnopslag, een tank, opgenomen

#### 1.2.1 Korte Termijnopslag

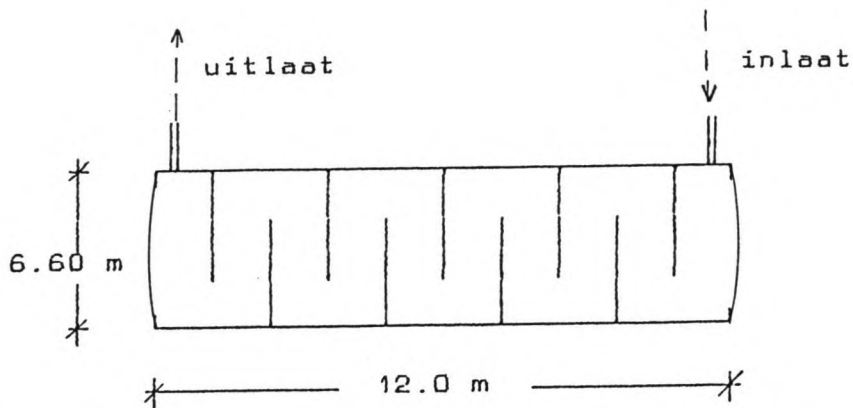
Het opslagsysteem is cilindervormig. In het midden is een geïsoleerde stalen tank ingegraven, die gevuld is met 100 m<sup>3</sup> water. De tank is voor de korte termijnopslag. De lengte is 12 meter en de diameter 6.6 meter. De tank moet met water gevuld blijven, als hij leeg is wordt hij door de opwaartse kracht van het water omhoog gedrukt. Zie figuur 1a. 's Zomers is de warmtetoevoer door het meer aantal uren zonneshijn en de hogere intensiteit, zo groot dat niet alle warmte direct aan de grond, lange termijn, kan worden afgedragen. Een deel van de warmte wordt dan tijdelijk in de tank opgeslagen en 's nachts alsnog aan de grond afgestaan. Omgekeerd kan de tank in de winter als buffer werken als de warmte aan de grond onttrokken wordt. Van de opslagtank lopen geïsoleerde leidingen naar het ketelhuis. Daar is de tank aangesloten aan de verwarmingssystemen van de woningen en via een roestvrijstalen stelsel aan het opslagsysteem in de bodem. Zie ook figuur 1b.



FIGUUR 1.6 schematische overzicht opslagsysteem.



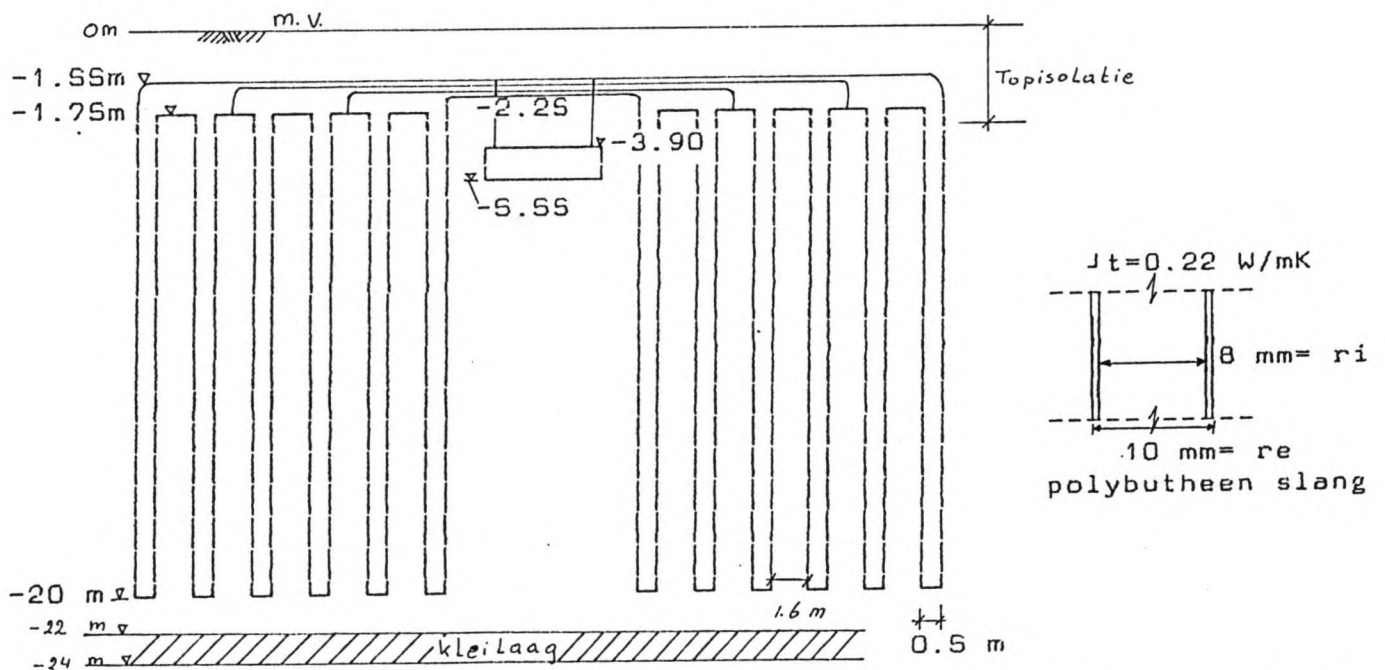
Plaatsing korte-termijn opslag



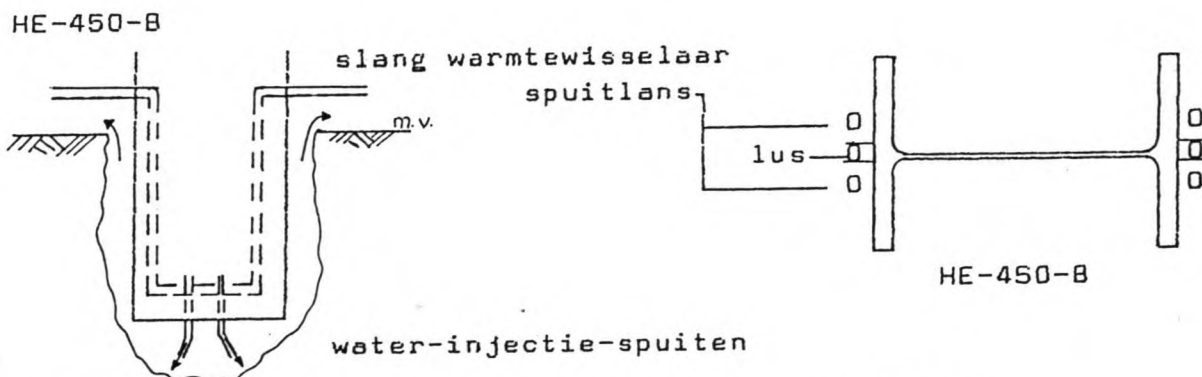
Figuur 1a. De tank is gecompartmenteerd om temperatuurstratificatie te voorkomen. Hij is opgebouwd uit 10 compartimenten.

### 1.2.2 Lange-Termijnopslag

De lange termijnopslag is een 20 meter dikke laag grond met een warmtewisselaar erin. Binnen een cirkel met een diameter van 38 m zijn in totaal 360 lussen aangebracht. Deze lussen, de warmtewisselaar, zijn gemaakt van kunststof leidingen met een inwendige diameter van 20 mm. Voor het inbrengen van de lussen is een soort heijinstallatie gebruikt die werkt als een grote naaimachine. Zie figuur 2a, b en c.



Figuur 2a. Ligging lussen in de grond. De afstand tussen de slangen is 0.5 m. De inwendige diameter van een slang is 8 mm en de uitwendige diameter 10 mm, met een warmtegeleidingscoëfficiënt  $\lambda_t = 0.22$ .



Figuur 2b. Principe van het inbrengen van de slangen.  
Zie ook figuur 2c.

Er is geen mantelbuis toegepast dat zou de grond te veel verstoren. Op het inbrengprofiel HE-450-B is hellingmeetapparatuur aangebracht om de scheefstand van de lussen te meten. Deze blijkt niet meer dan 30 cm op 20 m te bedragen, hetgeen acceptabel is. Het zal duidelijk zijn dat de grond door dit trill- sputstelsel nogal geroerd kan zijn.

De lussen zijn in radiale richting gekoppeld en in groepjes van 6 met de centrale verdelers (zie figuur 1) verbonden.

In het kort de plaatsing van de lussen:

1 Lus bestaat uit 2 slangen die aan de onderkant u vormig zijn verbonden. 6 Van deze lussen zijn serie geschakeld en vormen zo een loop. Deze loop begint in het centrum en eindigt aan de rand van de opslag. De loops zijn onderling parallel verbonden. Een loop bevat 6 lussen en samen zijn er 60 loops, dat zijn 360 lussen en dus 720 slangen.

De stromingsrichting in een loop is zo gekozen dat de hoogst mogelijke temperatuur in het centrum van de opslag optreedt. 's Zomers is de stromingsrichting in de warmtewisselaar van het centrum naar de buitenrand, er wordt warm water aangevoerd en in de winter is dat omgekeerd.

De loops kunnen geheel gebruikt worden om er warmte in te brengen of er uit te halen of ze kunnen in verschillende secties worden onderverdeeld zodat de lussen van een loop van een bepaalde sectie onafhankelijk van de andere lussen kunnen werken.

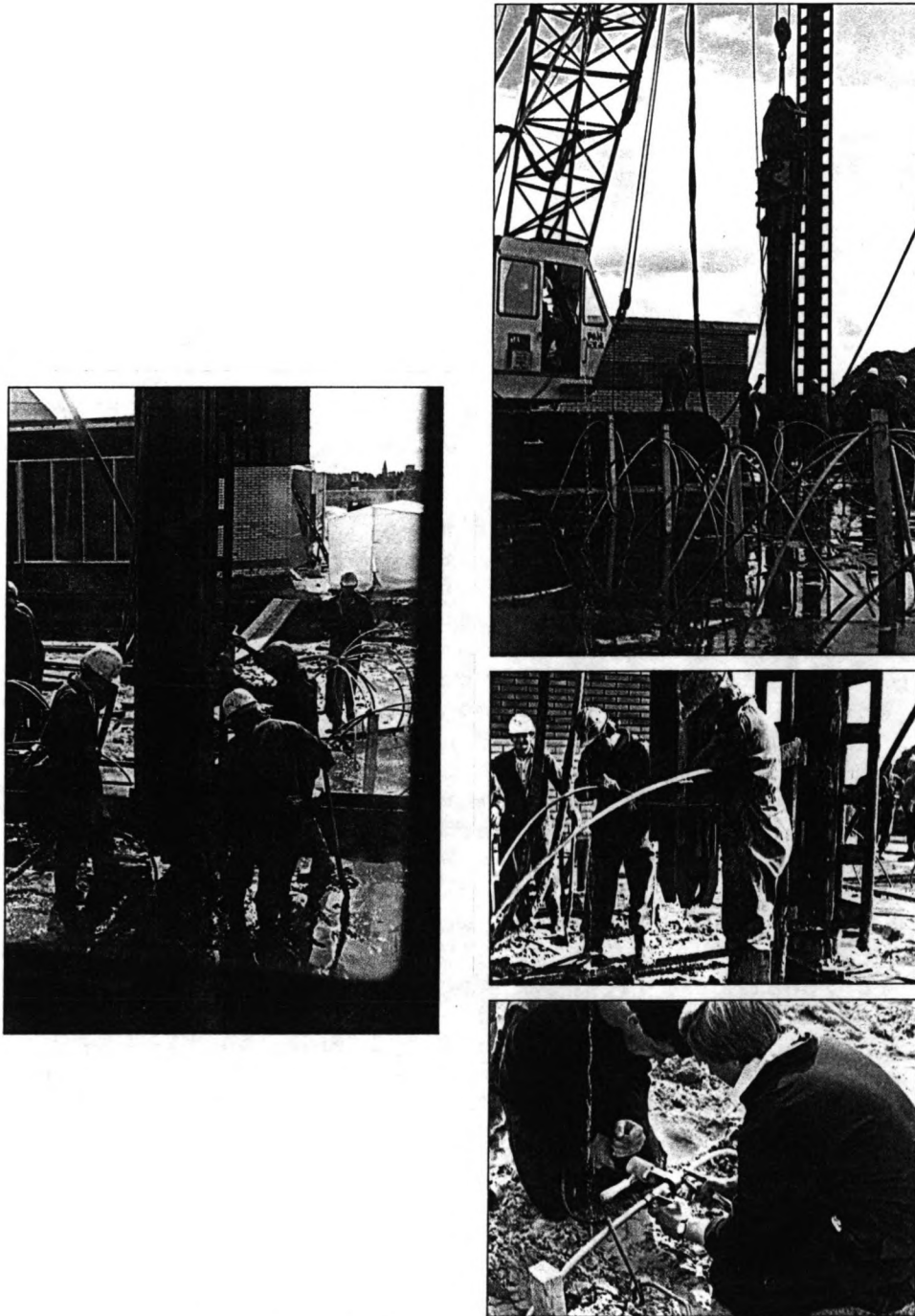
De opslag is onderverdeeld in verschillende secties om er een maximum aan warmte in de zomer in te kunnen houden en bij gebruik de warmte in de opslag tot een minimum te kunnen terug brengen. Tot een minimum terug brengen van de warmte in de warmteopslag is gunstig omdat dan zo veel mogelijk warmte uit de opslag gehaald wordt of met andere woorden er dan zo min mogelijk warmte achterblijft in de grond.

Ter beperking van warmteverliezen is de bovenkant geïsoleerd. Er is geen isolatie rondom in verticale richting. Uit onderzoek is gebleken dat dit met het oog op besparen van warmteverlies te duur zou zijn. Er is van uit gegaan dat de bodem zelf voldoende als isolator werkt.

De stroomsnelheid van het grondwater was laag, zodat de warmteverliezen door stroming niet noemenswaardig werden verondersteld.

Op grond van doorlatendheidsmetingen is aangenomen dat de warmtever-

liezen door vrije convectie niet groot zullen zijn.



*Van boven naar beneden: Intrillen van de lussen van de verticale warmtewisselaar. Aanbrengen van een lus om de kop van het intrilapparaat. Het lassen van de kunststof leidingen.*

*Figuur 2.C*



### 1.3 Het Verwarmingssysteem

#### 1.3.1 Het Ketelhuis

Het ketelhuis heeft een centrale positie in het hele verwarmingssysteem. De leidingen die het lange termijn- en het korte termijn opslagsysteem en de woningen met elkaar verbinden komen hier samen. In de zomer wordt, als er voldoende zoninstraling is, het verwarmde water van de collectoren naar het opslagsysteem geleid. In het stookseizoen, koude periode, wordt het warme water via de warmwaterketels in het ketelhuis naar de woningen teruggevoerd.

Indien nodig wordt het water met behulp van de ketels op het gewenste temperatuurniveau gebracht.

De ketels hebben voldoende capaciteit om in een strenge winter alle woningen tegelijk te verwarmen, ook zonder gebruik te maken van de ingevangen warmte.

#### 1.3.2 Het Collectorsysteem

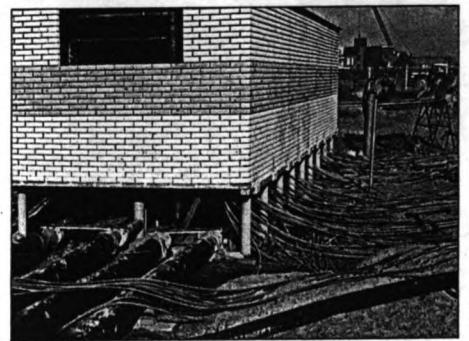
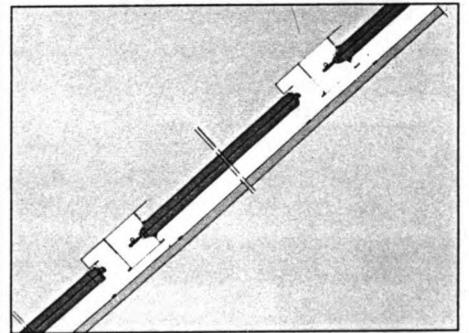
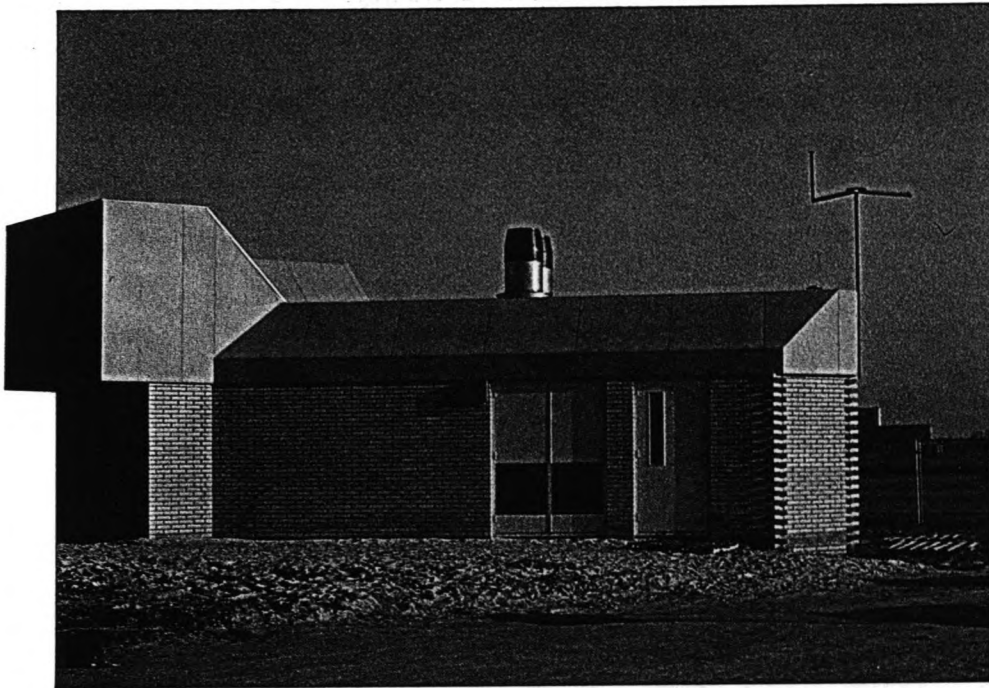
Het opslagsysteem staat via het ketelhuis in verbinding met bijna 2500 m<sup>2</sup> collectoroppervlak, verdeeld over 96 eensgezinswoningen. Het betreft hier hoge prestatie collectoren die uit rijen vacuüm buizen zijn samengesteld, waarmee water door de zon wordt verwarmd. Zie figuur 3.

De opgenomen warmte wordt via warmtewisselaars afgegeven aan de transportleidingen die van de woningen naar het ketelhuis lopen.

#### 1.3.3 De Woningen

De woningen zijn uitgerust met collectoren die een groot verwarmend oppervlak hebben aangepast aan een aanvoertemperatuur van 42.5 °C. Het aanvoerwater is direkt van het ketelhuis afkomstig. De woningen hebben geen eigen centrale verwarmingsketel voor ruimteverwarming. Het retourwater loopt via de warmtewisselaar van de collectorsystemen en kan dus onderweg eventueel ingevangen zonnewarmte opnemen. In de zomer kunnen de radiatoren buiten het circuit worden gehouden. Verwarming is dan niet nodig.

Voor het verwarmen van tapwater wordt gebruik gemaakt van een warmtewisselaar tussen het koude tapwater en de leidingen van het ketelhuis. Indien nodig wordt het water verder met behulp van een geiser op temperatuur gebracht.

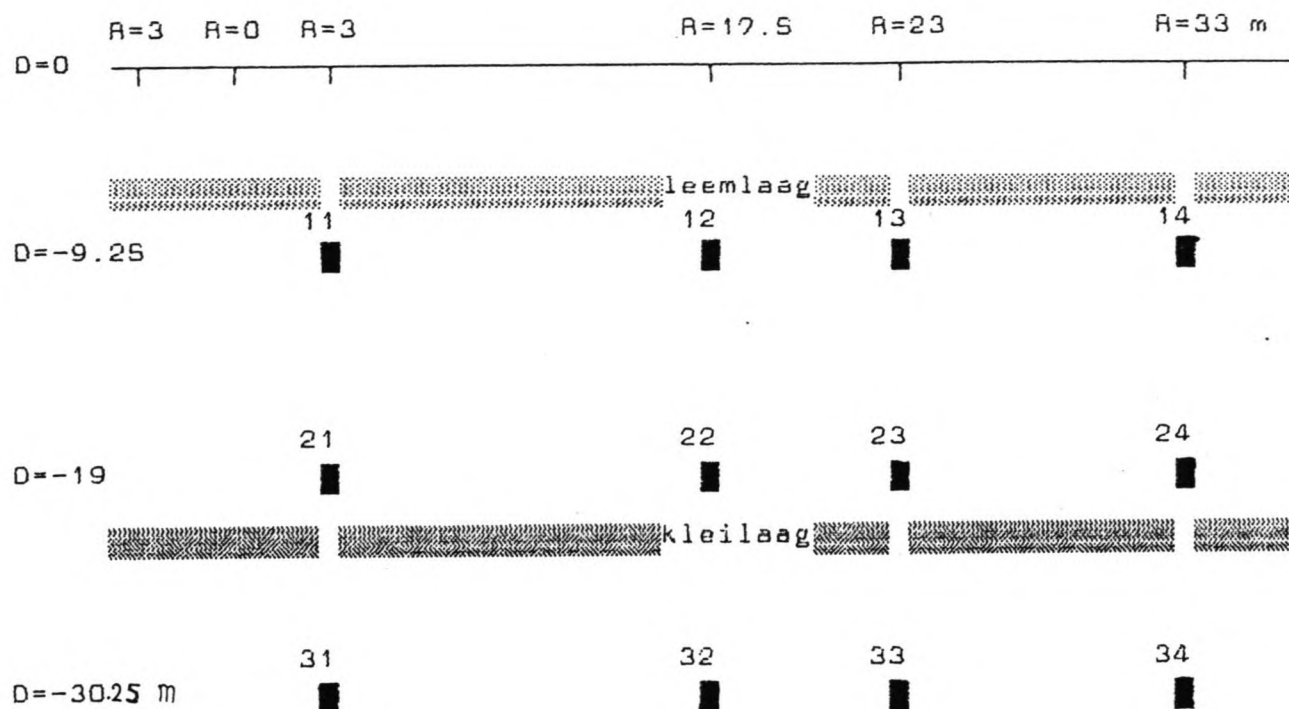


*Uiterst links: Het ketelhuis.  
Van boven naar beneden: Aanbrengen van vacuüm-buiscollectoren; Dwarsdoorsnede van het collector-dak, Centrale computer voor besturing van het systeem en registratie van meetgegevens. Centrale verdeeler (thans grotendeels ondergronds) met op de voorgrond leidingen naar het ketelhuis en rechts aansluiting op de verticale warmtewisselaar.*

*Figuur 3.*

#### 1.4 Onderzoek

In het opslaggebied zijn zo'n 240 temperatuurmeters geplaatst, zie schema 1, 12 waterspanningsmeters in evenzoveel filterbuizen, met op een diepte van -9.25, -19 en -30.25 m N.A.P. de filters, in raai A.



Figuur 4. Plaats waar peilbuizen in raai A zijn aangebracht.  
De peilbuizen zijn genummerd van 11 t/m 34.

In raai B zijn op 3 plaatsen peilbuizen geplaatst om naast de waterstand ook chloride- en sulfaatgehalte te bepalen op een diepte van -11 m maaiveld. Zie figuur 5.

Via deze chloride- en sulfaatgehaltenes kan iets gezegd worden over de mate van afsluiting van de kleilaag die het opslaggebied aan de onderkant begrenst en van de waterdichtheid van de aan de bovenkant gelegen afdeklaag.

Er mag namelijk van uitgegaan worden dat het water onder de afsluitende kleilaag meer zout bevat dan de opslag zelf.

Wat het sulfaatgehalte betreft kan verwacht worden dat dit hoger is daar waar meer klei, humus, argex aanwezig is. Bij eventuele lek zal het water op die plaats ook zoeter zijn.

In het kader van de evaluatie zijn nog extra chloride- en sulfaatgehalte bepalingen gedaan in raai A om te zien of er enig verband bestaat met die in raai B en of er eventuele lekkages zijn in voornoemde lagen.

Met behulp van de meetresultaten kunnen berekeningen worden gemaakt voor onder andere isolatie waarde toplaag, stromingssnelheid water onder en in de opslag, temperatuurverspreiding en aan de hand daarvan een rendement worden voorspeld en eventuele verbeteringen voor soortgelijke projecten in de toekomst worden gemaakt.





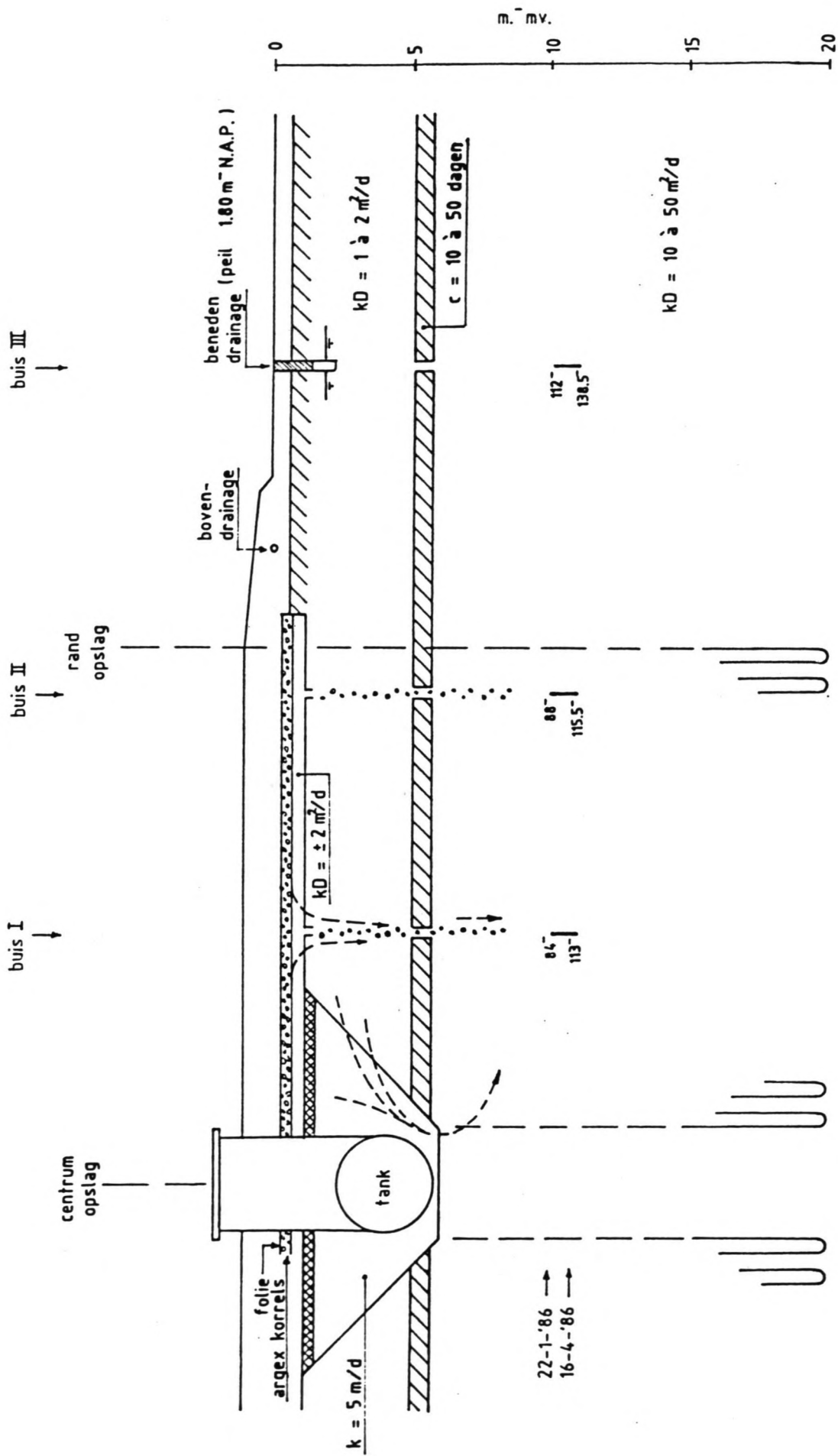


Figure 5

RAAI B

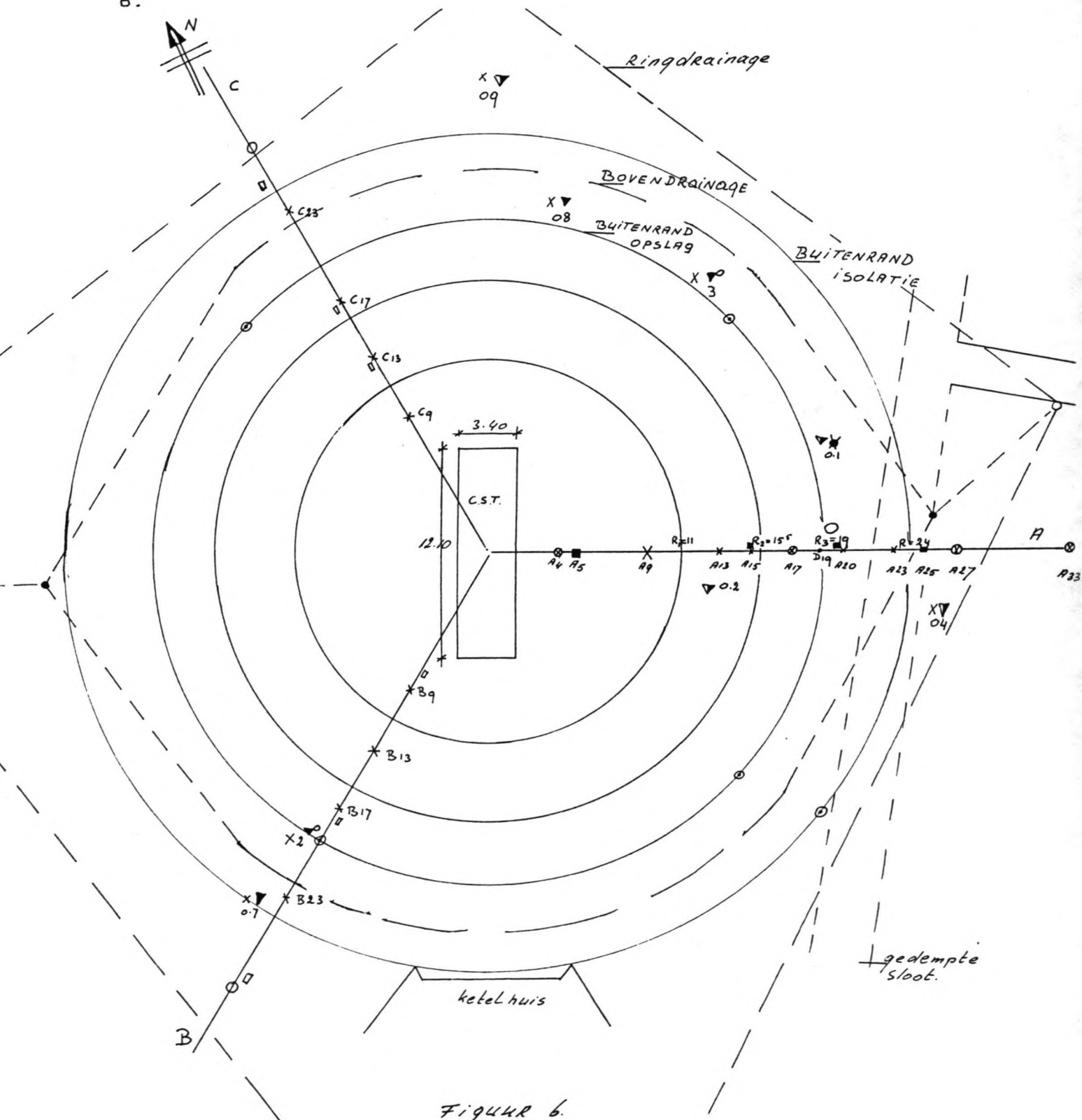
#### 1.4 Resumé Technische Gegevens

|                                    |       |                |
|------------------------------------|-------|----------------|
| Inhoud korte termijnsopslag        | 100   | m <sup>3</sup> |
| Grondvolume lange termijnsopslag   | 23000 | m <sup>3</sup> |
| Maximale temperatuur opslag        | 60    | °C             |
| Verwachte opslagrendement          | 68    | %              |
| Opgesteld ketelvermogen            | 850   | kW             |
| Aantal aangesloten woningen        | 96    |                |
| Collectoroppervlak per woning      | 25    | m <sup>2</sup> |
| Maximale warmtebehoefte per woning | 6     | kW             |
| Warmtebehoefte per woning per jaar | 12000 | kWh            |
| Bijdrage zonneverwarmingssysteem   | >50   | %              |

## 2 Grondopbouw

### 2.1 Gebruikte Methoden

Om een goed beeld te krijgen van de grondopbouw ter plaatse zijn een aantal zware sonderingen, 9 stuks, een Begeman-boring van 66 mm, drie elektrische dichtheidsmetingen, een Ackermann-boring en nog 6 handboringen tot een diepte van -1.5 m maaiveld uitgevoerd. Voor een overzichtstekening van de boringen en meetpunten zie figuur 6.

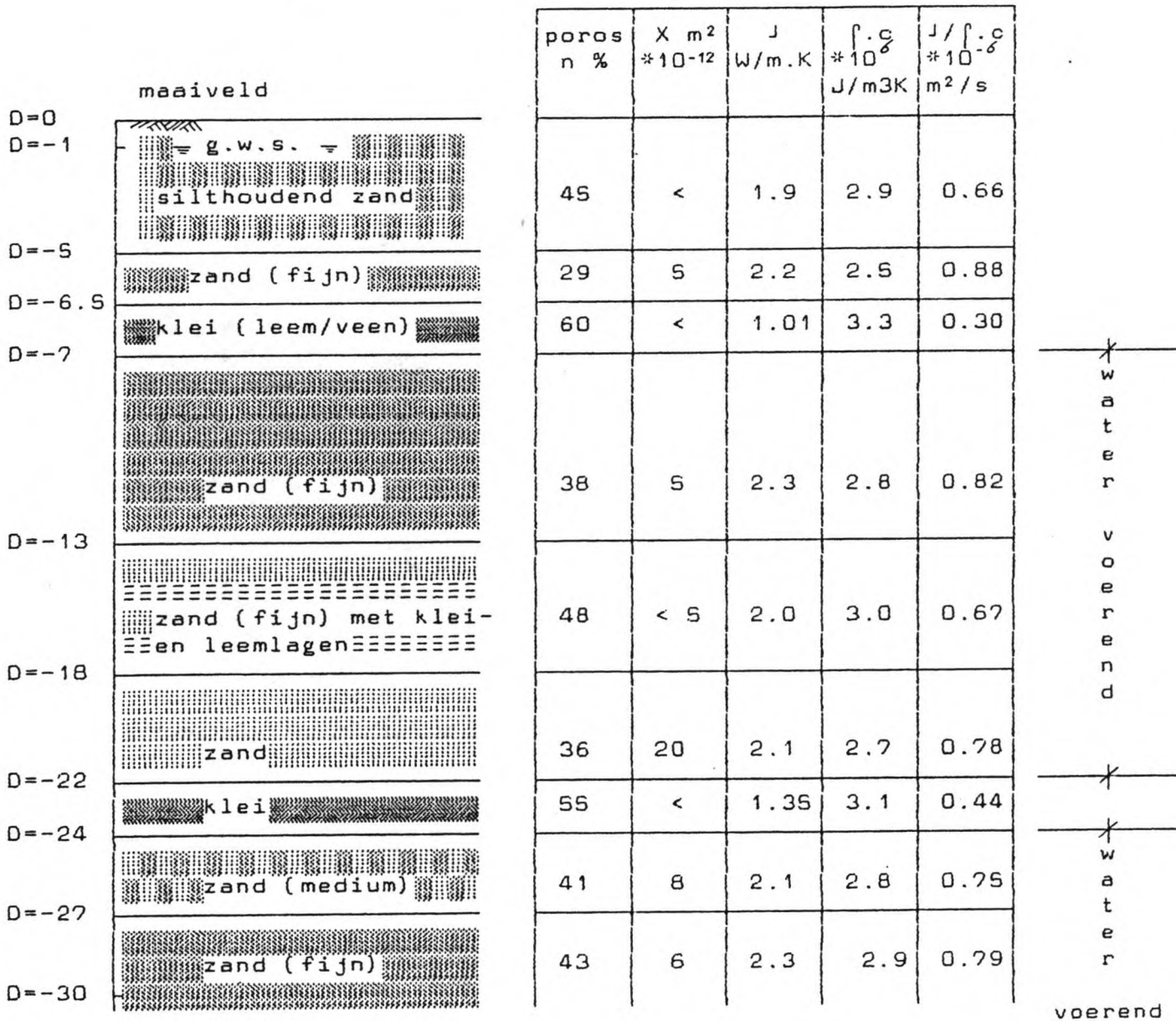


Figuur 6.

Figuur 6. o Baken om verticale verplaatsing te meten

- o Peilbuis
- \* Temperatuurlans
- ⊙ Verticale bakens om horizontale verplaatsingen te meten
- Temperatuurlans en 3 drukdozen
- ⊗ Temperatuurlans met waterspanningsmeters
- Warmtestroommeters
- ▽ Extra zware sondering 220 KN
- ✕ Begemann-boring 66 mm
- ▽ Electriche dichtheidsboring
- Ackermann-boring

Uit het voorgaande blijkt dat de grondopbouw er ongeveer als volgt uit moet zien, zie figuur 7 en tabel 1.



Figuur 7 en tabel 1. X intrinsieke doorlatendheid  
J thermische geleidingscoëfficiënt

$\int \cdot c$  specifieke warmtegeleidings coëff.  
 $\int / \int \cdot c = \alpha$  temperatuur vereffeningscoëff.

### 2.1.1 Algemene Uitgangspunten

- 1 Grond met waterverzadigd zand met enkele dikke lagen klei en enkele dunne lagen leem.
- 2 Gemiddelde warmtecapaciteit  $\rho \cdot c = 2.7 \text{ MJ/m}^3\text{K}$ .
- 3 Thermische geleiding  $\lambda = 1.5 - 2.2 \text{ W/mK}$ .
- 4 Intrinsieke doorlatendheid  $X = 5$  tot  $20 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$  met ertussen on-doorlatende lagen.
- 5  $dh/dx$  Maximaal  $1 \text{ m/km} = 1/1000$

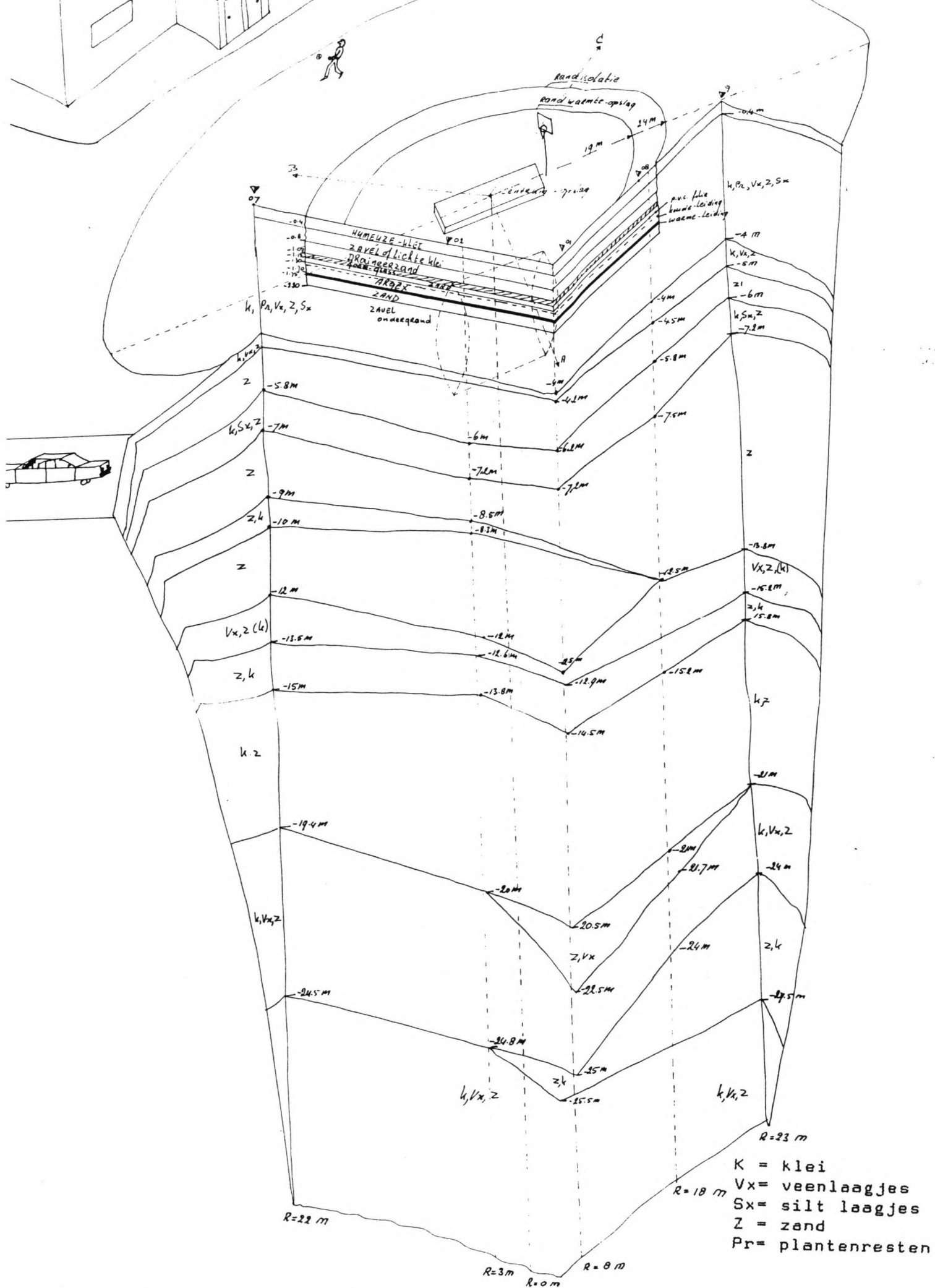
Deze uitgangspunten zijn gehaald uit voorgaande metingen. Met deze getallen zijn ook alle voorgaande modellen doorgerekend.

- 6 Met het model Lights is bepaald dat de totale warmtecapaciteit van de opslag  $60000 \text{ MJ/K}$  zal bedragen.
- 7 Warmteuitwisseling van de warmtewisselaar met de bodem, lussen en tank, is geschat op  $75 \text{ kW/K}$ .
- 8 Er zij nog opgemerkt dat bij een stijgende temperatuur de doorlatendheid  $X \text{ m}^2$  ook iets toe zal nemen en dat na afkoelen en weer verwarmen de  $X$  nog wat groter zal worden. In de modellen is hier geen rekening mee gehouden. De aangehouden  $X$  waarde voor de intrinsieke doorlatendheid  $X = 5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$ .

### 2.1.2 Commentaar Op Algemene Uitgangspunten

- 1 De laagopbouw van de grond is door middel van de sonderingen en grondboringen geïnterpreteerd. Het resultaat is te zien in figuur 8. Hieruit blijkt dat de grondopbouw sterk geschematiseerd is aangenomen. Er dient dan ook de nodige voorzichtigheid betracht te worden bij het gebruik van de grondgegevens vermeldt onder de uitgangspunten.  
Uit figuur 8 volgt dat de kleilaag in de B-C richting dikker is dan in de A-B richting. De laag bevat in de A-B raai een zwakkere plek met zand en veenlezen, wat de doorlatendheid betreft. Toch is de kleilaag overal dikker dan volgens figuur 7 en tabel 1.  
Hierbij wordt wel opgemerkt dat er een nog fijnere verdeling volgens de sonderingen en boringen gemaakt kan worden. Omdat het de duidelijkheid niet ten goede komt en soms lagen zo maar ophouden, omdat er te weinig sonderingen zijn tussen bepaalde stralen, is alleen voor die indeling gekozen waarover "zekerheid" bestaat.  
De leemlaag verloopt hier tussen de  $-6$  en  $-7.2 \text{ m}$ .  
Het watervoerende pakket zit tussen de  $-7.2$  en  $-20 \text{ m}$ , als de leemlaag door de vele meters die er doorheen geprikt zijn nog waterdicht te noemen is.  
De afsluitende kleilaag ligt tussen de  $-20$  en  $-24.5 \text{ m}$ .  
Uit bovenstaande volgt dat er enige voorzichtigheid geboden is om de grond (zo schematisch) in te delen volgens figuur 7 en tabel 1.  
Volgens de sonderingen kan de kleilaag soms tot  $1 \text{ m}$  dun worden. Ook nog steeds voldoende maar er zijn toch veel gaten geprikt door boringen en peilbuizen met meters. Dit blijkt niet uit figuur 8, daar is de kleilaag dikker aangegeven. De laag stopt, volgens de sonderingen, plotseling in A-B richting op circa  $4-5 \text{ m}$  uit het centrum. Om hier zekerheid over te krijgen zijn meer sonderingen en of boringen vereist. Zie bijlage 0, sonderingen.





Figuur 8. Grondopbouw volgens sonderingen en grondboringen. 27  
 gebruikte symbolen, zie ook bijlage 0 sonderingen:

2 De gemiddelde warmtecapaciteit  $\rho \cdot c$  MJ/m<sup>3</sup>.K.

Volgens de definitie is dit de hoeveelheid warmte die nodig is om 1 m<sup>3</sup> materie 1 K in temperatuur te doen stijgen. Deze wordt weergegeven met  $\rho \cdot c$ .

$\rho \cdot c$  = Warmtecapaciteit

$\rho$  = Dichtheid van een materiaal kg/m<sup>3</sup>

c = Soortelijke warmte van een materiaal = de warmte nodig om 1 kg materiaal 1 K op te warmen in J/kg.K

Om de warmtecapaciteit te interpreteren moeten  $\rho$  en c bekend zijn. Deze zouden uit proeven bepaald kunnen worden.

Er wordt van de opgegeven waarden uitgegaan.

Zie voor waarden gemiddelde warmtecapaciteit tabel 1.

3 Thermische geleiding J W/m.K.

Deze is onafhankelijk van de afmetingen van het materiaal maar wel afhankelijk van a. de temperatuur

b. de dichtheid

c. het vochtgehalte

a. Normaal ligt de gemiddelde warmtegeleidingscoëfficiënt J tussen een temperatuur traject van 273-343 K = 0-70 °C. Hiertussen is de verandering van de warmtegeleidingscoëfficiënt ten gevolge van de temperatuur verwaarloosbaar.

b. Een zwaar materiaal geleidt de warmte beter dan een licht materiaal. Een poreus materiaal isoleert beter ten gevolge van de luchtinsluiting. Gassen hebben een kleinere J circa 0.02.

c. De grootte van J hangt voor een materiaal sterk af van het vochtgehalte. Immers J(water) = 0.50 en dat is 25\* groter dan die van lucht. Poreuze materialen kunnen veel water opnemen waarbij de lucht door het water wordt verdrongen.

Voor de praktijk kan J(vochtig) globaal bepaald worden uit:

$$J(\text{vochtig}) = J(\text{droog}) * (1 + 1/3 * v)$$

waarin v = volume percentage vocht.

Droge stilstaande lucht is de beste isolator met een J = 0.023, wat geleiding betreft.

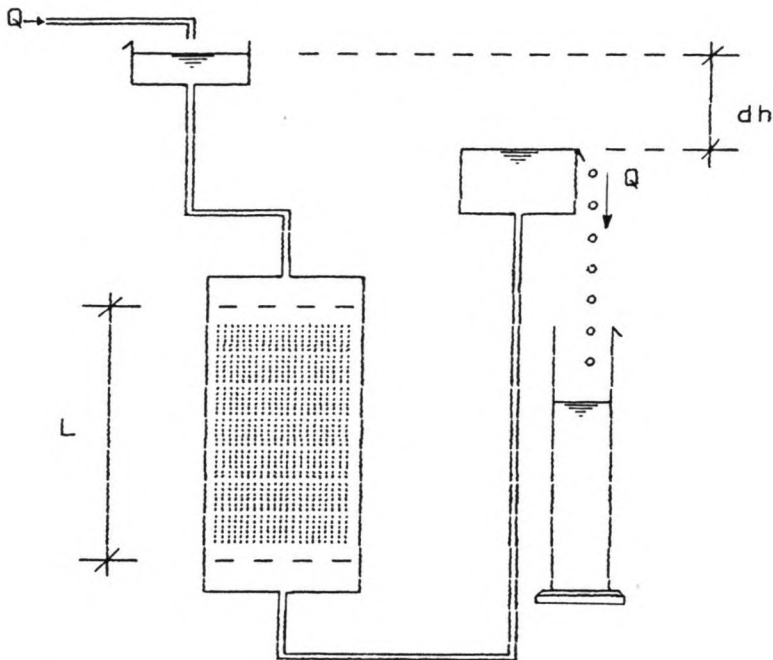
Zoals uit het voorgaande blijkt is J een materiaal-"constante" behorende bij bepaalde omstandigheden. Om een goed inzicht te krijgen zullen  $\rho$ , c en vochtgehalte nader onderzocht moeten worden voor de nu heersende omstandigheden.

Voor een eerste inschatting is van de oorspronkelijk opgegeven waarden uitgegaan.

4 De intrinsieke doorlatendheid X m<sup>2</sup>.

De doorlatendheid k of hydraulische m/s geleidbaarheid wordt in het laboratorium gemeten volgens Darcy. Voor de opstelling zie figuur 9.





Figuur 9. Met een soortgelijk apparaat heeft Darcy de doorlatendheid  $k$  m/s gemeten uit:

$$Q = k \cdot A \cdot (h_1 - h_2) / L \quad \text{m}^3/\text{s}, \text{ waarin}$$

$$h_1 - h_2 = dh \quad \text{m, meten}$$

$$A = \quad \text{m}^2, \text{ oppervlakte van de buis waarin zich de grond bevindt}$$

$$L = \quad \text{m, lengte van die buis}$$

$$Q \quad \text{gedoseerd toevoegen.}$$

Volgens Darcy geldt:

$$q(x) = -k(x) \, dh/dx \quad \text{m/s}$$

$$q(y) = -k(y) \, dh/dy \quad \text{m/s}$$

$$q(z) = -k(z) \, dh/dz \quad \text{m/s}$$

$$h = z + P / \rho \cdot g \quad \text{m}$$

$q(x), q(y), q(z)$  zijn het specifieke debiet in die richtingen of wel de volumestroomdichtheid in  $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}^2 = \text{m/s}$ . De gemiddelde snelheid van het grondwater of wel

$v(\text{porie}) = q/n \quad \text{m/s}$  met  $n =$  volume percentage holle ruimte in de grond.

$h =$  drukhoogte m

$z =$  plaatshoogte m

$P =$  druk  $\text{N}/\text{m}^2$

$\rho =$  dichtheid  $\text{kg}/\text{m}^3$

$g =$  versnelling van de zwaartekracht  $= 9.81 \text{ m/s}^2$

$k = X \cdot \Gamma(\text{water}) / \mu \quad \text{m/s}$

De doorlatendheid  $k$  hangt af van:

.De vloeistof. Voor een taai vloeistof is de weerstand tegen stroming groter. Dit wordt in de definitie van  $k$  naar voren gebracht door  $\mu$ , de dynamische viscositeit van de vloeistof.

Wanneer de vloeistof warmer wordt neemt de dichtheid  $\rho$  af.

De  $\rho$  zit twee maal in de formule van  $k$ , namelijk:

$$\Gamma(\text{water}) = \rho(\text{water}) \cdot g \quad \text{N}/\text{m}^3 \text{ en}$$

$$\mu = \rho(\text{water}) \cdot \nu \quad \text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2 \quad \text{waarin } \nu = \text{kinematische viscositeit } \text{m}^2/\text{s} \text{ eveneens temperatuur afhankelijk.}$$

Voor de correctiefactor van  $f(\text{water})$  bij een bepaalde temperatuur wordt aangehouden:

$$f(\text{water}) = 1002.3 - 0.132 * \text{temp.} - 1.3 * 10^{-3} * \text{temp.}^2$$

X is alleen afhankelijk van de geometrie van het korrelskelet. Hiervoor wordt wel de zogenaamde formule van de Kozeny-Carman gebruikt:

$$X = c * d^2 * n^3 / (1-n)^2$$

waarin  $d$  = korreldiameter m  
 $c$  = constante die afhangt van de warrigheid van de poriën  
 $n$  = poriëngehalte

De formule van X is niet van veel waarde voor de bepaling van k omdat deze veel eenvoudiger uit de proefopstelling volgens figuur 9 bepaald kan worden. Wel blijkt een duidelijk verband tussen de korreldiameter, porositeit en doorlatendheid. Het verschil in korreldiameter tussen zand en klei bedraagt zo'n factor 1000 en leidt tot een factor  $10^6$  in doorlatendheid.

De grond is door het inbrengen van de slanglussen geroerd. De verticale doorlatendheid zal op sommige plaatsen zijn toegenomen door de slanggaten en op andere plaatsen zijn verdicht door het intrillen van de lussen.

Om de verandering van de k-waarde ten gevolge van het voorgaande te controleren zouden aanvullende laboratoriumproeven verricht kunnen worden. Voorlopig wordt weer van de opgegeven X uitgegaan.

Voor een niet constante  $f$  moet voor de Darcy-snelheden worden aangehouden:

$$q(x) = -(X/\mu)(dP/dx)$$

$$q(y) = -(X/\mu)(dP/dy)$$

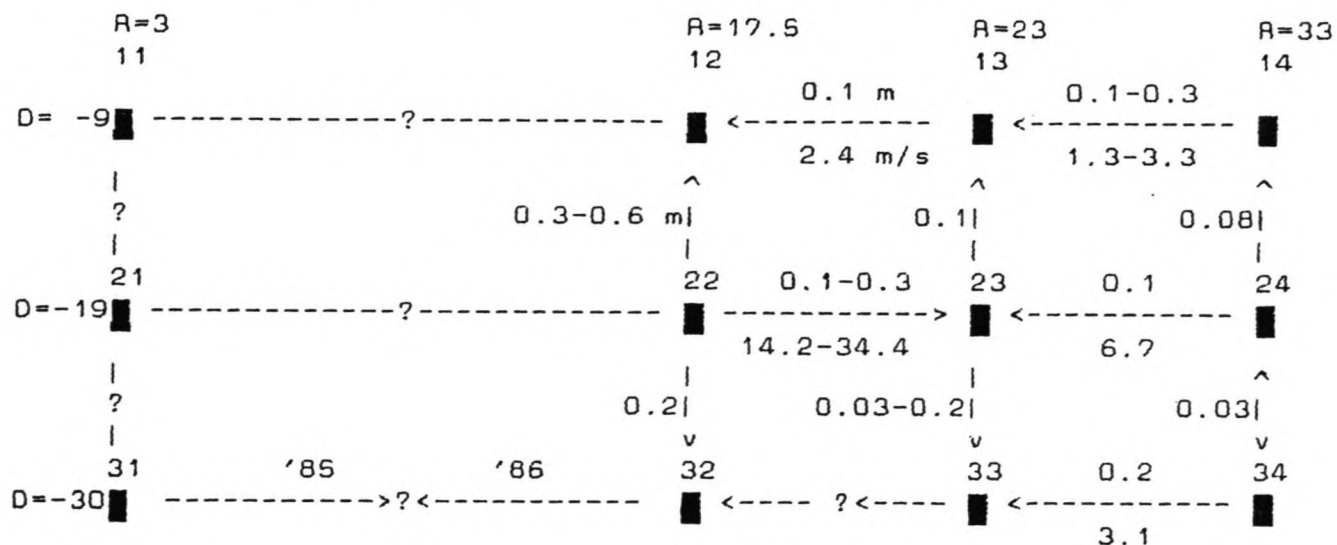
$$q(z) = -(X/\mu)(dP/dz + f(\text{water}) * g)$$

S  $dh/dx$  Maximaal is bijvoorbeeld gesteld op 1m/km.

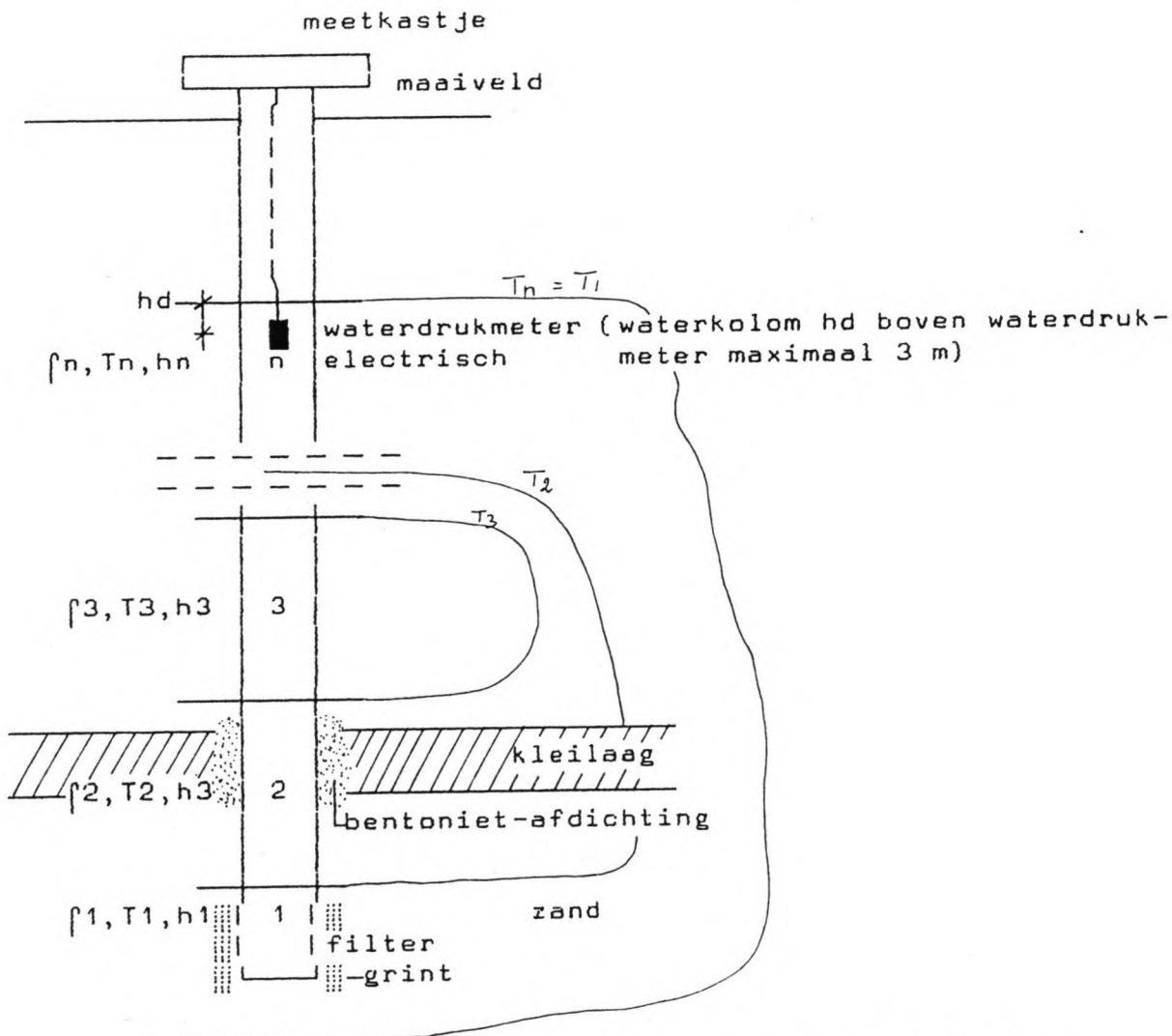
In raai A zijn waterspanningsmetingen verricht met elektrische drukopnemers.

Voor de gemeten waarden van  $dh$  m en horizontale snelheden over de periode april '85/november '86 zie figuur 11.

De drukverschilrichtingen zijn met een pijl aangegeven. De pijl gaat van een punt met hoge druk naar een punt met lage druk.



figuur 10. De waterspanningsmeters zijn genummerd van 11 t/m 14, van 21 t/m 24 en van 31 t/m 34.  
 Het waterstandsverschil is aangegeven in meters waterkolom en de poriesnelheid in  $v(\text{porie}) \cdot 10^{** -6}$  m/s.  
 De metingen zijn gedaan over de periode '85/'86 in raai A.  
 Niet alle waarden zijn afgedrukt omdat enkele metingen grote schommelingen vertonen, vooral bij het warme centrum.  
 De meetresultaten zijn daar onbetrouwbaar.



Figuur 11. Principe van de waterspannings meters en peilbuizen.  
 Door de verschillende temperatuurlagen zijn er verschillende dichtheden  $\rho$ . Gemeten wordt de waterstand  $hd$  boven de waterdrukmeter. Om de druk ten opzichte van het filter te weten moet voor de verschillende temperatuurlagen de druk geïntegreerd worden.  
 De afdichting tussen peilbuis en kleilaag dient goed te zijn omdat daar de kans op een lek groot is.  
 Voordat het filter wordt geplaatst wordt een mantelbuis met een inwendige diameter van 201.4 mm de grond in getrild en gespoten. Na schoonspuiten van de buis worden de filters aangebracht. Belangrijk is dat de filters afzonderlijk worden geplaatst.

De waterspanningsmeters hongen in peilbuizen, zie figuur 11, en deze zijn per drietal in een koker geplaatst. De peilbuizen hebben een filter op respectievelijk -9.25, -19.0 en -30.25 meter N.A.P. In figuur 10 zijn deze aangegeven als -9, -19 en -30 meter N.A.P. Om lekkage te voorkomen zijn de peilbuizen daar waar ze een kleilaag passeren aan de buitenkant zo goed mogelijk met bentoniet afgesloten.

De waterspanningsmeters meten de druk  $P$ , die ontstaat door de kolom water met hoogte  $h_d$ , die boven de meter staat. Deze hoogte  $h_d$  is afhankelijk van de dichtheid  $\rho_d$ , die mede afhankelijk is van de temperatuur. Omdat waterspanningsmeter, filter en peilbuizen zijn ingemeten zijn alle hoogten bekend en kan daaruit ook de spanning bepaald worden onder de meters tot aan het filter.

Wel moet nog rekening worden gehouden met de verschillende temperatuurprofielen omdat deze telkens een andere  $\rho$  opleveren en daardoor een andere  $P$ .

De druk die bij het filter ontstaat wordt dus zo over de hoogte geïntegreerd voor de verschillende temperatuurtrajecten.

De filters komen in deze mantelbuis boven elkaar, ze bevinden zich immers op -9.25, -19 en -30.25 m.

Er wordt als volgt te werk gegaan:

Eerst wordt 2 m filtergrint aangebracht tussen mantelbuis en filterbuis. Daarboven komt een afsluitende laag klei en fijn zand. Dan 3.5 m bentoniet. Hierboven een laag fijn zand, waarna de buis getrokken kan worden tot boven de eerste bentoniet laag. Het geheel herhaalt zich tot boven. Er komen dus drie filterbuizen in een mantelbuis. De mantelbuis wordt geheel verwijderd.

$P = g \cdot \sum \rho_i \cdot h_i$  N/m<sup>2</sup> met:  $g$  = versnelling van de zwaartekracht  
 $\rho_i$  = dichtheid van element  $i$  met bepaalde temperatuur  $T_i$ °C  
 $h_i$  = hoogte van element  $i$ , met temperatuur  $T_i$

Om meters waterkolom te verkrijgen wordt de druk  $P$  gedeeld door  $\rho \cdot g$ .  
 Neem voor  $\rho = 1000$  en voor  $g = 10$ .

$P_{mwk} = P / (\rho \cdot g)$  waarin  $P_{mwk}$  de druk in meters waterkolom is.

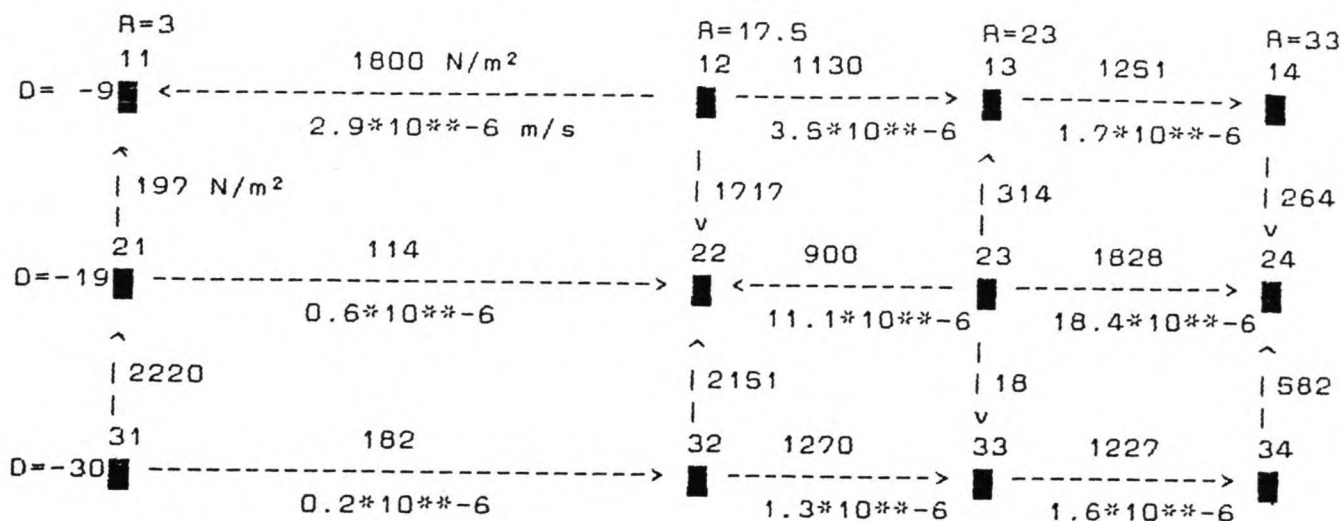
Om de waterspanningen horizontaal zowel als verticaal met elkaar te kunnen vergelijken wordt een referentiepeil gekozen, in dit geval op -3.75 m N.A.P.

Voor grafieken met drukverschillen en waterstanden zie bijlage 1 en 2. Gecorrigeerd houdt in naar temperatuur, dus  $\rho$ , per element aanpassen. Er wordt dus niet van één temperatuur en één  $\rho$  uitgegaan. Voor poriesnelheden en drukverschillen zie de figuren 10 en 13. De waarden van figuur 13 gelden voor dag 01-09-'87. Er zijn op die dag naast waterstanden ook chloride- en sulfaatmetingen gedaan in raai A, bij voornoemde peilbuizen.

$v(\text{porie}) = q(\text{darcy}) / n$   
 $q..(\text{darcy}) = (X/\mu)(dh/d..)$  voor .. in te vullen  $x, y, z$   
 $h = z + P / \rho \cdot g$

De laatste bijgewerkte drukverschillen, horizontale poriesnelheden en richtingen waarin de drukverschillen optreden zijn aangegeven in

figuur 13. De peilrichting geeft aan dat de druk loopt van hoog naar laag.



Figuur 13. Horizontale poriesnelheden v(porie) m/s en drukverschillen N/m². Gemeten in raai A op 01-09-1987.

Het water blijkt van 4 kanten naar punt 22 toe te stromen. Dat kan niet. Het omgekeerde geldt voor punt 23. Om meer zekerheid over die stromingsrichtingen te krijgen zouden in de buurt van punt 22 en 23 enkele aanvullende waterstandsmetingen verricht moeten worden. Daar op die plaatsen geen peilbuizen aanwezig zijn is dat niet mogelijk. Aan de rechterrاند in figuur 13 heeft het water de neiging het gebied uit te stromen. Het verhang in het watervoerende pakket tot de drainagesloten op zo'n 150 tot 250 meter daarbuiten bedraagt circa 0.4 meter.

Bij de berekening van de poriesnelheden v(porie) is rekening gehouden met de temperatuur die heerst bij het beschouwde filter. De optredende verschillen zijn niet erg groot ten opzichte van een temperatuur van 20°C, die normaal wordt aangehouden voor het bepalen van de  $f$  waarden. De berekeningen in figuur 13 zijn gemaakt met een  $X$  die geldt bij een temperatuur van 20°C, zie ook tabel 1. Om de drukverschillen die in figuur 13 gegeven zijn in N/m² uit te drukken in meters waterkolom moet  $dP$  gedeelt worden door  $f \cdot g = 10000$ .

- 6 De warmtecapaciteit van de hele opslag bedraagt 60000 MJ/K. Uitgangspunt is de gemiddelde warmtecapaciteit  $f \cdot c = 7.2$  MJ/m³.K van de zandlaag, watervoerende pakket, tussen -7.0 en -22.5 m, volgens tabel 1. De totale opslaginhoud met  $R=19$  m en diepte van 20 m bedraagt circa 23000 m³. De totale warmtecapaciteit wordt dan:

$$7.2 \cdot 23000 = 60000.$$

Nogmaals zij opgemerkt dat  $f$  en  $c$  materiaal constanten zijn, meestal verkregen uit tabellen. Deze waarden zijn afhankelijk van omstandigheden, die niet altijd in de tabellen zijn verwerkt. Bij het gebruik van de waarden is dan ook voorzichtigheid geboden. Het beste is om middels proeven te controleren of deze constanten zich tijdens hoge temperaturen inderdaad gedragen zoals voorspeld.

- 7 De warmteuitwisseling tussen bodem en warmtewisselaar, de lussen en



de opslagtank, en de bodem bedraagt 75 kW/K.  
Deze waarde valt te controleren.

## 2.2 Opmerkingen Betreffende Algemene Uitgangspunten

### 5 Waterstandsverschillen

Uit de figuren 10 en 13 volgt dat  $dh/dx$  groter is dan de uitgangswaarde van  $1/1000$ .

$dh/dx$  horizontaal:

|           | aquifer    | spanningswater (water onder kleilaag) |
|-----------|------------|---------------------------------------|
| '85/'86   | 0.05-0.01  | $\approx 0.02$                        |
| 01-09-'87 | 0.02-0.001 | 0.02-0.001                            |

$dh/dz$  verticaal:

|           | aquifer     | spanningswater |
|-----------|-------------|----------------|
| '85/'86   | 0.06-0.001  | $\approx 0.02$ |
| 01-09-'87 | 0.017-0.002 | 0.02-0.0002    |

Voor de optredende horizontale snelheden zie eveneens de figuren 10 en 13.

|              | A=3 m  | A=17.5 m       | A=23 m       | A=33 m |
|--------------|--------|----------------|--------------|--------|
| D=-9 '85/86  | ■ ?    | ■ -2.4         | ■ -1.2tot3.3 | ■      |
| 01-09-'87    | ■ -2.9 | ■ +3.5         | ■ +1.7       | ■      |
| D=-19 '85/86 | ■ ?    | ■ +14.2tot34.4 | ■ -6.7       | ■      |
| 01-09-'87    | ■ +0.6 | ■ -11.1        | ■ +9.9       | ■      |
| D=-30 '85/86 | ■ ?    | ■ ?            | ■ -31.0      | ■      |
| 01-09-'87    | ■ +0.2 | ■ +1.3         | ■ +1.6       | ■      |

De hierboven genoemde snelheden moeten nog met een factor  $10^{*-6}$  m/s vermenigvuldigd worden.

Een + teken betekent een snelheid van het centrum af gekeerd en een -teken een snelheid naar het centrum toe.

Wat opvalt is dat de stroming in '85/'86 hoofdzakelijk naar het centrum toe gericht is en dat voor 01-09-'87 geldt dat deze hoofdzakelijk naar buiten toe is gericht.

Een vergelijking van de grootte van de snelheden valt niet te maken omdat daar waar de snelheden bekend zijn over de periode '85/'86 de richtingen hiervan op 01-09-'87 zijn omgekeerd.

Uit vooronderzoek is gebleken dat de Darcy-snelheid waarboven het economisch verantwoord is een slecht doorlatend verticaal scherm rond de opslag te plaatsen, 0.05 m/dag (18 m/jaar) bedraagt. Dat is  $6 \cdot 10^{*-7}$  m/s. Bij een gemiddeld poriegehalte van 40 %, is dat een poriesnelheid van  $1.5 \cdot 10^{*-6}$  m/s. De snelheden op 01-09-'87 liggen in de buurt hiervan. Die van de periode '85-'86 zijn op een diepte van -19 m een factor 10 tot 20 groter.

Voor de verticale stromingsrichtingen zie figuur 10 en 13. hiervoor zijn geen snelheden berekend. De laagopbouw is niet geheel duidelijk en de berekeningsmethode ingewikkelder dan bij de horizontale snelheden. De waarde van de verticale snelheden is bij een eerste schatting van wat er in de opslag gebeurt niet van essentieel belang. Wel kan er gesteld worden dat deze snelheden lager zullen zijn dan de

horizontale omdat er enkele slecht doorlatende lagen gepasseerd moeten worden terwijl de verticale drukverschillen in dezelfde orde grootte liggen als de horizontale.

|           |         | R=3 m | R=17.5 m | R=23 m | R=33 m |
|-----------|---------|-------|----------|--------|--------|
|           | D= -9 m | ■     | ■        | ■      | ■      |
| '85/'86   |         | ?     | -        | -      | -      |
| 01-09-'87 |         | -     | +        | -      | +      |
|           | D=-19 m | ■     | ■        | ■      | ■      |
| '85/'86   |         | ?     | +        | +      | ±      |
| 01-09-'87 |         | -     | -        | +      | -      |
|           | D=-30 m | ■     | ■        | ■      | ■      |

Stromingsrichtingen in z-richting. - Betekent van beneden naar boven, + betekent van boven naar beneden.

Hieruit blijkt dat tijdens '85/'86 het drukverschil onder de kleilaag een neerwaartse richting heeft, wat overigens voor Nederlandse omstandigheden onverwacht is. Te verwachten zou zijn een opwaartse stromingsrichting. Op 01-09-'87 blijkt dit inderdaad het geval. De enige uitzondering hierop is het punt op R=23 m en tussen de D=-19 en -30 m.

In het aquifer boven de kleilaag is de stroming tijdens '85/'86 hoofdzakelijk van onderen naar boven gericht en op 01-09-'87 om en om. Als alleen gekeken zou worden naar de convectieve stroom is de verwachting dat in het centrum een stroom omhoog optreedt en in de buurt van de rand van de isolatie, bij R=23 m een stroom naar beneden. Deze kan ook eerder zijn bijvoorbeeld aan de rand van het warmteïnbrenggebied. Wat dat betreft voldoet de meting op 01-09-'87 hier beter aan.

Convectiemechanisme: Als water warm wordt daalt het soortelijk gewicht. Het water stijgt dan, in dit geval in het centrum naar plaatsen waar de hoogste temperaturen optreden. Aan de rand waar de laagste temperaturen optreden daalt het water weer omdat het soortelijk gewicht toeneemt. Onderin ontstaat er een stroming naar het centrum toe van kouder water dat de plaats van het opgestegen warmere water gaat innemen. Bovenin ontstaat er een stroming naar de rand.

Tijdens de periode '85/'86 lijkt de laag op -19 m een "hoge-drukgebied" te zijn. Vanaf hier vertrekken alle stromingen.

Op 01-09-'87 is dit minder nadrukkelijk het geval, vooral doordat de laag onder de kleilaag een druk omhoog geeft, spanningswater.

Punt 22 en 23, zie ook figuur 10 en 13, nodigen uit tot een nader onderzoek. Punt 22 lijkt een "lage-drukgebied" waar alle stromingen samen komen vooral op 01-09-'87 en punt 23 lijkt een "hoge-drukgebied" waarvandaan alle stromingen vertrekken, eveneens op 01-09-'87.

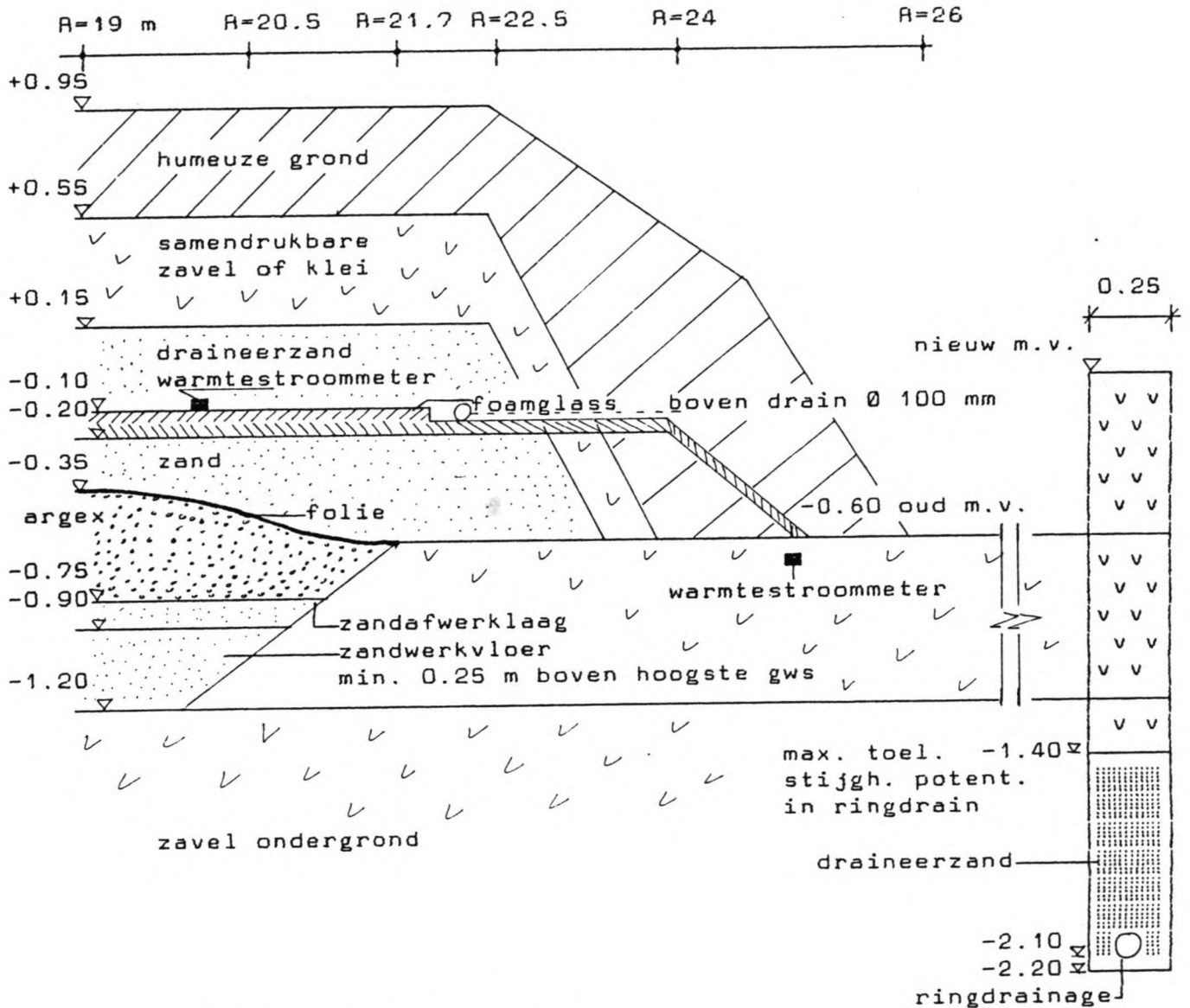
### 2.3 De Afdekconstructie

De werkwijze voor het aanbrengen van de afdekconstructie, de topisolatie, is als volgt:

- 1 Vanaf het oude maaiveld op -0.60 m N.A.P. wordt eerst 1 m ontgraven.
- 2 De centrale korte termijnopslag met een inhoud van 100 m<sup>3</sup> wordt in het midden van de opslag geplaatst.

- 3 De slangen worden geplaatst, getest op druk en aan de bovenkant gekoppeld.
- 4 De isolerende toplaag wordt aangebracht tot een hoogte van +0.95 m N.A.P.

Voor opbouw van de afdekconstructie zie figuur 14 en 8, paragraaf 2.1.



Figuur 14. De afdekconstructie.

De diameter van de topisolatie bedraagt 48 m.

-De bovenste laag bestaat uit humeuze grond, bedoeld om er planten en gras op te laten groeien voor een speelweide.

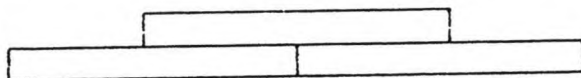
-Onder de humeuze bovenlaag bevindt zich een laag samendrukbare zavel of lichte klei. Deze is afkomstig uit de opslag zelf.

-De twee bovenste lagen hebben een isolerende functie.

-De bovenste laag draineerzand die op het foamglass is aangebracht moet zorgen voor de afvoer van neerslagwater dat eventueel tot deze diepte doordringt. Voor de warmtegeleidingscoëfficiënt  $\lambda$  van grof zand is 0.4 aangehouden. Deze waarde is afhankelijk van het vochtgehalte van het zand. Hoe vochtiger hoe groter  $\lambda$  en hoe kleiner de isolerende waarde.

-De laag zand die onder het foamglass is aangebracht dient als werk-vloer voor het plaatsen van het foamglass. Zand laat zich beter bewerken dan klei of zavel die van nature al aanwezig zijn. Met zand is een vlakkere afwerking mogelijk en het blijft droger tijdens het werk.

-Het foamglass is 0.1 m dik en heeft een  $\lambda$  van 0.04. Het foamglass wordt van boven en onder meestal met bitumen afgesloten zodat indringing van vocht, mits goed gemaakt, onmogelijk is. Foamglass bestaat in dit geval uit lagen die naast en over elkaar heen worden gelegd met zo min mogelijk tussenruimte om de isolerende waarde zo hoog mogelijk te krijgen.



Foamglass ligging 0.4\*0.4\*0.05 m

De bovenbelasting en de zettingen aan de onderkant mogen niet te groot zijn, om te grote vervormingen en daardoor te grote spleten tussen de platen te voorkomen. Aangenomen wordt dat de optredende zettingen gering zullen zijn.

-De laag folie moet er voor zorgen dat geen koud water van boven de opslag in kan dringen en dat van onder geen waterdamp de isolatie in gaat.

-De laag argex, gesintelde kleikorrels, van 0.4 m dik heeft een nog onbekende  $\lambda$  waarde. Het is niet geheel duidelijk of deze nu wel of niet meewerkt als isolerende laag of dat zij er alleen voor dient om de lussen eenvoudiger te kunnen leggen. Het uitgangspunt is geweest dat zij wel isolerend zou werken.

De isolerende werking van die laag kan bepaald worden door de temperatuurmeters die onder de argex en boven het foamglass zijn aangebracht, zie ook schema 1 de bovenste twee waarnemingen. Er zijn warmtestroommeters aangebracht op R=5, 15, 20 en 25 m uit het centrum. Zie ook bijlage 3, heat flux through topinsulation. Ze liggen vlak boven het foamglass in de zandlaag.

Gemeten wordt  $q(\text{in}) - q(\text{uit}) = dq \text{ W/m}^2$   
 $q(\text{in})$  = warmtestroomdichtheid in de opslag  $\text{W/m}^2$   
 $q(\text{uit})$  = warmtestroomdichtheid buiten de opslag  $\text{W/m}^2$   
 $dq$  = verlies door de isolerende lagen  $\text{W/m}^2$

-Onder de argex-laag komt nog een zandvloer tijdens het aanbrengen van de lussen. De onderlaag bestaat namelijk uit zavel met een klei-ne doorlatendheid  $k$ , zodat er snel versmering en plasmvorming, kan optreden. Om het geheel op hoogte te brengen en egaal af te werken

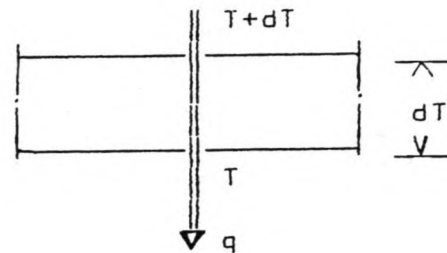
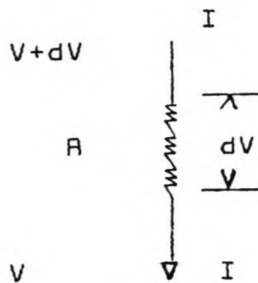
wordt als laatste een afwerklaag van zand aangebracht, alvorens de orgexkorrels worden gestort.

-Onder deze toplaag komt de formatie waar de warmtewisselaar, de lussen, is aangebracht.

-Verdere eisen voor de afdekconstructie zijn :  
 .Er mag geen vocht in de topisolatie komen; zorg dus voor een dichte structuur of vochtdichte afsluiting.  
 .Er mogen geen doorgaande wortels tot in de isolatie komen zodat scheuren optreden en de kans op vochtindringing wordt vergroot.  
 .De isolatie mag maar in geringe mate samendrukbaar zijn, anders wordt  $J/d=r$  K.m<sup>2</sup>/W te groot en daardoor de isolerende waarde te gering. Een drukkbestendigheid van 20-30 Kn/m<sup>2</sup> is zeker vereist.  
 .Het isolerende materiaal moet zeker 30-50 jaar behouden blijven. Denk daarbij vooral aan aantasting door zuur uit de bodem, olie en benzine van geparkeerde auto's, beschadiging door muizen, ratten en bacteriën.

### 2.3.1. Warmteverlies Door De Afdekconstructie

Werking van de warmtestroommeter:



Electrisch model:

wet van Ohm  $I=dV/R$

$I$  = electrische stroom in ampère (A)

$dV$  = potentiaal in volt (V), drijvende kracht

$R$  = electrische weerstand in Ohm ( $\Omega$ )

Warmte model:

$q=dT/rt$

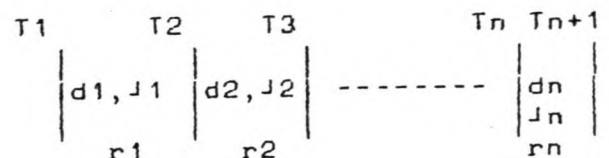
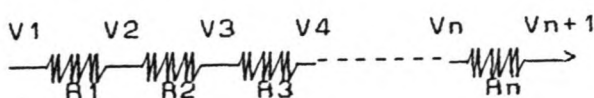
$q$  = warmtestroomdichtheid = stroom per oppervlakte eenheid in Watt per m<sup>2</sup> (W/m<sup>2</sup>)

$dT$  = temperatuurverschil in kelvin (K), drijvende kracht

$rt$  = totale weerstand van de lagen waaruit constructie is opgebouwd (m<sup>2</sup>K/W)

Figuur 15. Electrisch analogen voor warmteproblemen.

Zo geldt voor de serieschakeling:





Voor het elektrische analogon met  
electriciteitssymbolen geldt:

$$I = (V_1 - V_2) / R_1 = (V_2 - V_3) / R_2 = (V_3 - V_4) / R_4 \\ = (V_n - V_{n+1}) / R_n = (V_1 - V_{n+1}) / R_t \\ R_t = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Voor het elektrisch analogon  
met warmtesymbolen geldt:

$$q = (T_1 - T_2) / r_1 = (T_2 - T_3) / r_2 \\ = (T_n - T_{n+1}) / r_n = (T_1 - T_{n+1}) / r_t \\ r_t = d_1 / \lambda_1 + d_2 / \lambda_2 + \dots + d_n / \lambda_n$$

Voor de gemeten warmtestromen en temperatuurprofielen zie bijlagen 3 en 4. De metingen zijn gedaan in raai A, zie figuur 4. De metingen van de warmtestroom op R=5 en R=15 meter uit het centrum zijn geheel gelegen binnen de topisolatie en ook binnen het warmteïnbrenggebied. De warmtestroommeting op R=20 meter ligt buiten het warmteïnbrenggebied met lussen en de topisolatie is niet meer volledig aanwezig. De meting op R=25 m ligt geheel buiten het isolatiegebied, hier is de oorspronkelijke laagopbouw nog aanwezig. Zie figuur 14 voor de laagopbouw van de topisolatie.

Om een eerste indruk te krijgen van de warmteverliezen door de topisolatie en vooral wat hier de oorzaak van kan zijn, zijn voor enkele dagen de gemeten temperatuurprofielen getekend. Met representatief wordt bedoeld maxima, minima en daar tussen liggende waarden voor de temperatuur in de opslag over de periode april 1985 tot november 1986.

Voor dag 150, 250, 450, 550 en 650 zijn de waarden bepaald zoals aangegeven in tabel 3.

Betekenis waarden tabel 3:

-Dag+Gws geven de dag vanaf april '85 tot november '86 aan en de grondwaterstand voorzover deze bekend is in voornoemde periode in meters ten opzichte van N.A.P.

-R= straal in meters ten opzichte van het centrum van de opslag in raai A

-q-verw= warmtestroomdichtheid (warmteflux) die verwacht wordt aan de hand van de opgegeven waarden voor de warmtegeleidingscoëfficiënt en de verschillende laagdikten van de isolatie.

-q-gem= de gemeten warmtestroomdichtheid in de periode maart '85 tot november '86.

-T1= temperatuur in °C die optreedt onder de isolerende laag onder de argex korrels.

-T2= temperatuur in °C die optreedt boven het foamglass in de bovenste zandlaag.

-rg is de gemiddelde berekende grondweerstand volgens:  
 $rg = (T_1 - T_2) / q_{gemiddeld}$ .

-Jg= de gemiddelde berekende warmtegeleidingscoëfficiënt volgens:  
 $Jg = dg / rg$  met d= laagdikte waarover het warmteverlies  
q-gem gemeten wordt= 0.6 meter.

- $q_g/q_v$  = de verhouding tussen de gemeten en de verwachte warmtestroomdichtheid door de topisolatie. Uit dit getal kan het relatieve verlies  $q$  bepaald worden ten opzichte van de verwachte  $q$ , dus wat is er meer verloren gegaan dan werd verwacht.

-Temp+Neer geven de gemiddelde temperatuur van die dag en de neerslag over een periode van 10 dagen in mm.

| Dag+<br>Gws      | R<br>m | q-verw<br>W/m <sup>2</sup> | q-gem<br>W/m <sup>2</sup> | T1<br>°C | T2<br>°C | rg<br>Km <sup>2</sup> /W | Jg<br>W/mK | qg/gv<br>- | Temp+<br>Neer |
|------------------|--------|----------------------------|---------------------------|----------|----------|--------------------------|------------|------------|---------------|
| 150<br>!<br>+.08 | 5      | 4.3                        | 7.5                       | 35.6     | 19.3     | 2.17                     | 0.28       | 1.75       | 15°C          |
|                  | 15     | 3.3                        | 6.3                       | 35.1     | 22.9     | 1.94                     | 0.31       | 1.92       | **            |
|                  | 20     | -                          | 1.9                       | 16.5     | 15.7     | 0.45                     | 1.34       | -          | 25mm          |
|                  | 25     | 5.3                        | 4.2                       | 12.8     | 11.1     | 0.25                     | 2.40       | 0.79       |               |
| 250<br>- .19     | 5      | 5.6                        | 8.5                       | 44.9     | 23.9     | 2.46                     | 0.24       | 1.52       | 10°C          |
|                  | 15     | 4.5                        | 6.2                       | 40.0     | 23.0     | 2.74                     | 0.22       | 1.37       | ***           |
|                  | 20     | -                          | 2.9                       | 21.9     | 18.9     | 1.03                     | 0.58       | -          | 23mm          |
|                  | 25     | 2.8                        | -1.2                      | 16.1     | 15.2     | 0.75                     | 0.80       | 0.43       |               |
| 450              | 5      | 6.0                        | 10.4                      | 29.7     | 7.3      | 2.15                     | 0.29       | 1.72       | 4°C           |
|                  | 15     | 5.0                        | 7.4                       | 24.5     | 6.1      | 2.48                     | 0.24       | 1.47       | **            |
|                  | 20     | -                          | 10.6                      | 15.0     | 1.6      | 1.26                     | 0.47       | -          | 50mm          |
|                  | 25     | 14.1                       | 3.4                       | 6.0      | 1.5      | 1.34                     | 0.45       | 0.24       |               |
| 550              | 5      | 5.0                        | 10.9                      | 47.5     | 28.8     | 1.72                     | 0.35       | 2.17       | 18°C          |
|                  | 15     | 4.0                        | 8.8                       | 41.8     | 26.8     | 1.70                     | 0.35       | 2.22       | *             |
|                  | 20     | -                          | 7.0                       | 22.8     | 21.5     | 0.19                     | 3.23       | -          | 23mm          |
|                  | 25     | -3.4                       | -6.5                      | 15.9     | 17.0     | 0.17                     | 3.55       | 1.91       |               |
| 650              | 5      | 6.2                        | 10.4                      | 48.4     | 25.3     | 2.22                     | 0.27       | 1.70       | 12°C          |
|                  | 15     | 5.1                        | 9.8                       | 44.3     | 25.2     | 1.94                     | 0.31       | 1.92       | **            |
|                  | 20     | -                          | 12.9                      | 28.1     | 19.6     | 0.66                     | 0.91       | -          | 45mm          |
|                  | 25     | 3.4                        | 0.2                       | 17.8     | 16.7     | 5.70                     | 0.11       | 0.06       |               |

Tabel 3. Berekende waarden in de periode april '85 november '86. De warmtestroom wordt gemeten over het foamglass, dik 0.1 m  $J=0.04$  W/m.K en over de argex-korrels met een dikte van 0.35 m en de zandlaag om de foamglass platen goed in te kunnen leggen, met een dikte van 0.15 m,  $J$  van argex en zand moet nog berekend worden.

\* Periode met gespreide regenval. Geen extreem hoge pieken of periodes met aaneengesloten hoge regen intensiteit.  
 \*\* Periode met veel regen, 25-50 mm/10 dagen, er gaat wel een periode met weinig regen aan vooraf, ≈0 mm/10 dagen  
 \*\*\* Veel regen zonder droge perioden.

! Deze waarde is genomen op dag 205, 24 juli '85. De gemeten q waarden voor eerdere data zij zeer piekerig en niet volledig betrouwbaar.

Dag 150= 30 mei '85  
 Dag 250= 7 september '85  
 Dag 450= 28 maart '86  
 Dag 650= 12 oktober '86

De zettingen voor R=5 en 15m dus binnen de opslag waar de isolatie volledig aanwezig is, zijn hieronder gegeven, zie ook bijlage 7, absolute zettingen kern en rand:

|     |   |
|-----|---|
| Dag | Zettingshelling   |
| 150 | Afname kern en rand   |
| 250 | Kern blijft onder dezelfde helling zakken. Rand vertoont afnemende zettingshelling. |
| 450 | Zie dag 250   |
| 550 | Toename zettingshelling bij rand en kern  |
| 650 | Zie dag 550   |

Als de waarden van  $r_g$  en  $J_g$  vergeleken worden met de verwachte waarden voor  $r$  en  $J$  dan blijken de  $r_g$  en  $J_g$  tussen de 75-70 % ongunstiger te liggen dan verwacht.

$r$  verwacht =  $d_1/J_1 + d_2/J_2$  K.m<sup>2</sup>/W met:  
 $d_1$  = laag foamglass = 0.1 m en  $J_1$  = 0.04  
 $d_2$  = argexlaag+zand = 0.5 m en  $J_2$  = 0.4  
 Hierbij is uitgegaan van droge argexkorrels, te vergelijken met droog zand.  
 $r$  verwacht = 3.75 .

Voor  $r$  gemeten zie de waarden in tabel 3.  
 Uit het voorgaande blijkt dat  $J$  te laag is ingeschat. De gemiddelde gemeten waarde van  $J$  ligt uitgaande van tabel 3 en alleen rekening houdende met de waarden voor R=5 en 15 m, waar de isolatie volledig aanwezig is, in de buurt van  $J$  gemeten gemiddeld = 0.28 .  
 Als verwachting zou deze  $r = d/J$  opgeleverd moeten hebben:

$r$  verwacht =  $0.1/0.04 + 0.5/J_{argex+zand}$ , de eerste term is al:  
 $r_1 = 0.1/0.04 = 2.5$  en dat is groter dan  $r$  gemeten =  $0.6/0.28 = 2.14$  .

Omdat de  $J$  van het foamglass de grootste bijdrage levert aan de isolatie waarde van de toplaag, zal hier waarschijnlijk de grootste afwijking in de  $J$  optreden.  
 Tevens lijkt een waarde voor  $J = 0.4$  voor het argex+zand te laag gekozen als ze de kans hebben om nat te worden. Bij het ontwerp is er van uitgegaan dat ze droog zou blijven.

Als de waarden van  $q$  verwacht worden vergeleken met  $q$  gemeten blijken de laatste tussen de 2.22 en 1.37, 122 tot 37 %, hoger te liggen.  
 $q$  verwacht =  $(T_1 - T_2) / r_{verwacht}$ .

Er is gekeken naar de topisolatie binnen de opslag waar deze volle-

dig aanwezig is, voor een straal van  $R=5$  en  $15$  m. Voor deze stralen zijn de warmtestroomdichtheden gemiddeld  $1.78$ ,  $78\%$ , hoger (voor beide) dan verwacht.

$J$  gemiddeld over  $R=5$  en  $R=15$  m zijn respectievelijk  $J_5=0.29$  en  $J_{15}=0.28$ .

$r$  gemiddeld levert dan op:  $r_5=2.14$  en  $r_{15}=2.21$ .

Als gemiddelde  $J$  wordt hier  $J_g=0.28$  aangehouden.

### 2.3.2. Mogelijke Oorzaken Warmteverlies Door De Afdekconstructie

De hieronder besproken punten worden allen vergeleken ten opzichte van het quotiënt  $q$  gemeten/ $q$  verwacht zie tabel 3. Het zijn relatieve waarden.

-Er blijkt geen eenduidig verband te bestaan tussen een hogere of lagere opslagtemperatuur en een hoger of lager rendement van de topisolatie, relatief gezien. Wel geldt hoe warmer de opslag hoe meer warmteverlies door de topisolatie, daar is bij voorbaat rekening mee gehouden. Zie bijlage 2, warmteflux.

Voorbeeld:

Op dag 550 is de temperatuur hoger dan op dag 150, terwijl het warmteverlies op dag 550 groter is dan verwacht.

Wordt dag 150 met een lagere temperatuur vergeleken met dag 650 die een hogere temperatuur heeft dan valt op dat de relatieve warmteflux toch ongeveer hetzelfde is.

-De belangrijkste invloed lijkt een hogere grondwaterstand te hebben op het verlies van warmte door de afdeklaag naar buiten.

Voorbeeld:

Op dag 250 heeft de grondwaterstand een vrij lage waarde,  $-0.19$  m N.A.P., het rendementsverlies op dat moment relatief laag is.

Op dag 150 is de grondwaterstand vrij hoog  $+0.08$  m N.A.P. en blijkt de warmtestroom door de topisolatie een stuk ongunstiger te zijn.

Voor grondwaterstanden zie bijlage 5.

Aangezien er voor de beschouwde dagen maar twee vergelijkingsmogelijkheden zijn met de grondwaterstanden lijkt het voorbarig om conclusies te trekken over het warmteverlies door de toplaag ten gevolge van de grondwaterstanden.

Het ziet er evenwel naar uit dat het water in het opslaggebied zo hoog stijgt dat de topisolatie mogelijk door indringend vocht negatief wordt beïnvloed. Mogelijk is het folie lek en sluit het bitumen het foamglass niet goed af. Een andere mogelijkheid is dat er water in het dreineerzand onder en of boven het foamglass blijft staan en zo warmte en of kou vasthoudt.

Bij een hoge grondwaterstand stijgt warm water in de opslag ook en heeft dan een betere mogelijkheid om de warmte naar boven af te geven.

-De neerslag blijkt geen eenduidig effect te hebben op de isolerende waarde.

Voorbeeld:

Dag 250 valt in een periode met veel neerslag, terwijl de isolerende waarde het gunstigst uitvalt.

Op dag 450 regent het wel maar er gaat een droge periode aan vooraf. Toch is het rendement dan lager dan op dag 250.

Zie ook bijlage 6, neerslag.

Uit de neerslag en de grondwaterstanden blijkt, zie bijlage 5 en 6,



dat de grondwaterstand met enkele dagen vertraging reageert op de neerslag. Deze laatste heeft dus toch indirect invloed op de isolerende waarde.

-De omgevingstemperatuur blijkt eveneens geen eenduidige invloed te hebben op het relatieve warmteverlies door de topisolatie.

Voorbeeld:

Op dag 250 is er een gemiddelde omgevingstemperatuur van 10°C en een qg/qv verhouding van 1.25 tot 1.37 op respectievelijk R=5 en 15 m uit het centrum. Op dag 650 is de gemiddelde omgevingstemperatuur 12°C en qg/qv=1.7 tot 1.92 op resp. R=5 en 15 m, lager dus bij vrijwel dezelfde omgevingstemperatuur.

-De zetting van de grond blijkt het grootste tijdens een hoge temperatuur van de opslag. Zie bijlage 7, absolute zettingen.

Voorbeeld:

De zettingen bij rand en kern lijken na 17-07-'86 sterk te zijn afgenomen, dit geldt vooral voor de kern. Maar na een nieuwe opwarmperiode van de grond na 27-05-'86 nemen ze toch weer toe.

Op 03-10-'86 bedraagt de totale zetting ten opzichte van 23-02-'83 0.072 m voor de rand en 0.087 m voor de kern.

Ga er voor een eerste benadering van uit dat de nieuw gelegde top-laag van 2.15 m alle zettingen voor haar rekening neemt.

Dat komt neer op een zakking van  $0.087/2.15=0.04$  of wel 4 % voor de kern tot 03-10-'86, dit is het einde van de opname dus ook weer te ongunstig.

Over de meethoogte van 0.6 m bedraagt de zakking dan  $0.04*0.6=0.024$  m. De laag zou dan nog maar 0.576 m dik zijn.

$r_{\text{nieuw-verwacht}}=0.1/0.04+0.476/0.4=3.69$

$q_{\text{nieuw-verwacht}} \text{ voor bijvoorbeeld } R=5 \text{ op dag } 550 = (47.7-28.8)/3.69=5.12$  ,

de oude waarde is  $q_{\text{verwacht}}=5$  , dit is een verschil van 1.2 %.

Aangezien het hier om grote vereenvoudigingen gaat die te pessimistisch zijn mag van de zetting van de grond geen al te negatief effect op de isolatiewaarde verwacht worden.

De waarde van  $\lambda$  gemeten zal door de geringere dikte van de isolatielaag ook iets toenemen, op dag 550 zie ook tabel 3,

$\lambda_{\text{nieuw gemeten}}=d_{\text{ng}}/r_{\text{g}}=0.576/1.72=0.33$  W/mK en dat is ten opzichte van de oude waarde van  $\lambda_{\text{g}}=0.35$  W/mK een verschil van 4 %

Bij grotere zettingen is er een nauwkeurigere berekening vereist opgesplitst naar zettingsgevoeligheid van de lagen.

De grond reageert niet volgens Terzaghi waarschijnlijk omdat de temperatuur steeds verandert.

Terzaghi:

$dz=z/C*\log((P_0+P)/P)$  m met C= samendrukkingsconstante (-).

De zettingsgrafiek bijlage 7, absolute zetting, zou dan asymptotisch moeten verlopen, hetgeen niet het geval is.

### 2.3.3 Opmerkingen.

De grondwaterstand lijkt de grootste invloed te hebben op de isolerende waarde van de toplaat. Omdat er maar een beperkt aantal vergelijkingen is te maken met de gekozen aantal dagen is het gevaarlijk aan de uitkomsten volgens tabel 3 een definitieve conclusie te ver-



binden.

In ieder geval is de waarde van  $J$  te laag voorspeld onder deze omstandigheden. De toplaag laat te veel warmte vanuit de opslag naar buiten ontsnappen.

Enkele oorzaken kunnen zijn:

Indringen van vocht in niet goed gelegde foamglass-platen.

Slechte afwerking van de isolatielaag bij de korte-termijnopslag en ook daar waar de peilbuizen, warmtelanzen, en andere meetvoorzieningen door deze laag lopen.

Een te optimistische voorspelling van de  $J$  waarden van de verschillende lagen en welke lagen wel of geen bijdrage leveren aan de isolatie.

Uit tabel 3 volgt dat de warmtestroom door de topisolatie zo'n 78 % hoger is dan verwacht.

De gemiddelde verwachte  $q_v = 4.9 \text{ W/m}^2$  over de periode '85/'86.

Omdat deze volgens de gemeten waarden in dezelfde periode 78 % hoger blijkt te zijn is er een  $dq$  van:

$$dq = 0.78 * 4.9 = 3.82 \text{ W/m}^2$$

dat is over het hele oppervlak per jaar een warmtestroom van:

$$Q = dq * n * r^2 * 1 \text{ jaar} = 3.82 * \pi * 24^2 * 24 * 365 = 60230000 \text{ Wh}$$

$$60.23 \text{ MWh}$$

$Q =$  warmtestroom groter dan verwacht over '85/'86 per jaar gemiddeld.

Uitgesplitst over '85 en '86 levert dat op, zie tabel 3a.

|      | $q_v$ -gem<br>$\text{W/m}^2$ | $q_g$ -gem<br>$\text{W/m}^2$ | $q_g/q_v$ -gem<br>(-) | $dq$ -gem<br>$\text{W/m}^2$ | $Q_{\text{gem}} = dq * n * r^2 * 1 \text{ jaar}$<br>MWh | $J_g$<br>$\text{W/mK}$ | $r_g$<br>$\text{Km}^2/\text{W}$ |
|------|------------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------------|---|------------------------|---------------------------------|
| 1985 | 4.4                          | 7.1                          | 1.62                  | 2.7                         | 43.28   | 0.26                   | 2.26                            |
| 1986 | 5.2                          | 9.6                          | 1.84                  | 4.4                         | 69.43   | 0.30                   | 2.03                            |

Tabel 3a. De hierboven gegeven waarden zijn allen gemiddelden over de desbetreffende periode.

Voor het oppervlak van de isolerende laag is een straal aangehouden van 24 m. Dat klopt niet helemaal omdat de buitenste 5 meter een andere laagopbouw van de isolatie hebben dan de binnenste 19 m. Zie figuur 14. Voor een eerste benadering wordt dit toelaatbaar geacht. Wat ook opvalt is dat het warmteverlies over '86 toeneemt ten opzichte die van '85. Om tot nauwkeuriger getallen te komen zouden meer data gecontroleerd moeten worden. Voor een eerste benadering wordt met de waarden uit tabel 3 genoegen genomen, te meer omdat de warmtestroommeters op  $R = 15 \text{ m}$  grote schommelingen vertonen. Dit laatste kan veroorzaakt worden door het niet goed functioneren van de meetapparatuur of van het niet homogeen zijn van de topisolatie ter plaatse.

Hieronder volgt nog de absolute warmtestroom gemeten door de topisolatie op  $R = 5$  en  $15 \text{ m}$ , waar de isolatie volledig aanwezig is en op  $R = 20 \text{ m}$  waar ze maar gedeeltelijk is aangebracht.

De waarden van tabel 3 zijn hiervoor gebruikt.

Voor de totale isolatie is een straal van 24 m aangehouden.

|      |             |   | q gemeten-gemid. W/m <sup>2</sup> | Q MWh     |                  |  |
|------|-------------|---|-----------------------------------|-----------|------------------|--|
| 1985 | R=5, 15     | m | 7.1                               | 76<br>80  | R=24 m<br>R=19 m |  |
|      | R=20        | m | 2.4                               |           |                  |  |
|      | R=5, 15, 20 | m | 4.8                               |           |                  |  |
| 1986 | R=5, 15     | m | 9.6                               | 157<br>99 | R=24 m<br>R=19 m |  |
|      | R=20        | m | 10.2                              |           |                  |  |
|      | R=5, 15, 20 | m | 9.9                               |           |                  |  |

Tabel 3b. Absolute warmtestroom door topisolatie binnen en buiten warmteïnbrenggebied.

In '85 is het verschil tussen q voor R=5,15 en R=20 m groter dan in '86.

Het verlies door de topisolatie in '86 is ruim twee keer zo groot als in '85, absoluut gezien, tot R=24 m.

Om wat meer duidelijkheid te verkrijgen wat er gebeurt met de warmtestroom door de topisolatie bij stijgende grondwaterstand zijn hieronder voor dag 294, 21 oktober '85, en dag 384, 19 januari '86, nog enkele waarden berekend.

Er is alleen gekeken naar waarden binnen de opslag omdat daar de isolatie volledig aanwezig is en daarom de waarden van J, q<sub>verw</sub>, d en r bekend zijn, met d als gemiddelde dikte voor de topislatielaag waarover de warmtestroommeters (R=5 en 15 m) staan. Op dag 294 is de grondwaterstand tot een minimum gedaald in de beschouwde periode en op dag 384 is dat een maximum.

Aan de hand van deze resultaten is er geen herberekening gemaakt voor het rendement van de isolatielaag.

| Dag+<br>Gws   | R<br>(m) | q-verw<br>W/m <sup>2</sup> | q-gem<br>W/m <sup>2</sup> | T1<br>°C | T2<br>°C | rg<br>m <sup>2</sup> /W | Jg<br>W/mK | qg/qv<br>(-) | Temp+<br>Neer     |
|---------------|----------|----------------------------|---------------------------|----------|----------|-------------------------|------------|--------------|-------------------|
| 294<br>- .377 | 5        | 5.8                        | 7.0                       | 42.6     | 21.0     | 3.09                    | 0.19       | 1.22         | 6°C<br>*<br>20 mm |
|               | 15       | 4.0                        | 6.1                       | 35.6     | 20.6     | 2.46                    | 0.24       | 1.53         |                   |
|               | 25       | 22.8                       | 7.0                       | 15.5     | 8.2      | 1.04                    | 0.58       | 0.31         |                   |
| 384<br>+0.17  | 5        | 6.1                        | 10.4                      | 29.4     | 6.6      | 2.19                    | 0.27       | 1.71         | 5°C<br>*<br>27 mm |
|               | 15       | 4.8                        | 12.0                      | 24.5     | 6.5      | 1.50                    | 0.40       | 2.50         |                   |
|               | 25       | 17.5                       | 1.1                       | 8.0      | 2.4      | 5.09                    | 0.12       | 0.96         |                   |

Tabel 3c. \*= Periode met aanhoudend regen het aantal mm/10dagen staat er onder vermeld in de laatste kolom en erboven staat de gemiddelde buitentemperatuur op die dag. In kolom 1 zijn naast de dag ook nog de grondwaterstand op die dag vermeld in meters ten opzichte van N.A.P.

Uit tabel 3c volgt weer dat op dag 294 met een lage grondwaterstand het warmtestroomverlies door de topisolatie een stuk lager is ten opzichte van verwacht dan op dag 384 met een hoge waterstand. Gemiddeld over deze 2 dagen is  $q$  gemeten 74 % groter dan verwacht.

Uit een vergelijking van de grondwaterstand ten opzichte van de warmtestroom door de toplaag op de dagen 150 en 250 en de dagen 294 en 384 zie tabel 3 en 3c volgt:

| Dag | qg/gv-gem % | Gws m | Gws-stijging m | Toename qg/qv-gem per m g.w.-stijging |
|-----|-------------|-------|----------------|---------------------------------------|
| 250 | 45          | -0.19 | +0.27          | 6.93 (=84/45/0.27)                    |
| 150 | 84          | +0.08 |                |                                       |
| 294 | 39          | -0.38 | +0.55          | 5.18 (=111/39/0.55)                   |
| 384 | 111         | +0.17 |                |                                       |

Tabel 3d. Stijging van de relatieve warmtestroom door de topisolatie bij stijgende grondwaterstand.

Het is niet, nog steeds niet, verantwoord uit deze twee gegevens conclusies te trekken. Uit het bovenstaande blijkt dat als de grondwaterstand 1 meter stijgt het verlies aan warmtestroom door de toplaag toeneemt met een factor 6.93 en 5.18. Dit zijn relatieve verliezen ten opzichte van de verwachte waarden. Om meer zekerheid te krijgen over de warmteverliezen door de topisolatie bij stijgende grondwaterstand zouden nog meer data gecontroleerd moeten worden. De toename in warmteverlies door de isolatielaag is een combinatie van alle onder 2.3.1. en 2.3.2. genoemde factoren waarbij de grondwaterstand volgens de metingen de duidelijkste oorzaak lijkt te zijn.

In tabel 3c zijn ook nog opgenomen de verschillende waarden voor  $R=25$  m, dat is buiten het isolatiegebied. Het blijkt dat op dag 294, 69 % en op dag 384, 14 % minder warmte verloren gaat door de bovenlaag dan verwacht met een  $J=1.9$ .

Het blijkt ook dat de waarden hier omgekeerd zijn aan die vermeld in tabel 3. Over de hoogte van de grondwaterstand met betrekking tot het warmtestroomverlies  $Q$  MWh valt geen eenduidige conclusie te trekken.

De gemiddelde  $J$  die volgt uit tabel 3 en 3c is  $J_{g25}=1.14$ .

#### 2.3.4 Warmtegeleidingscoëfficiënt Humus-, Zavel- En Zandisolatie

Hieronder zal in het kort ingegaan worden op de isolerende werking van de lagen boven het foamglass. Zie voor de laagopbouw figuur 14 paragraaf 2.3.

Als er van uitgegaan wordt dat de warmtestroom door de gehele toplaag stationair verloopt dan kunnen de warmtestroomwaarden gebruikt worden van paragraaf 2.3.1 en bijlage 3, warmteflux.

Gebruik wordt gemaakt van de buitenluchttemperatuur volgens bijlage 3a, en van de temperaturen die net boven het foamglass gemeten zijn. Zie voor de ligging schema 1, paragraaf 1.4, de bovenste

waarnemingen rij.

Er is in verband met grote fluctuaties tussen de temperatuur in de opslag en de buitenlucht gekozen voor het nemen van de warmteflux van elke eerste van de maand voor de jaren '85 en '86. De warmtestroom is bepaald voor de stralen A=5, 15, 20 en 25 m uit het centrum in raai A, volgens:

$$q = (T_1 - T_2) \cdot J / d \quad \text{W/m}^2$$

met:  $(T_1 - T_2)$  = verschil in temperatuur net boven het foamglass,  $T_1$ , en de buitenlucht  $T_2$   
°C

$q$  = warmtestroom die volgt uit bijlage 3, warmteflux  $\text{W/m}^2$

$d$  = dikte van de beschouwde laag. In dit geval zand=0.25 m, zavel=0.4 m en humus=0.4 m, totaal 1.05 m. Zie figuur 14 paragraaf 2.3.

$J$  = de te vinden warmtegeleidingscoëfficiënt  $\text{W/m.K}$

$$J = q \cdot d / (T_1 - T_2) \quad \text{W/m.K}$$

N.b.: De stralings- en de stromingsweerstand zijn verwaarloosd, omdat deze ten opzichte van de geleidingsweerstand een ondergeschikte rol spelen.

In tabel 3e zijn de waarden van  $J$  aangegeven voor de verschillende stralen daar waar de warmtestroommeters liggen.

| Jaar | A= 5 | 15   | 20   | 25   |       |       |
|------|------|------|------|------|-------|-------|
| '85  | 1.05 | 1.01 | 1.00 | 1.23 | J     | W/m.K |
|      | 1.03 |      |      |      | Jgem. | W/m.K |
| '86  | 1.07 | 1.07 | 2.43 | 1.71 | J     | W/m.K |
|      | 1.07 |      |      |      | Jgem. | W/m.K |

Tabel 3e. Warmtegeleidingscoëfficiënten berekend uit verschil buitenlucht temperatuur ten opzichte van temperatuur net boven foamglass. Beide temperaturen zijn gemiddeld over de dag.

Bij tabel 3e moet wel worden opgemerkt dat er grote  $J$  waarden zijn, die niet in de berekening zijn betrokken. Bijvoorbeeld doordat de temperatuurverschillen zeer klein of zelfs 0 zijn. Opvallend is ook dat de  $J$  voor A=5-15 en 20 m bijna aan elkaar gelijk zijn in '85. Dat houdt dan in dat de warmteflux over de hele opslag gelijk is, ook voor het minder goed geïsoleerde stuk buiten de opslag (A=20 m). Voor A=25 m is er dan wel een slechtere isolatie te zien, de  $J$  is hoger.

Over '86 wordt voor A=5-15 m de beste  $J$  waarde gevonden, geheel volgens verwachting, tabel 3e. De slechtste echter voor A=20 m, terwijl A=25 m wordt verwacht. Als wordt uitgegaan van een gemiddelde waarde van  $J$  natte grond=0.9, dan zijn de waarden voor A=5-15 m binnen de opslag boven de afdekconstructie daar in de buurt. Zelfs de waarde



voor  $R=20$  m in '85 is ongeveer daaraan gelijk. Voor de andere waarden is toch een toename in  $J$  te zien hoe verder van het centrum verwijderd. Dat is ook volgens verwachting. Samenvattend kan gesteld worden dat de isolerende werking van de afdekkende grondlaag op de isolatie niet veel afwijkt van die van vochtige grond. De  $J$  is rond de 1.05.

Omdat ervan uit gegaan is dat de stroming door het gehele isolatiepakket stationair is, dus overal dezelfde  $q$  heeft, zijn de verliezen volgens tabel 3b paragraaf 2.3.3 hier ook geldig.

### 2.3.5 Warmtegeleidingscoëfficiënt Totale Afdekconstructie

Aan de hand van de temperatuurprofielen van bijlage 4 en de buitenlucht temperatuur, bijlage 3a, zal nagegaan worden wat het isolerende vermogen van de totale afdekconstructie is. Ter beschikking staan de temperatuurprofielen van de dagen 150, 250, 450, 550 en 650. De warmteflux  $q$  wordt gehaald uit bijlage 3.

De warmteflux wordt gemeten net boven het foamglass. Omdat er van uit gegaan wordt dat de warmtestroom door geleiding constant is over de hele afdekconstructie, kan de flux ook voor dit probleem gebruikt worden.

De dikte van de hele afdekking bedraagt 2.15 meter, zie figuur 14 paragraaf 2.3.

Volgens de stationaire warmtevergelijking geldt:

$$q = -J \cdot dT/dx \quad \text{W/m}^2$$

met:  $q$  = warmteflux (warmtestroom per tijdseenheid) door afdeklaag,  $\text{W/m}^2$

$J$  = warmtegeleidingscoëfficiënt van totale afdekconstructie,  $\text{W/m.K}$

$dT$  = temperatuurverschil tussen net onder de afdekconstructie en de buitenlucht,  $^{\circ}\text{C}$

$dx$  = dikte van de afdekconstructie = 2.15 m.

Voor de nog te berekenen waarde  $J$  geldt dan:

$$J = -q \cdot dx/dT \quad \text{W/m.K.}$$

N.b.: De stralings en de stromingsweerstand zijn hier weggelaten omdat deze een ondergeschikte rol spelen.

In tabel 3f zijn de waarden van  $J$  gegeven, ze zijn gemeten in raai A.

| jaar | R=5  | 15   | 20   | 25   |                         |
|------|------|------|------|------|-------------------------|
| '85  | 0.65 | 1.17 | 1.13 | 3.97 | $J$ W/m.K               |
|      | 0.91 |      |      |      | $J_{\text{gem.}}$ W/m.K |
| '86  | 0.69 | 0.85 | 2.29 | 5.00 | $J$ W/m.K               |
|      | 0.77 |      |      |      | $J_{\text{gem.}}$ W/m.K |



Tabel 3f. Warmtegeleidingscoëfficiënten berekend uit verschil buitenluchttemperatuur en temperatuur onder de afdekconstructie.

De gemiddelde waarden van  $\lambda$  zijn voor de jaren '85 en '86 op een afstand van 3 meter uit het centrum van de opslag,  $R=3$  m, 0.67 W/m.K en voor  $R=13$  m, 0.97 W/m.k. Dit komt neer op een warmtegeleidingscoëfficiënt  $\lambda$  van 0.82 binnen de opslag waar de totale isolatie aanwezig is.

De waarde voor  $\lambda$  van vochtige grond bedraagt ongeveer 0.9 W/m.K. Dit houdt in, dat de waarde van 0.82 die hier gevonden wordt, circa 9% gunstiger is dan die van vochtige grond.

Als de opslag gewoon afgedekt zou zijn geworden met goedkopere grond uit de omgeving, was er 9% meer warmte verloren gegaan dan met deze dure afdekconstructie het geval is.

Voor afdekconstructie zie figuur 14 paragraaf 2.3.

In de toekomst zal er meer zorg aan de afdekconstructie besteed moeten worden. Vooral wat het leggen van het foamglass betreft omdat dit met zijn lage  $\lambda$  van 0.04 de grootste isolerende bijdrage levert.

## 2.4 Ringdrainage

Voor ligging van de ringdrainage zie de figuren 15, 14 en 6. De opbolling die ontstaat ten gevolge van de regenval, de gronddoorlatendheid  $k$  en de afstand van de ringdrainages ten opzichte van elkaar is berekend met de formule van Hooghoudt.

Theoretische achtergrond formule Hooghoudt, bij stationaire afvoer (niet al te veel regenval):

Wanneer de drainage niet tot aan de een of andere ondoorlatende laag reikt, dan zal de stroming convergeren in de richting van de drainage. De ondoorlatende laag ligt in dit geval rond de -22 m N.A.P. De stroming wordt radiaal zie ook figuur 16a. De radiale stroming heeft een verlenging van de stroomlijnen tot gevolg. De onderste stroomlijnen zijn langer dan de bovenste. Deze verlenging veroorzaakt een meer dan evenredig verlies aan drukhoogte, omdat de stroomsnelheid ter plaatse van het ontwateringsmiddel groter is dan elders. Hoe hoger de drains liggen ten opzichte van de ondoorlatende laag hoe hoger het water in de opslag zal stijgen.

Hooghoudt leidt voor het geval een drain ver boven de ondoorlatende laag is gelegen een stromingsvergelijking af waarbij het stromingsgebied wordt verdeeld in een gebied met horizontale en een met radiale stroming. Als de radiale stroming boven de drainage wordt verwaarloosd dan kan de stroming onder het vlak van de drain beshreven worden met:

$q=8*k*D*h/L^2$  m/s (1) Dit is de formule van Donnan, voor horizontale stromingen bij drains die tot op de ondoorlatende laag reiken.

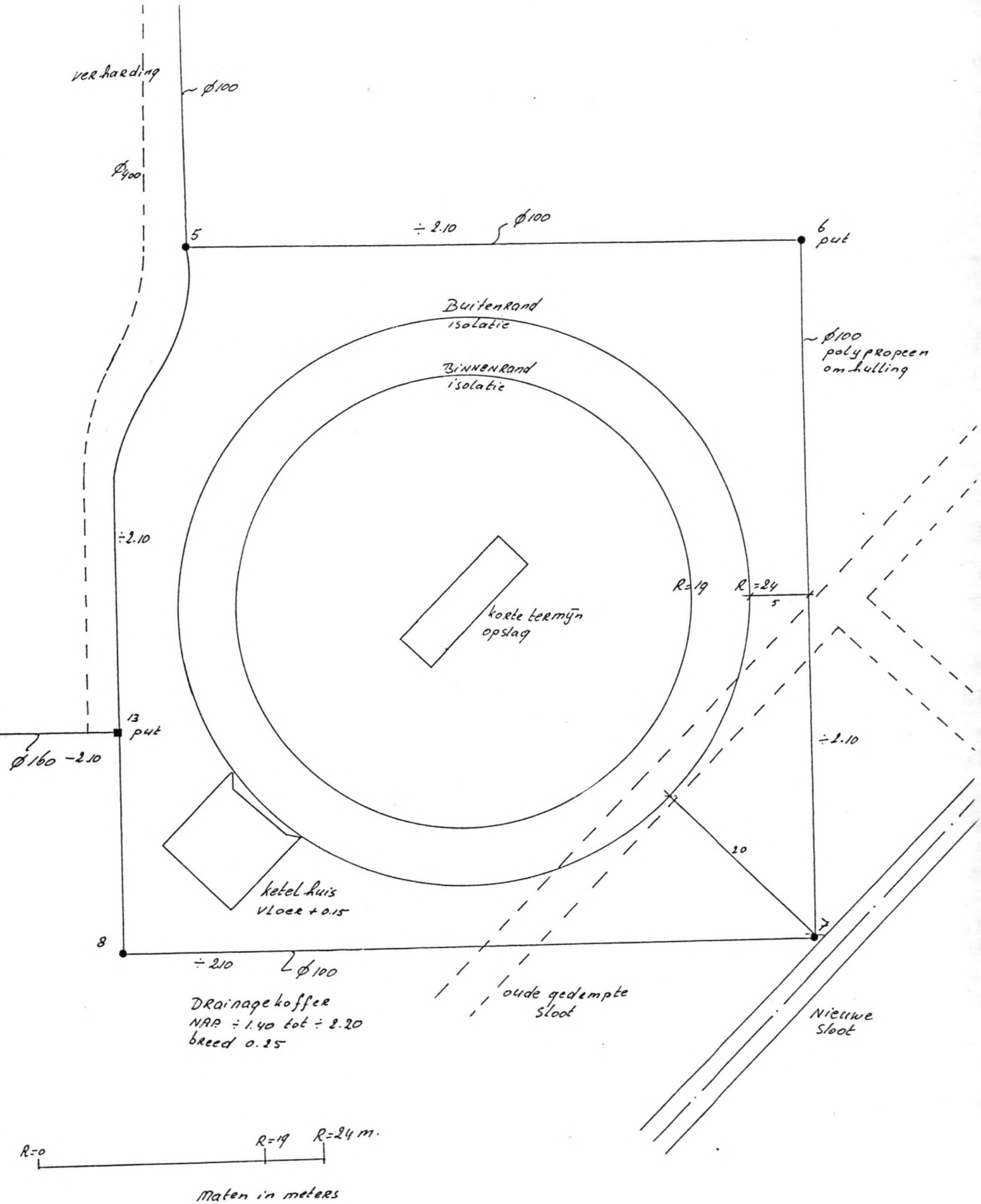
met  $q$  = afgeleverde hoeveelheid neerslag door een horizontaal oppervlak  $F_h$  m<sup>2</sup> in m/s

$h$  = opbolling m

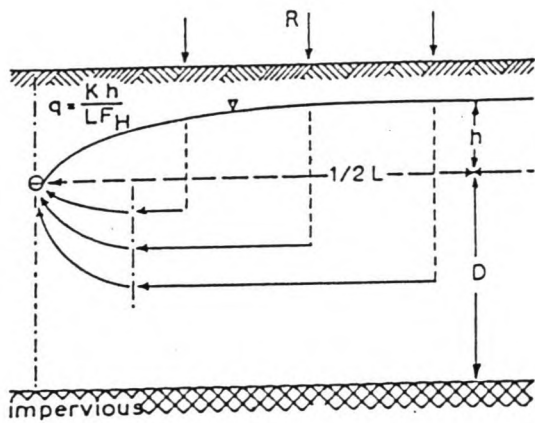
$L$  = drainafstand m

$k$  = horizontale doorlatendheidscoëfficiënt m/s

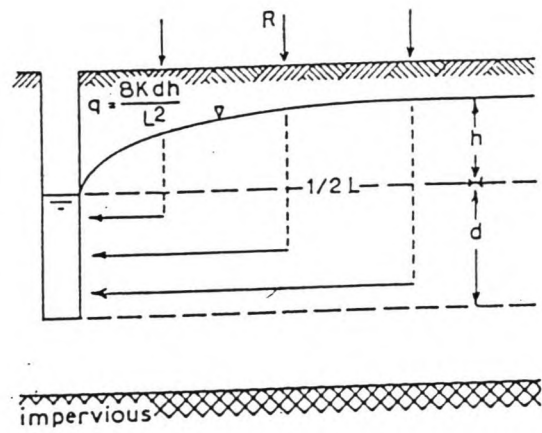
$D$  = hoogte waterstand in drain ten opzichte van ondoorlatende laag m



Figuur 15. Afstand RingdRAIN tussen 5 en 20 m. van Buitenrand  
Schematische weergave ringdrainage.



FIGUUR 16 (a)



FIGUUR 16 (b)

Transformatie van horizontale en radiale stroming naar een equivalente horizontale stroming.

Hooghoudt stelt:

$h = q * L / k * F_h$  m met  $F_h = (L - D * \sqrt{2})^2 / 8 * D * L + 1 / \pi * \ln(D / (r_o * \sqrt{2})) + f(D, L)$  (2) met:  
 $r_o$  = straal van de drain m  
 $f(D, L)$  = functie van D en L die in veel gevallen echter klein is in vergelijking met de andere termen en wordt meestal verwaarloosd

De eerste term heeft betrekking op de horizontale stroming, de tweede en de derde term op de radiale.

Om eenvoudiger te kunnen rekenen heeft Hooghoudt formule (2) omgewerkt tot een soortgelijke formule als die van Donnan (1), waarin alleen horizontale stromingen voorkomen. Om de extra weerstand ten gevolge van radiale stroming in rekening te brengen introduceert hij een reductie van de diepte D tot een kleinere equivalente diepte d, zie ook figuur 16a en 16b.

Anders gezegd: er wordt een hypothetisch ondoorlatende laag zodanig boven de werkelijk ondoorlatende laag verondersteld, dat het aangenomen stromingsbeeld weer horizontaal is en de radiale weerstand is verrekend.

Als alleen de stroming onder het drainniveau wordt beschouwd, dan verandert vergelijking (1) tot

$q = 8 * k * d * h / L^2$  m/s (3) waarin  $d < D$  zie ook figuur 16b.

deze vergelijking moet overeenkomen met vergelijking (2). Dit gescheidt als volgt:

$d = L / (8 * F_h)$  m (4)

De equivalente diepte d is evenals het horizontale doorstromingsoppervlak  $F_h$  een functie van L, D,  $r_o$  zoals blijkt uit de vergelijkingen (2) en (4). Er zijn nomogrammen en tabellen beschikbaar om d te bepalen uit gegeven L, D,  $r_o$ .

De totale vergelijking voor de regenwaterafvoer volgens Donnan is:

$$q = (8 \cdot k_o \cdot D \cdot h + 4 \cdot k_b \cdot h^2) / L^2$$

deze wordt nu volgens Hooghoudt:

$$q = (8 \cdot k_o \cdot d \cdot h + 4 \cdot k_b \cdot h^2) / L^2 \text{ m/s}$$

met  $k_o$  = horizontale doorlatendheid van de onderlaag m/s

$k_b$  = horizontale doorlatendheid van de bovenlaag m/s

met onder- en bovenlaag wordt bedoeld de laag onder en boven de drainage.

Om de opbolling te controleren is gebruik gemaakt van de nomogrammen van Boumans, zie bijlage 8. Omdat de doorlatendheid van de bovenste zavelaag niet is gegeven, er is alleen aangeduid dat deze een kleine  $X \text{ m}^2$  moet hebben, is uitgegaan van de gegeven opbolling van 0.5 m en aan de hand daarvan de  $k_o = k_b$  waarde berekend.

Volgens figuur 15 varieert de afstand van de ringdrainage tot elkaar van 58 tot 88 m. Hoe groter de afstand tussen de drains hoe hoger de opbolling. Uitgangspunt is een  $L$  van  $2 \cdot 28 = 56 \text{ m}$  geweest.

Voor de hier gedane berekening wordt om de  $k_o = k_b$  waarde te controleren uitgegaan van een  $L = 2 \cdot 29 = 58 \text{ m}$ .

Uit de neerslag grafieken, zie bijlage 6, blijkt dat de bui met de hoogst voorkomende intensiteit is  $77 \text{ mm}/10 \text{ dagen} = 0.0077 \text{ m/dag}$ .

Om bij deze bui een opbolling van maar een  $h = 0.5$  meter te hebben, moet de  $k_o = k_b$  waarde zijn volgens Boumans:

$$\text{met } D/h = 22/0.5 = 44$$

$$h/n \cdot r_o = 0.5/n \cdot 0.05 = 3.18$$

$$L/h = 58/.5 = 116$$

uit het nomogram blijkt  $k/q = 200$  met  $q = 0.0077 \text{ m/d}$

$k = 1.54 \text{ m/dag} = 1.8 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$  en dit is kleiner dan  $5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$  zoals in eerste instantie opgegeven. Latere hand-grondboringen in raai B hebben een waarde van  $2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$  voor de doorlatendheid opgeleverd. Deze komt met bovenstaande waarde overeen.

De reden waarom is gekozen voor een  $L$  van  $2 \cdot 29 = 58 \text{ m}$  is dat als de regen op de opslag valt hij de kortste afstand tot de drain zal zoeken en pas bij verzadiging, harde regen naar de verder gelegen drains gaat.

Bij een ongunstig grote regenintensiteit, die de  $77 \text{ mm}/10 \text{ dagen}$  niet is, zou de opbolling bij de hier bepaalde  $k$  waarde wel eens groter kunnen worden.

Uitgangspunt is dus de opbolling van  $h = 0.5$  meter.

Als figuur 14 wordt bekeken en er wordt uitgegaan van een drainerende hoogte van  $-1.40 \text{ N.A.P.}$ , dan komt de hoogste waterstand op  $-0.90 \text{ m N.A.P.}$  Dat is onder de laag argex korrels die op  $-0.75 \text{ m N.A.P.}$  liggen. Er zou dus nog een speling van  $0.15 \text{ m}$  aanwezig zijn bij de ongunstigste regenval. als de argex korrels meedoen aan de isolerende werking van de toplaag moeten zij droogblijven. Het is dan misschien zelfs nodig dat de zandlaag onder de korrels op  $-1.20 \text{ m}$  tot  $-0.75 \text{ m N.A.P.}$  droog moeten blijven i.v.m. de capillaire werking van het water. Door gebruikmaking van zand onder de argex-korrels moet deze capillaire werking gering zijn.

Er ligt nog een bovendrainage in de opslag zie ook figuur 14.

Bij eventuele lekkage door de humus- en zavel laag voert deze ook water af, maar met dat geval wordt hier niet gerekend. Dit heeft een gunstige invloed op de opbolling. Er wordt hier zo ongunstig mogelijk gerekend.

Bij de hier gevonden waarde van  $k=1.8 \cdot 10^{-5}$  m/s is er nog geen gevaar voor een te hoge opbolling zodat de argex korrels nat kunnen worden. Of dit echter de juiste k waarde is zou uit proeven moeten blijken. Omdat uit eerdere controle van de gegevens de grondwaterstand een groot effect lijkt te hebben op het verlies van de warmte door de topisolatie aan de buitenlucht, des te hoger de grondwaterstand des te meer verlies door de topisolatie, is een nader onderzoek naar de k waarde en dus de opbolling h aan te raden.

De lozingen vinden plaats ten westen van de opslag ca. 150 m uit het centrum. Het slootpeil is vrijwel constant -1.80 m N.A.P. of op de zuidwending aan de noordzijde van de opslag ca. 200 m uit het centrum. De afwateringsdiepte van de ringdrain wordt op bovenkant zanddrain -1.40 N.A.P. gesteld. Het verval tot de sloot is dan 0.40 m over een afstand van 150-200 meter,  $1/400-1/500$ . De hoofddrain ligt op -1.60 m N.A.P. en watert af op voornoemde sloten met een peil van -1.80 N.A.P. Het naastliggende waterschap heeft sloten met een peil van -1.95 m N.A.P.

De woningdrainage ligt op -1.50 m N.A.P.

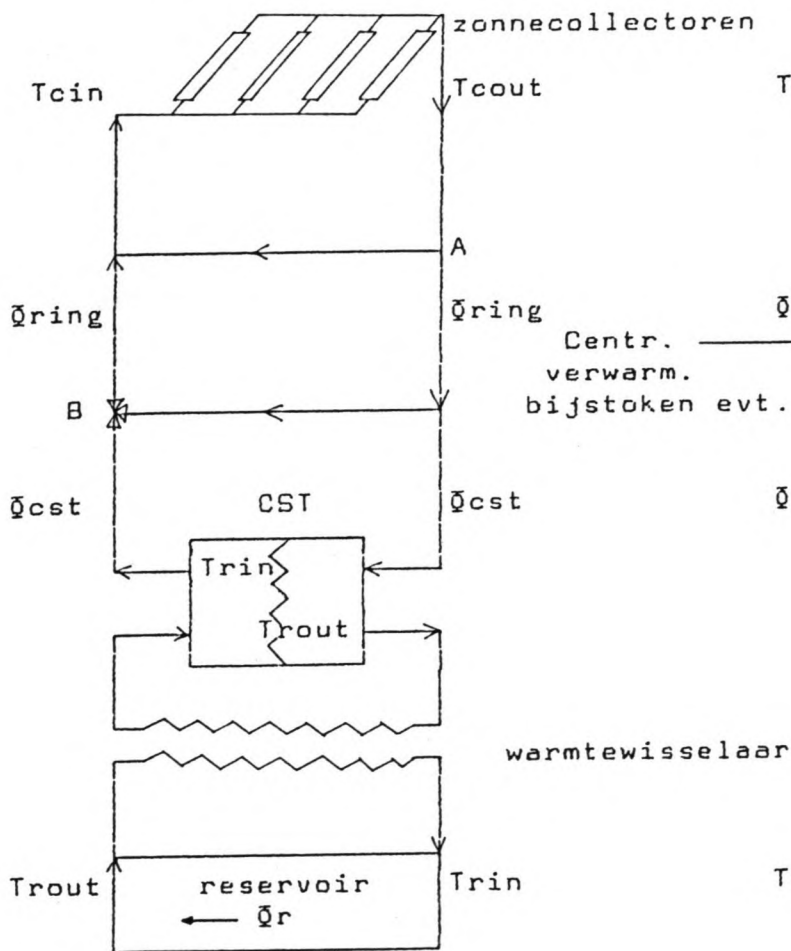
Uit figuur 13 paragraaf 2.1.2 volgt dat het locale verhang rond de  $1/400$  bedraagt over een afstand van 33 m is er een drukverschil van ca. 0.08 mwk.



### 3 WARMTEOPSLAG

#### 3.1 Het Opslagsysteem

Via zonnecollectoren die op het dak van 96 huizen zijn geplaatst wordt warmte de grond ingevoerd in de zomer. In de winter wordt deze warmte weer aan de grond onttrokken en helpt zo mee een gedeelte van de energiebehoefte te dekken die nodig is om de huizen te verwarmen en de bewoners van warm tapwater te voorzien. Voor de modellering van het collectorsysteem en de warmte opslag in de grond en tank zie figuur 18 a en b, modellering zonnecollectoren.



Figuur 18a. Aanvulling  
Modellering zonnecollectoren.

$T_{cin}$  = temperatuur van de collector in, door zon °C

$T_{cout}$  = temperatuur die uit de collector komt °C

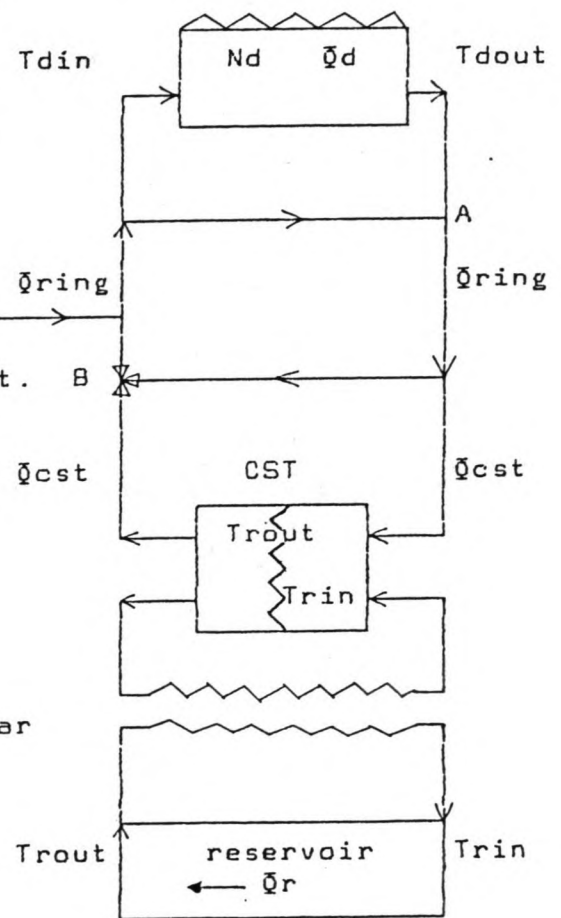
$T_r$  = temperatuur reservoir °C

$\bar{Q}_{ring}$  = volumestroom van de vloeistof in de ringleiding  $m^3/s$  ( $15 \cdot 10^{*-3}$ )

$\bar{Q}_d$  = volumestroom vloeistof per (dwelling) huis  $m^3/s$  ( $.14 \cdot 10^{*-3}$ )  
= constant

$\bar{Q}_{cst}$  = volumestroom centrale korte termijnopslag  $m^3/s$  ( $15 \cdot 10^{*-3}$ )

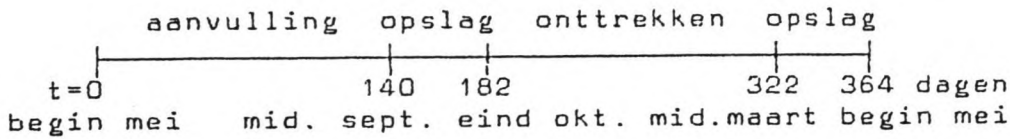
$\bar{Q}_r$  = volumestroom door reservoir = constant voor aanvulling en  
onttrekking  
= 0 bij opslag



Figuur 18b. Onttrekking

Nd= aantal huizen (96)

Bij het ontwerp van de zonnecollectoren is van het volgende schema uitgegaan:



Tussen t=0 en t=140 dagen wordt door de zonnecollectoren voldoende warmte geleverd voor aanvulling van de centrale korte termijnopslag en voor de lange termijnopslag.

Tussen t=140 en t=182 dagen is de maximale opslagtemperatuur bereikt.

Onttrekken van warmte vindt plaats tussen de dagen 182 en 322 waar minder warmte door de collectoren wordt geleverd dan de benodigde hoeveelheid van de opslag.

Uiteindelijk is de lange en korte termijnopslag uitgeput tussen de 322 en 364 dagen en moet met gas bijgestookt worden.

Deze aannamen vormen de ontwerp uitgangspunten.

In figuur 19a en b zijn de verliezen zoals deze zijn berekend voor het hele systeem nog eens weergegeven voor de perioden '85 en '86.

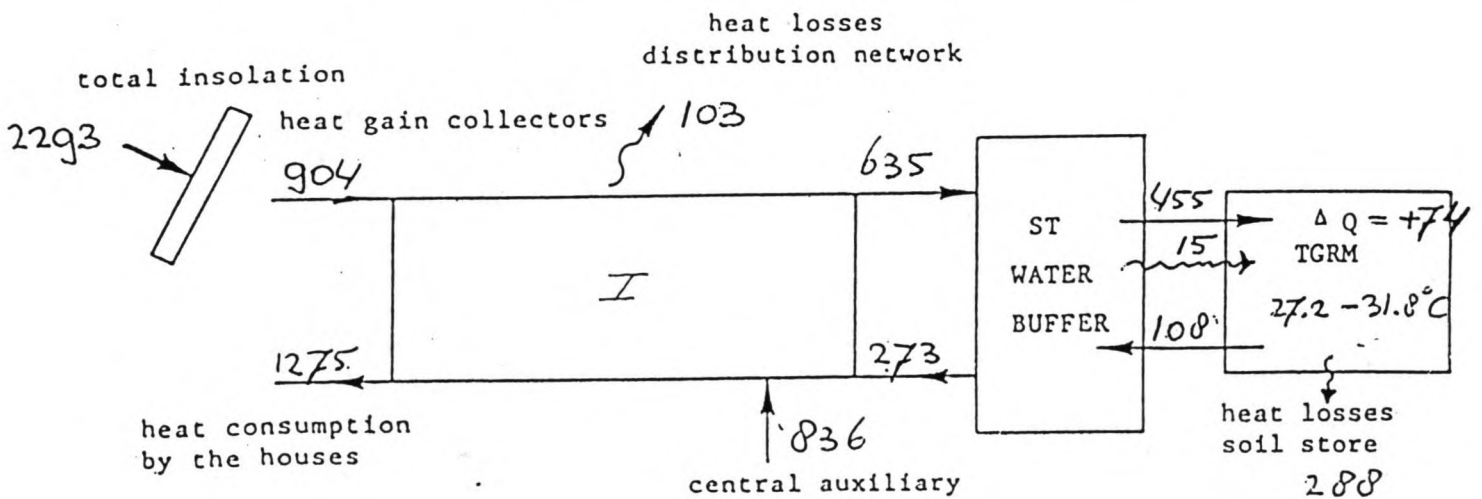
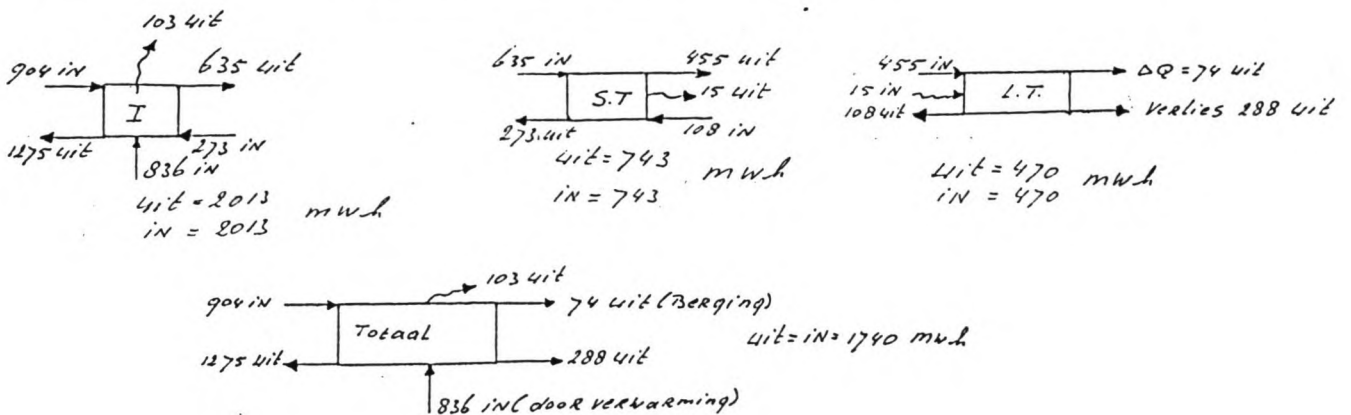


Fig 19 a. 1985 Measured heat flows (MWh) in the system.



heat losses  
distribution network

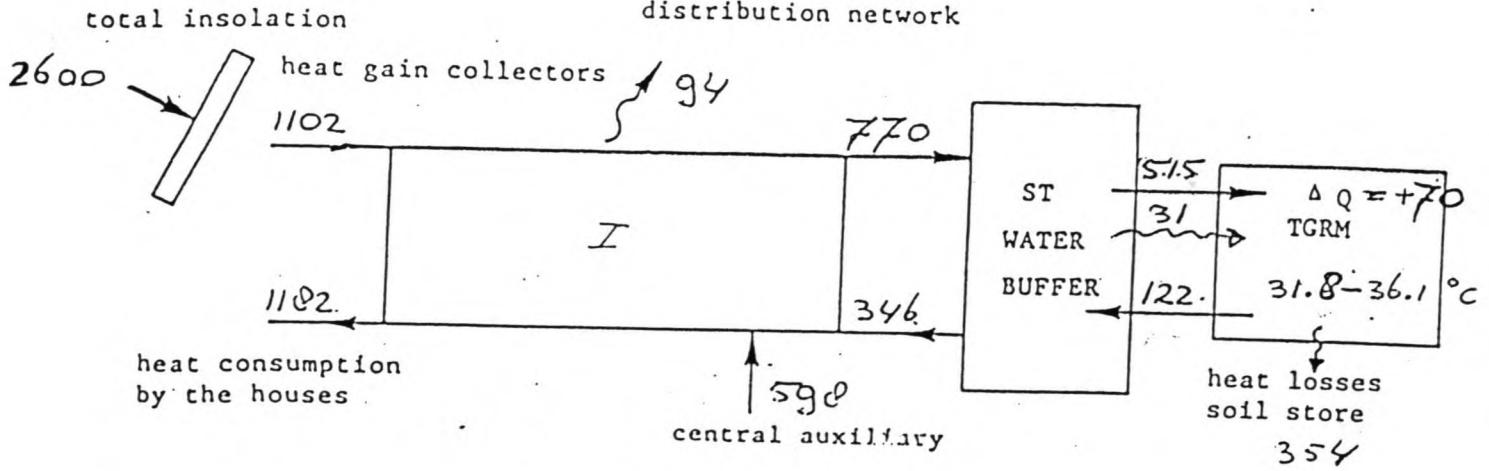
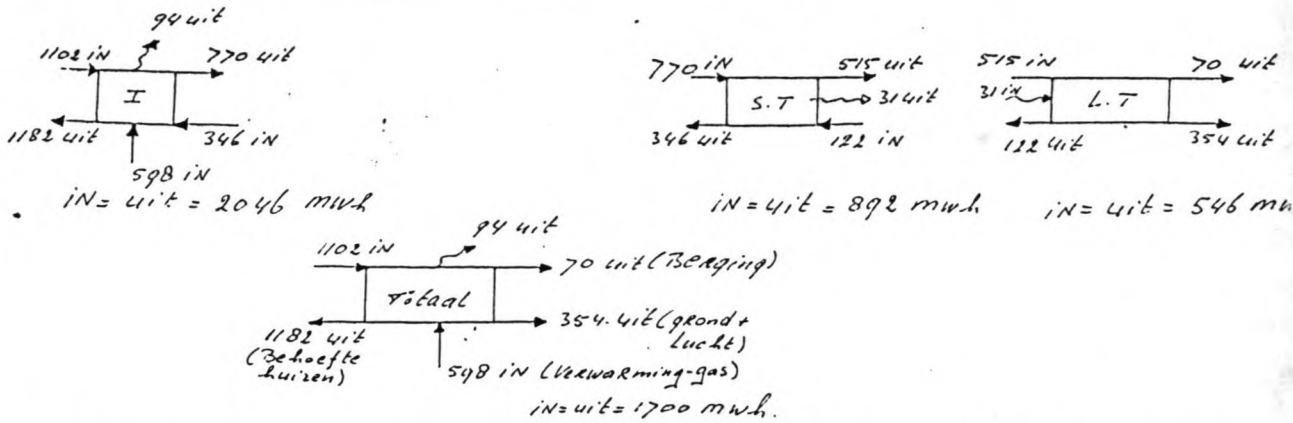


Fig 19b. 1986 Measured heat flows (MWh) in the system.



Volgens figuur 19a komt er via de zonnecollectoren 904 MWh aan energie in het systeem. De huizen hebben nodig 1275 MWh en er wordt 836 MWh door de centrale verwarming geleverd. Van de ingebrachte 904 MWh blijft dan over  $1275 - 836 = 439$  MWh. Een verlies van 465. Van deze 465 MWh gaat 103 verloren in het distributienetwerk, dat is 22%. 74 wordt er opgeslagen in de grond, 16% van verlies en 288 gaat in de grond en via de grond aan de buitenlucht verloren, 62%.

In '85 is nodig aan energie om de huizen en tapwater te verwarmen 1275 MWh. De verwarming levert hiervan 836 MWh, 66%. Via de zonnecollectoren blijft over 439 MWh, 34%.

Figuur 19 b, '86, geeft het volgende beeld. De zonnecollectoren leveren 1102 en de verwarming 598 MWh. De huizen hebben nodig 1182 MWh. De totale verliezen van de door de zonnecollectoren geleverde energie aan het systeem wordt daardoor  $1102 - 584 = 518$ , 47% van 1102. De effectief geleverde energie is  $1182 - 598 = 584$ , 53%. Van de verliezen in '86 neemt het distributienetwerk  $94 = 18\%$ , de opslagberging  $70 = 14\%$  en de grondverliezen  $354 = 68\%$  voor hun rekening.

In '86 is nodig aan energie voor verwarming huizen en tapwater 1182 MWh. Daarvan levert de verwarming 598, 51% en de zonnecollectoren 584 MWh, 49%.

Er is naar gestreefd om de zonnecollectoren voor 50% aan de totaal benodigde energie te laten bijdragen. Voor '86 ligt dat in de buurt maar '85 blijft hier ver vandaan met zijn 34%.

Uit het totale energie plaatje blijkt ook dat de meeste energie aan of via de grond verloren gaat. In '85 is dat  $16 + 62 = 78\%$  en in '86  $14 + 68 = 82\%$  van het totale verlies van dat jaar.

Het gemiddelde vermogen dat een huis bij ontwerpomstandigheden nodig heeft bij een buitentemperatuur van  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  en een windsnelheid van  $5\text{ m/s}$ , is  $6.3\text{ kW}$ . Dit kan door een lage temperatuur verwarmingssysteem geleverd worden (vloerverwarming) bij  $42.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Voor tapwaterverwarming is nodig een vermogen van  $7.2 \cdot 10^9\text{ J}$  en voor vewarming van het huis  $3.6 \cdot 10^{10}\text{ J}$  per jaar. De totale energiebehoefte wordt dan  $4.32 \cdot 10^{10}\text{ J/jaar/woning}$ . Elke woning is uitgerust met  $25\text{ m}^2$  zonnecollector. De huizen zijn door een buizensysteem verbonden met het opslagsysteem via een distributienetwerk met een totale lengte van ca.  $1900$  meter waarover de verliezen optreden volgens figuur 19a en b. Zie ook figuur 18a en b voor het distributienetwerk. Door de bufferwerking van de centrale korte termijnsopslag kan het aantal slangen van de lange-termijnsopslag worden verminderd. Tussen de lange en de korte termijnsopslag is een warmtewisselaar geïnstalleerd omdat het onwenselijk is dat de zuurstof die door de slangen is gediffundeerd in de stalen tank en leidingen terecht komt waardoor corrosie kan optreden. In het collectorcircuit, bij de huizen, is ook een warmtewisselaar aangebracht. De zonnecollectoren zijn met anti-vries gevuld. Dit mag niet in de warmtewisselaar komen waar het drinkwater wordt voorverwarmd. Het tapwater kan in de huizen middels een geiser op nog hogere temperatuur worden gebracht. Zie figuren 18 a en b.

Door verwarming van het water in de slangen en daardoor ook in de grond, treden dichtheidsverschillen op, waardoor natuurlijke convection optreedt. Gedwongen convection, regionale grondwaterstromingen, treden op door potentiaal verschillen, veroorzaakt door bijvoorbeeld drainage, onttrekking grondwater, infiltreren van regen. Deze beide stromingen zijn verantwoordelijk voor warmteverlies aan de omgeving.

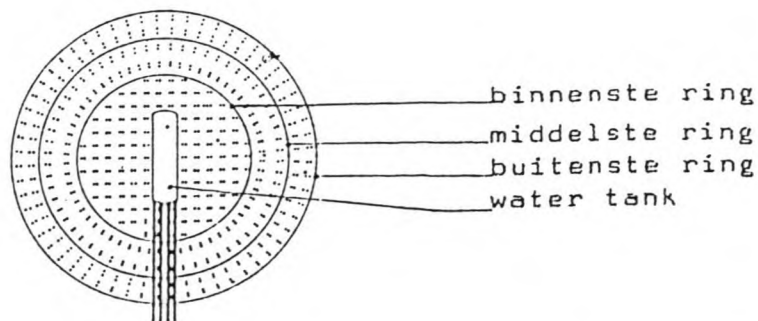
In dit rapport zal voornamelijk gelet worden op het opslagsysteem in de grond waar processen zoals convection, grondwaterstroming, lekkage, chloride en sulfaat verplaatsing en afbraak, infiltratie en drainage optreden. Typische grondeigenschappen zoals de warmtegeleidingscoëfficiënt  $\lambda$ , de gemiddelde warmtecapaciteit per  $\text{m}^3$  per  $^{\circ}\text{C}$   $f.c$ , de intrinsieke doorlatendheid  $X$ , het poriën getal  $n$  en andere grondeigenschappen worden uit eerdere onderzoeken overgenomen. Dit gebeurt ook met seizoengebonden invloeden als buitentemperatuur, wind en neerslag.

Uit bovenstaande blijkt dat de verliezen die hierna besproken worden gemiddelden zijn volgend uit meetgegevens en gemiddelde grond- en weersomstandigheden.

### 3.2 Lange- En Korte-Termijnsopslag

Het reservoir, warmteopslaggebied, is onderverdeeld in 3 concentrische cirkels, zie figuur 21.

|                             |                 |    |
|-----------------------------|-----------------|----|
| De binnenste ring loopt van | $0 < r < 11$    | m  |
| de middelste van            | $11 < r < 15.5$ | m  |
| de buitenste van            | $15.5 < r < 19$ | m. |



Figuur 21. Indeling van de lange- en korte-termijnopslag.

Voor de ontwerpmodellen is de aanname gedaan dat de slangen geheel door water worden omgeven. Bij de evaluatie is dit ook aangehouden. De snelheid van de vloeistof in de slang moet zo groot zijn dat geen lucht ingesloten kan worden ter bepaling van corrosie van de korte termijn opslagtank. De snelheid moet, om te voorkomen dat de luchtbellen niet door de opwaartse kracht mee omhoog genomen worden, 0.138 m/s bedragen.

Vanuit een thermisch oogpunt gezien mag de snelheid waarmee de vloeistof door de slang gaat ook geringer zijn, dan is de energie nodig om te pompen ook geringer. De temperatuurverdeling van de ene slang wordt niet beïnvloed door de temperatuur van de andere slang. Er wordt van uitgegaan dat gedurende 16 uur warm water aan de opslag wordt toegevoegd en onttrokken. De slangen zijn aan de bovenkant met elkaar gekoppeld door kunststof gelijkde verbindingstukken. Ze liggen voor een gedeelte in de argexkorrel. Verder zijn ze om zo min mogelijk warmte te verliezen door een isolatielaag afgesloten, zie figuur 14, afdekconstructie.

De maximum temperatuur in de opslag is in verband met de toegepaste materialen 85°C (=Treservoir, in). De warmte wordt eerst via de binnenste ring ingebracht zodat deze in het begin dan ook alleen voor de warmte afgifte werkt.

De middelste ring is serie gekoppeld met de binnenste met een temperatuur van Treservoir, in, max.=85°C. De warmteafgifte gaat zo lang door totdat de middelste ring ook een warmte van 85°C heeft bereikt. De buitenste ring wordt nu serie gekoppeld met de middelste ring. Bij warmwater gebruik wordt eerst het water van de buitenste ring gebruikt. Is dat te weinig dan wordt het water van de middelste ring gebruikt en als dat nog niet genoeg is dan dat van de binnenste ring ook nog. Is dat nog te weinig dan wordt met gas bijgestookt.

### 3.3 Warmteverlies Lange- En Korte-Termijnopslag

#### 3.3.1 Totale Warmteverlies

De totale verliezen van de opslag aan de omgeving wordt berekend volgens:

$$Q_{\text{opslag}} - Q_{\text{omgeving}} = Q_{\text{totaal}} = Q_4$$

met:  $Q_{\text{opslag}}$  = totale warmte van de opslag met een  $R=19$  m en  $D=-20$  m, een gemiddelde jaartemperatuur en een gemid-



delde warmtecapaciteit.

$Q_{omgeving}$  = totale warmte van de omgeving met een  $R=59$  m en een diepte  $D=-30$  m, een gemiddelde jaartemperatuur en dezelfde gemiddelde warmtecapaciteit.

$Q = \int .c.V.dT$  MWh Principe van berekenen  $Q_{opslag}$  en  $Q_{omgeving}$   
met:  $\int .c = 2.7$  MJ/m<sup>3</sup>.K voor beiden.

Voor waarden van  $Q_{totaal}=Q_4$  zie ook tabel 5.

$Q_4$  kan verder nog onderverdeeld worden in de volgende verliezen, die hierna aan de orde zullen komen:

$Q_1$  = de opslag zelf wordt warmer omdat de temperatuur aan het begin van het jaar lager is dan aan het einde van het jaar.

$Q_2$  = de direkte warmteverliezen door de topisolatie.

$Q_3$  = de indirecte warmteverliezen via de grond naar de buitenlucht.

$Q_5$  = de warmteverliezen aan de grond.

Worden de warmteverliezen uit de metingen, zie figuur 19a,b, vergeleken met die op bovenstaande manier bepaald, dan valt op dat deze redelijk overeenkomen. Er zou dus gesteld kunnen worden dat alle verliezen van de opslag aan de omgeving zich afspelen binnen een straal van  $R=59$  m en een diepte  $D=-30$  m. Tabel 5 geeft aan dat de overeenkomst tot op zo'n 1% nauwkeurig blijkt te zijn.

### 3.3.2 Warmteverlies Binnen De Opslag

Het warmer worden binnen de opslag,  $Q$ -geaccumuleerd genoemd =  $Q_1$ , wordt berekend door de temperatuur aan het begin van het meetjaar te vergelijken met die aan het einde van dat jaar.

$Q_1 = \int .c.V.dT/\text{jaar}$  MWh (1)  
met:  $\int .c$  = warmtecapaciteit per volumeëenheid  
= 2.7 MJ/m<sup>3</sup>.K  
 $V$  = volume van de opslag = 22682 m<sup>3</sup>  
 $dT$  = temperatuurverschil tussen begin en einde van het jaar in °C of °K

$Q_1 = 17 . dT$  MWh

Aan het warmer worden van de grond buiten de opslag wordt verderop in dit rapport aandacht besteed.

### 3.3.3 Warmteverliezen Aan Buitenlucht

Warmteverliezen aan de buitenlucht kunnen gesplitst worden in verliezen door de topisolatie binnen de opslag of net buiten de opslag. En in warmteverliezen via de grond buiten de opslag naar de buitenlucht.

De warmteverliezen door de isolatie tot een straal van 24 meter uit het centrum zijn reeds genoemd in paragraaf 2.3, hier  $Q$ -direkt =  $Q_2$  genoemd.

$Q_2 = A.(T_1 - T_2) . 1\text{jaar}/rt$  MWh  
met:  $A$  = oppervlakte waardoor warmte ontwijkt =  $\pi . R^2$   
= 1134 m<sup>2</sup> voor een straal  $R=19$  m  
= 1810 m<sup>2</sup> voor een straal  $R=24$  m

$T_1 - T_2 =$  temperatuurverschil tussen de warmtestroom-  
meters, over het isolatiepakket. Zie daar-  
voor temperatuurverloop bijlage 4

1 jaar =  $24 \cdot 365$  uren per jaar

$r_t =$  weerstand van de grond zie daarvoor para-  
graaf 2.3, de afdekkonstruktie.

$Q_2$  wordt in paragraaf 2.3 berekend door de gemeten  $q_2$  met het opper-  
vlak  $A$  waardoor de warmte ontsnapt te vermenigvuldigen.

$Q_2 = A \cdot q_2 \cdot 1 \text{ jaar}$  Mwh

De verliezen door de omringende grond aan de buitenlucht, hier  
 $Q$ -indirekt =  $Q_3$  genoemd, worden berekend volgens Johansson's  
"Optimal distribution of thermal insulation and ground heat losses"  
Hierin wordt van het dynamische model dat warmteverlies is, omdat er  
dag- en jaartemperatuurschommelingen heersen boven en in de grond,  
een stationair model gemaakt. Het stationaire model lijkt gerecht-  
vaardigd omdat de temperatuurschommelingen per dag van de grond ni-  
hil zijn en de jaarschommelingen ook niet al te groot. De jaartempe-  
raturen zullen daarom door een gemiddelde temperatuur worden ver-  
vangen, hetgeen voor een eerste benadering van het warmteverlies  $Q_3$   
redelijk lijkt.

De maximale amplitude van de opslagtemperatuur bedraagt voor '86  
 $9^\circ\text{C}$ . Zie bijlage 3b, gemiddelde opslagtemperatuur.

Hieronder volgt de globale theorie voor de afleiding van  $Q_3$ , voor een  
meer uitgebreide afleiding zie ook appendix A.

De basisformule voor het warmteverlies van een bepaalde massa  
(lichaam) is:

$$(T_1 - T_0) \cdot \delta Q_1 = - \iint_{S_1} \delta d / j_i \cdot (j \cdot \delta T / \delta n)^2 \cdot ds \quad (a)$$

Hiervan wordt een stationair model gemaakt met alleen warmteverlies  
door een vloer of wand via de grond naar de buitenlucht. Het verlies  
is minimaal als dit op elk punt van de vloer hetzelfde is dus ook de  
oppervlakte temperatuur hetzelfde is. Dat betekent:

$$j \cdot \delta T / \delta n = q_1 \text{ is constant} \quad (b)$$

Uit deze en andere randvoorwaarden volgt de belangrijkste vergelij-  
king:

$$q_1 = (T_1 - T_0) / (d_m / j_i + R \cdot U_m / j_o) \quad (c)$$

met:  $d_m =$  gemiddelde isolatiedikte = 20 m

$R =$  straal van de opslag = 19 m

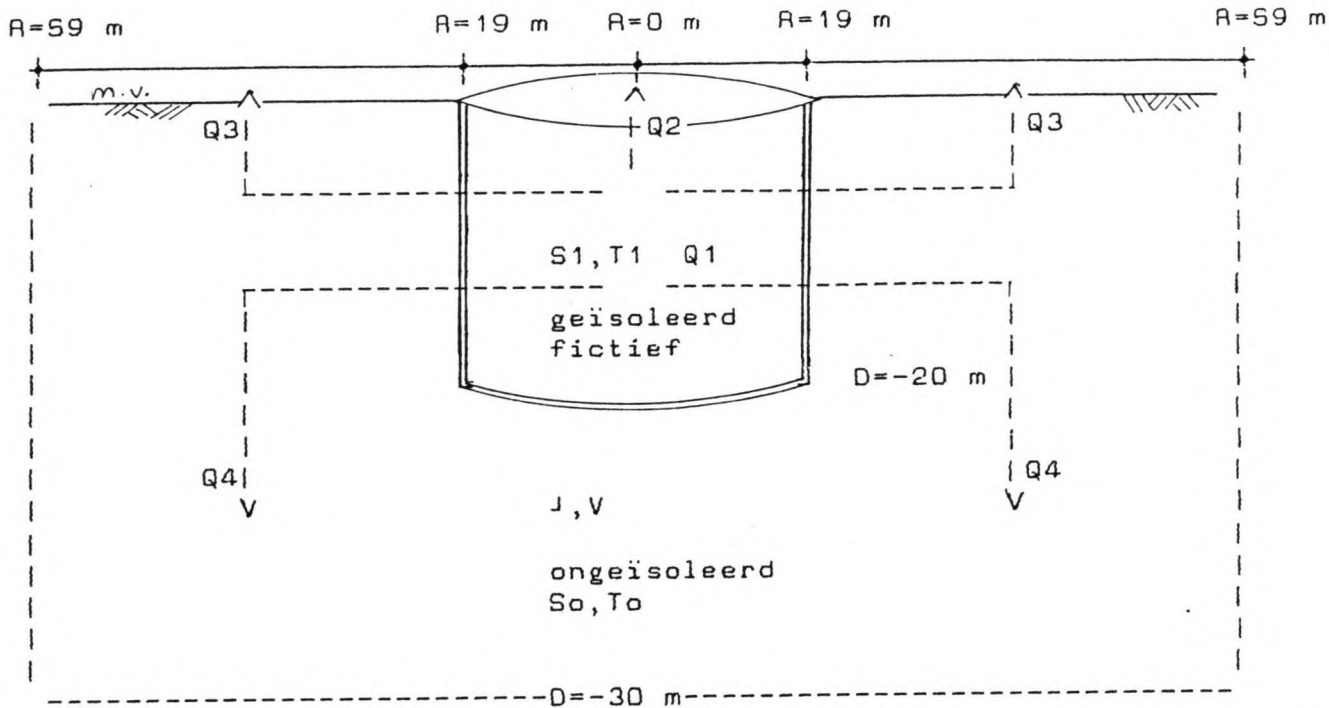
$U =$  eenheids warmteverlies op  $S_0 = 0$   
op  $S_1 = 1$

$R \cdot U_m =$  gemiddelde weerstand van de grond buiten  
de opslag waardoor de warmte verloren gaat  
 $R = 19$  m en  $U_m$  volgt uit grafieken en is  
een functie van  $H/R$  en is 0.46 -

$j_i =$  warmtegeleidingscoëfficiënt van het isole-  
rende pakket  $j_i = 2$  W/m.K

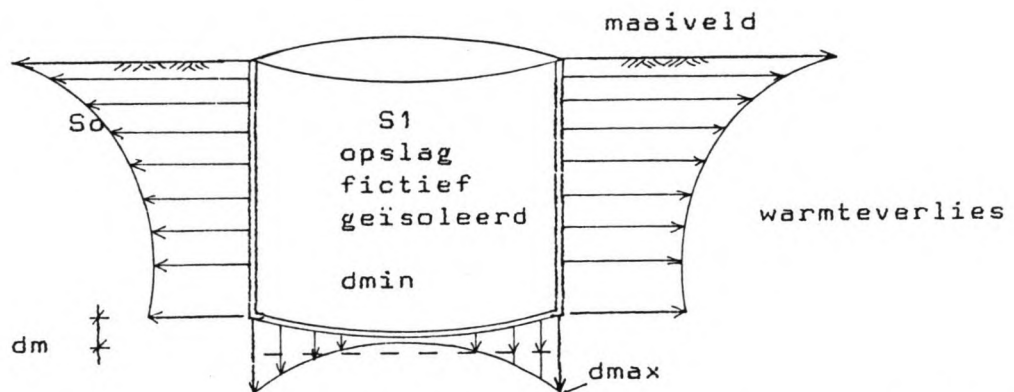
$j_o =$  warmtegeleidingscoëfficiënt van het ongeï-  
soleerde pakket  $j_o = 2$  W/m.K

$T_1, T_0 =$  de oppervlakte temperaturen van het geïso-  
leerde en het niet geïsoleerde gebied



Figuur 24. Warmteverliezen van cilindrische opslag aan buitenlucht en aan grond. Niet op schaal.  
 $S_1$  fictief geïsoleerde oppervlakte, de warmteopslag.  
 $S_0$  omringende oppervlak dat door lucht begrensd wordt, niet geïsoleerd.  
 $T_1$  en  $T_0$  zijn de temperaturen die horen bij  $S_1$  en  $S_0$ .

De verdeling van  $U_m$  over de vloer, wand, randen van de opslag is de essentieel onbekende. De  $U$  verdeling geeft de inverse van de isolatie verdeling. Waar  $U$  groot is kan  $d$  (dikte van de isolatie  $m$ ) klein zijn. In de hoeken moet de isolatie het grootst zijn en aan de randen het kleinst om zo min mogelijk, optimaal, warmteverlies te hebben. Bij de randen, hoeken, is meer warmteverlies mogelijk omdat deze hier in twee richtingen kan worden afgestaan. Zie figuur 25.



Figuur 25. Isolatie dikte is recht evenredig met warmteverlies.

Belangrijk is de waarde van  $U_m =$  gemiddeld eenheidswarmteverlies, omdat deze in (c) het gemiddeld warmteverlies door het geïsoleerde opper-

vlak S1 geeft.

Analytisch kunnen 2 gevallen berekend worden, namelijk een oneindig lange plaat 2-dimensionaal en een cirkelvormige plaat 3-dimensionaal. Veel meer varianten zijn met behulp van de computer te berekenen. De analytische-berekeningen dienen om de numerieke- te controleren. Enkele uitkomsten:

|                       |                          |                      |
|-----------------------|--------------------------|----------------------|
| Cirkel                | $U_m=4/3 \cdot \pi=0.44$ | $U_{max}=2/\pi=0.64$ |
| Vierkant              | $U_m=0.52$               | $U_{max}=0.73$       |
| Rechthoek(1:2)        | $U_m=0.66$               | $U_{max}=0.92$       |
| $\infty$ -lange plaat | $U_m=\pi/4=0.79$         | $U_{max}=1.00$       |

Aldus wordt een optimale isolatiedikte berekend. In de praktijk komt het echter veel meer voor dat de isolatie uniform verdeeld is. De formule (c) waarin met  $d_m$  en  $U_m$  is vergeleken met computerberekeningen voor het warmteverlies met constante isolatiedikte.

De verschillen zijn klein als de isolatiedikte groot is. Als de dikte groter is dan  $3 \cdot d_{min}$  is de fout kleiner dan 2.5 %. Dat betekent dat formule (c) gebruikt kan worden voor alle berekeningen. Conclusie is dat er een formule is verkregen waarmee warmteverlies naar de grond op eenvoudige wijze berekend kan worden.

Formule (c) is ontworpen voor gebouwen. En berekent daarvoor de isolatiedikte benodigd om zo min mogelijk warmteverlies naar de grond te hebben. Des te groter het gebouw des te groter wordt de benodigde isolatiedikte. Voor heel grote gebouwen heeft deze formule dan ook geen praktische betekenis meer. Voor de opslag wordt uitgegaan van een gemiddelde isolatiedikte  $d_m=20$  m. Voor een gebouw zou dit ondoenlijk zijn. Toch wordt er voor een eerste indruk van de warmteverliezen uitgegaan van deze waarde van  $d_m$  voor de opslag.

Er is hier voor een stationair model gekozen omdat de temperaturen in de grond per dag bijna niet variëren door de grote massa en per jaar blijven ze ook nog binnen een acceptabele marge, met amplitude van  $9^\circ\text{C}$ . Om de juiste uitkomst te krijgen zal vergelijking (a) opgelost moeten worden.

Het is jammer dat er weinig aandacht is besteed aan verliezen ten gevolge van grondwaterstromingen. Deze zullen apart uitgerekend moeten worden.

Voor berekening van de indirecte warmteverliezen zoals aangegeven in figuur 24 wordt formule 3 gebruikt.

$$Q_3 = A \cdot t \cdot q_1 = (T_1 - T_0) / (d_m / J_i + R \cdot U_m / J_0) \cdot A \cdot 1 \text{ jaar MWh} \quad (3)$$

met:  $d_m$  = dikte van het isolatiepakket dat groter

moet zijn dan  $d_{min}$ .  $d_m=20$  m

$$d_{min} = J_i / J_0 \cdot R \cdot (U_{max} - U_{min}) = 6.84 \text{ m}$$

$$J_i = J_0 = 2 \text{ W/m.K}$$

$$R = 19 \text{ m}$$

$U_{max} - U_{min} = f(H/R)$  met  $H=20$  m en  $R=19$  m levert dit volgens de grafieken  $U_{max} - U_{min} = 0.36$  -

$U_m$  = de gemiddelde eenheidswarmteflux en  $U_{max}$  en  $U_{min}$  zijn de maximale en minimale gemiddelde eenheidsflux. Ze zijn allen een functie van  $H/R$ .  $U_m = 0.46$  -

$H$  = de hoogte van de opslag  $H=20$  m

$A$  = Oppervlakte waardoor de warmte ontsnapt namelijk de onder- en de zijkant.  $A=3522 \text{ m}^2$

$t$  = aantal uren per jaar  $t=24 \cdot 365=8760$  uren

$$Q_3 = 2.147 \cdot (T_1 - T_0)$$

$$\text{MWh} \quad (3).$$

(3) Geldt voor een cilindrische opslag zonder grondwaterstroming en de grond geschematiseerd tot een homogene laag.

### 3.3.4 Warmteverliezen Aan De Grond

De totale hoeveelheid afgestane warmte van de opslag aan de omgeving wordt berekend door de bergingsenergie van de opslag over de verschillende temperatuurcilinders en de verschillende volumecilinders te integreren voor een homogene grondlaag volgens:

$$E\text{-totaal opslag} = E1 = \int 1 \cdot c1 \cdot \Sigma V2i \cdot T2i \text{ MJ.} \quad (D)$$

Tussen een  $0 < R < 19$  m en een diepte  $0 > D > -20$  m. Totale volume opslag =  $\pi \cdot 19^2 \cdot 20 = 22682$  m<sup>3</sup>.

Vervolgens wordt de bergingsenergie van de omgeving berekend, hiervoor is genomen de grens van de temperatuurmetingen. De temperatuurwaarden op deze grens zijn voor  $R = 59$  m rond de  $10$  °C en voor de gekozen diepte van  $D = -20$  m tussen de  $15$  tot  $10$  °C afhankelijk van de afstand tot het centrum van de opslag. Dit levert:

$$E\text{-totale gebied} = E2 = \int 2 \cdot c2 \cdot \Sigma V2i \cdot T2i \text{ MJ.} \quad (E)$$

Tussen een straal  $0 < R < 59$  m en een diepte  $0 > D > -30$  m, is het totale volume van het gebied  $328076$  m<sup>3</sup>.

Teruggerekend naar een opslag met een volume van  $22682$  m<sup>3</sup> is dit een bergingsenergie van:

$$E3 = (22682 / 328076) * \int 2 \cdot c2 \cdot \Sigma V2i \cdot T2i \text{ MJ.} \quad (F)$$

Het verschil tussen  $E1$  en  $E3$  is de totale afgestane energie van de opslag aan de grond en lucht, dus omgeving.

$$E1 = 2.7 * \Sigma V1i \cdot T1i \text{ MJ}$$

$$E2 = 2.7 * \Sigma V2i \cdot T2i \text{ MJ}$$

$$E1 - E3 = 2.7 * \Sigma V1i \cdot T1i - 2.7 * (22682 / 328076) \cdot \Sigma V2i \cdot T2i \quad (G)$$

$$Q4 = (E1 - E3) / 3600 \text{ MWh} \quad (4)$$

Voor temperatuurgrafieken zie bijlage 4.

De warmteverliezen aan de grond buiten de opslag is het verschil tussen de totaal afgestane warmte volgens (4) en de verliezen volgens (1), (2) en (3):

$$Q_{\text{grond}} = Q5 = Q4 - (Q1 + Q2 + Q3) \quad (5)$$

Zoals uit het voorgaande blijkt is de moeilijkheid het vinden van de indirecte- $Q3$  en de grond- $Q4$  verliezen.

Voor de verliezen zie tabel 5.

Uit tabel 5 blijkt dat er is getracht de warmte verliezen uit te drukken in exponentiële machten. Het ? voor  $Q2$  op 01-09-'87 is op deze manier verkregen uit de e-macht die er bij hoort. Datzelfde geldt ook voor het ? in de laatste kolom van Q-gemeten.



| Warmteverliezen opslag R=19 m<br>MWh /jaar | '85 | '86 | 01-09-'87 |
|--|-----|-----|-----------|
| Qtotaal=Q4(=994-627*exp(-.094*t))          | 367 | 423 | 474       |
| Qgemeten (=994-632*exp(-.094*t))           | 362 | 424 | 470 ?     |
| Qaccum.=Q1(= 74*exp(-.122*t))              | 74  | 70  | 58        |
| Qdirekt=Q2(=125-45*exp(-.548*t))           | 80  | 99  | 110 ?     |
| Qindir.=Q3(= 55-16*exp(-.811*t))           | 39  | 48  | 52        |
| Qgrond =Q5(=110+ 64*exp( .405*t))          | 174 | 206 | 254       |

Tabel 5. Warmteverliezen van de opslag aan omgeving.

Enkele oorzaken van de indirecte verliezen via de grond naar de buitenlucht zijn:

Het wegvoeren van warmte uit het opslaggebied door grondwaterstromingen in en door de opslag. Deze kunnen veroorzaakt worden door de convectiestromingen ten gevolge van dichtheidsverschillen door verschil in temperaturen binnen en vooral buiten de opslag, de zogenaamde vrije-convectie. Dit convectieverlies wordt berekend middels:

$$q_{\text{convectie}} = q_c = \alpha_c \cdot (T_1 - T_2) \text{ W/m}^2$$

met:  $\alpha_c$  = warmteovergangscoefficiënt  $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$

$(T_1 - T_2)$  = verschil in temperatuur tussen verschillende temperatuurringen  $^{\circ}\text{C}$  of  $^{\circ}\text{K}$ , zie bijlage 4, temperatuurverdeling warmteopslag.

Het probleem is het vinden van de coëfficiënt  $\alpha_c$ .

Voorts kunnen de grondwaterstromingen een gevolg zijn van natuurlijke waterstandsverschillen over de opslag, door bemaling, door de ringdrainage die dieper is komen te liggen dan de bedoeling was en door fluctuaties in de grondwaterstand onder zowel als in de opslag die het water in de opslag konstant met kouder water verversen. De topisolatie kan door de vele meet- en peilbuizen ook lek zijn en daardoor kouder regenwater van zo'n  $10^{\circ}\text{C}$  in de opslag doen stromen.

Enkele oorzaken van de warmteverliezen aan de grond kunnen zijn: Lekkage van warm water door de ondoorlatende kleilaag. Hierdoorheen zijn namelijk enkele peilbuizen geprikt. Ze zijn weliswaar met bentoniet, afgesloten aan de buitenkant daar waar ze een kleilaag passeren.

De vraag is of die afsluiting wel goed is vooral omdat het niet geheel zeker is waar de ondoorlatende kleilaag loopt. Zie hiervoor figuur 8. Deze figuur komt niet geheel overeen met figuur 7 die voor de berekeningen is gebruikt. Beide figuren staan onder hoofdstuk 2 grondopbouw.

Voorts bestaat er nog de mogelijkheid dat er kouder kwelwater van onder de afsluitende laag de opslag in komt.

## 4 Warmteverliezen

In dit hoofdstuk zal getracht worden aan te geven hoe groot de warmteverliezen zijn die optreden vanuit de warmteopslag. Vooral zal geprobeerd worden om aan te geven hoe de verliezen verder zijn onderverdeeld. Dat betreft de verliezen naar de buitenlucht via de grond, de indirecte warmteverliezen Q3 en de warmteverliezen naar de grond, de grondverliezen Q5.

### 4.1 Geborgen Warmte

In deze paragraaf zal berekend worden wat de temperatuur toename van de opslag en het beschouwde gebied is. Aan de hand hiervan wordt de toe- of afname van de geborgen hoeveelheid warmte bepaald. Ter beschikking staan temperatuurprofielen vanaf 1983 tot en met oktober 1987. De profielen van de dagen 150, 250, 450, 550 en 650 zijn te vinden in bijlage 4.

Om beter na te kunnen gaan in welk gedeelte van het beschouwde gebied de meeste warmte geborgen wordt, wordt de opslag onderverdeeld in 4 blokken (geschematiseerde cilindervormen).

Via de bergingsvergelijking  $Q_{in} = Q_{out} + dE/dt$  MWh/jaar zal aan het einde van hoofdstuk 4, in paragraaf 4.5, een afschatting van de verschillende warmtestromen gemaakt worden.

Hier wordt ingegaan op de term  $dE/dt$ . Dit is de toe- of afname van de geborgen hoeveelheid warmte, energie, per beschouwde tijdsperiode. Voor die periode is een jaar gekozen.

De temperaturen zijn in drie richtingen bepaald. Zie bijlage 4. In alle richtingen is een vrijwel axiaal-symmetrisch beeld van de temperatuurverdeling te zien.

De grond wordt beschouwd als een homogeen pakket met een gemiddelde warmtecapaciteit per m<sup>3</sup> van  $\rho \cdot c = 2.7$  MJ/m<sup>3</sup>.K. Dit is een vereenvoudiging zie ook tabel 2, hoofdstuk 2.1.2.

De temperatuurprofielen van elke eerste van de maand vanaf 02-03-83 tot en met 01-10-87, zijn gebruikt.

Vanaf 02-03-83 tot 01-05-84 is de opslag opgewarmd zonder zonnecollectoren. De huizen met zonnecollectoren zijn tussen 01-05-84 en 26-10-84 gebouwd. Van deze periode zijn geen meetgegevens beschikbaar. Na 26-10-84 tot en met 01-10-87 is de opslag gevoed door de zonnecollectoren van de huizen.

De berging per blok wordt berekend volgens:

$$E = \rho \cdot c \cdot \sum (V_i \cdot T_i) / (3600 \cdot \sum V_i) \quad \text{MWh/m}^3 \quad (2)$$

met:  $\rho \cdot c$  = gemiddelde warmtecapaciteit van de opslag  
= 2.7 MJ/m<sup>3</sup>.K

$V_i$  = volume van beschouwde cilinder  $i$  binnen beschouwde blok in m<sup>3</sup>

$T_i$  = gemiddelde temperatuur van beschouwde cilinder  $i$  binnen blok in °C

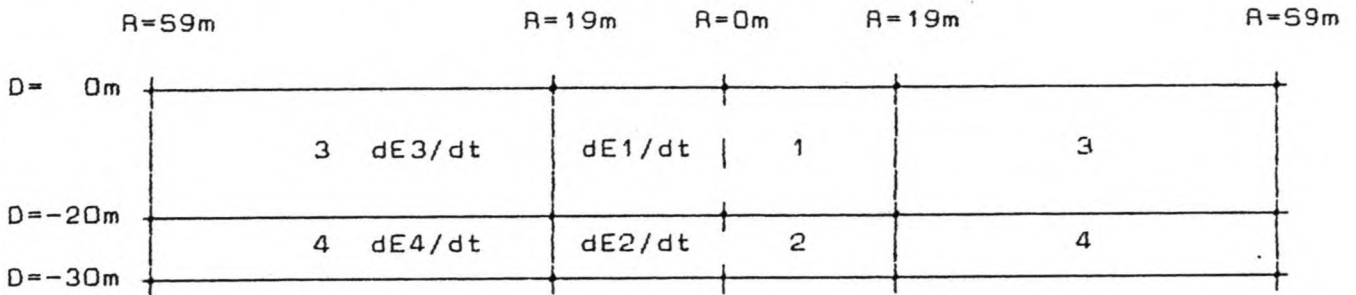
$$dE/dT = (E_{j-1} - E_j) / (t_{j-1} - t_j) \quad \text{MWh/m}^3 \cdot \text{jaar}$$

met:  $E_j$  = gemiddelde energie van jaar  $j$  MWh/m<sup>3</sup>  
 $t_{j-1} - t_j$  = beschouwde periode hier 1 jaar

Opmerking met betrekking tot temperatuur  $T_i$  en volume  $V_i$ .

Een blok (geschematiseerde cylinder) wordt onderverdeeld in nog kleinere cylinders. De begrenzingen van die laatste cylinders worden bepaald door de temperatuurverdeling  $T_i$  binnen zo'n blok. Ditzelfde geldt ook voor de volumes  $V_i$ . De gemiddelde geborgen warmte per blok wordt berekend volgens formule (2).

De hoeveelheid energie wordt per  $m^3$  genomen omdat op deze manier de blokken beter met elkaar vergeleken kunnen worden, ze hebben immers allen een verschillend volume. Voor de indeling van het gebied zie figuur 26.



Figuur 26. Indeling gebied en toe- afname hoeveelheid geborgen warmte.

Voor hele gebied geldt  $\rho \cdot c = 2.7 \text{ MJ/m}^3 \cdot \text{K}$ .

Voor het verloop in de tijd van de geborgen hoeveelheid energie zie figuur 27 a,b,c,d,e. Het gemiddelde temperatuurverloop binnen de blokken is rechtevenredig met de hoeveelheid geborgen energie. Dit laatste volgt uit vergelijking (2) in het begin van het hoofdstuk.

Uit figuur 27 d en e volgt dat de geborgen energie vrij constant is en dus ook dat de temperatuur in de blokken 3 en 4 vrij constant is. Het gaat hier om een verschil van 2 tot 10 MWh teruggerekend naar de opslag (blok 1). Dit constante gedrag geldt voor de blokken 3 en 4 vanaf 02-03-83 t/m 01-10-87.

Blok 3. Het grootste verschil is zichtbaar tussen begin '85 en '86. Uit de temperatuurmetingen van de buitenlucht volgt, zie ook bijlage 3a, dat het voorjaar van '85 ca. 5 °C warmer is dan dat van '86. Dit is vermoedelijk de grootste oorzaak van het bergings- en temperatuurverschil.

Blok 4. In het begin van '85 geeft de berging een onregelmatig verloop te zien. Dit kan voor een groot gedeelte toegeschreven worden aan de koudere bovenlucht, die via geleiding verder het gebied indringt. Wat opvalt is dat de opslag steeds warmer wordt in volgorde '85, '86, '87. In '85 is de gemiddelde jaartemperatuur 10.03 °C, in '86 is dat 10.24 °C en in '87 10.90 °C.

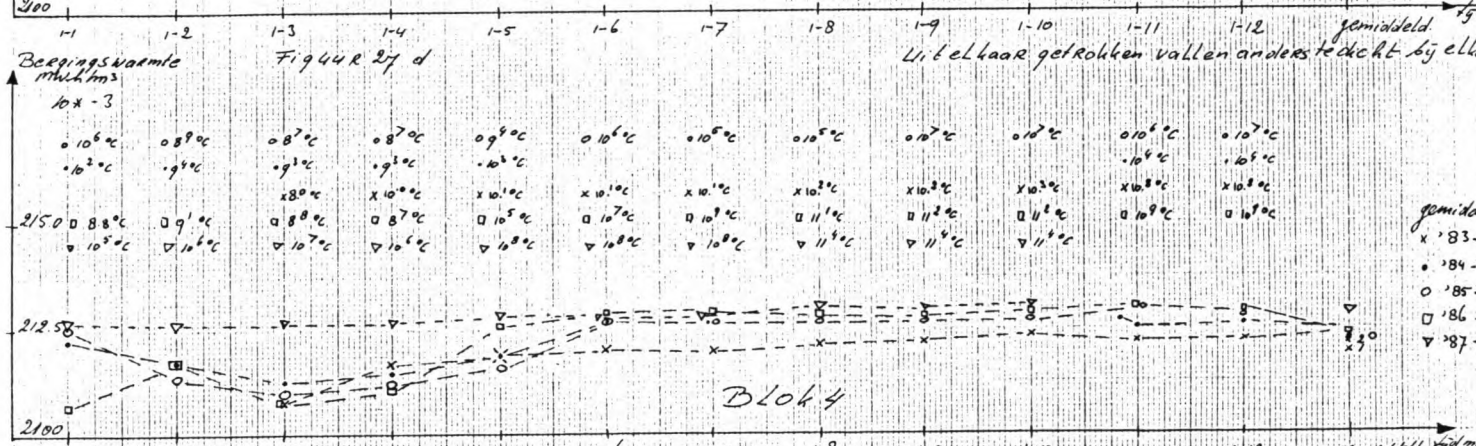
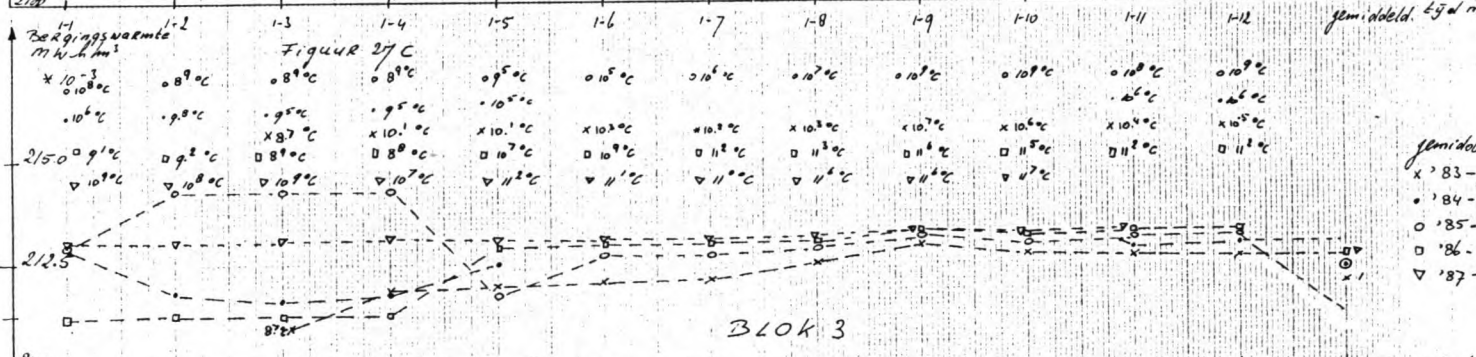
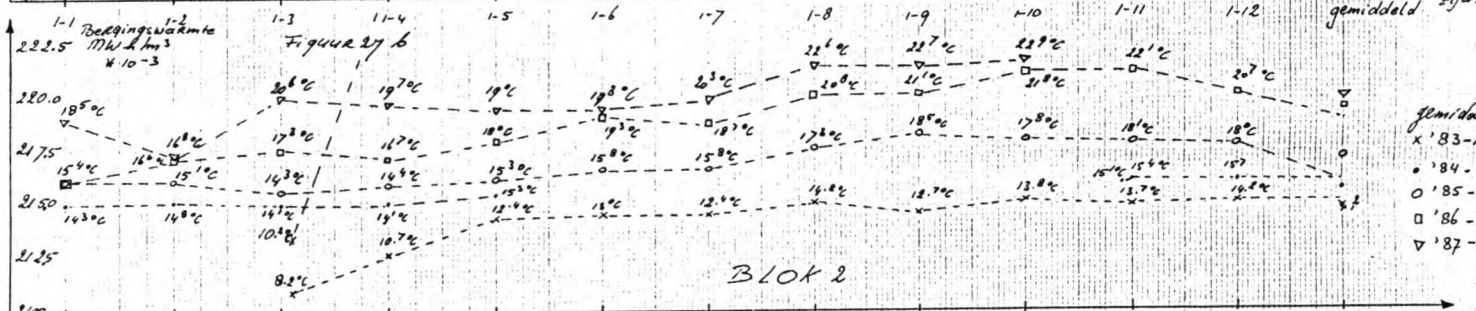
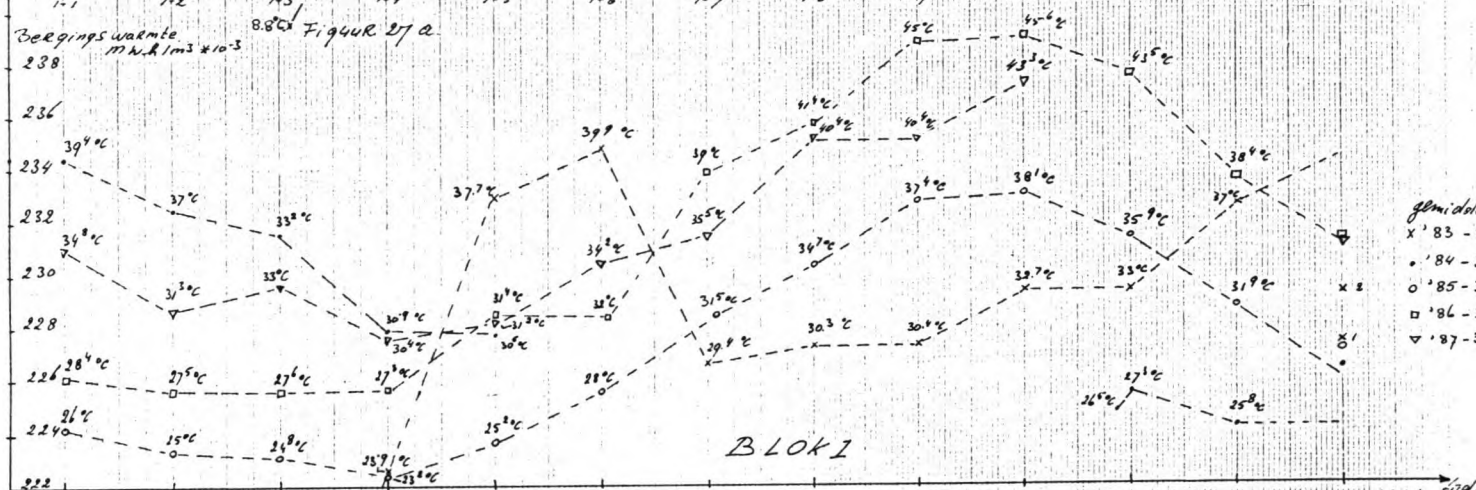
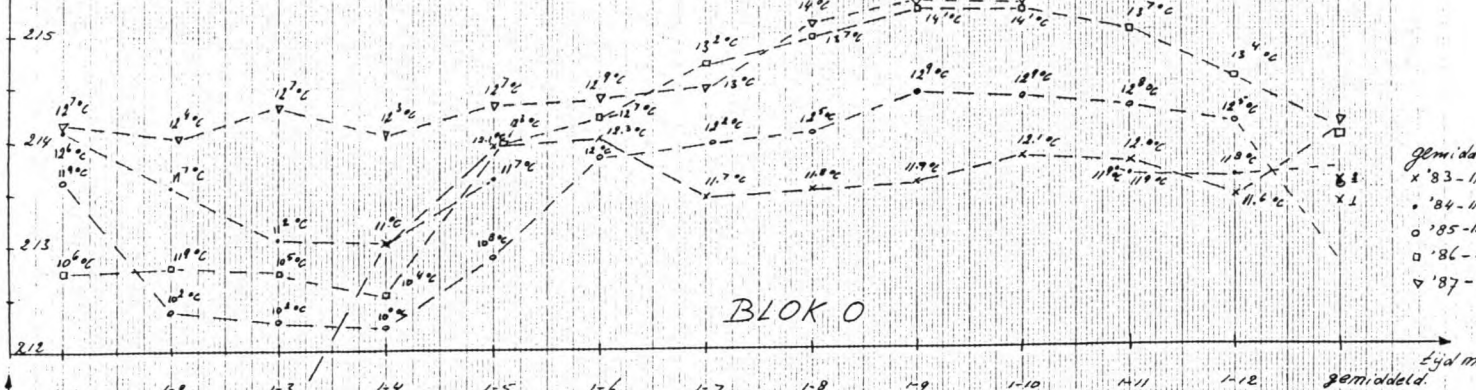
Uit temperatuurmetingen van de laatste 3 maanden van '87, 01-08, 01-09 en 01-10, blijkt ook dat de temperatuur op R=59 m en D=-30 m uit het centrum plotseling met ca. 1 °C is toegenomen. Dit is hoogst waarschijnlijk het gevolg van een defecte meter.

Verder is in '83 de temperatuur in het blok het laagst wat ook wel te verwachten is want de warmtegeleiding is dan nog maar pas begonnen en lekkages komen (nog) niet voor?

Blok 2. Warmte toename is te zien vanaf '83 tot en met '87, geleiding is hiervan de oorzaak. Het verschil in temperatuur wordt steeds kleiner, zie de lijn van '86 en '87. In het begin van '87 is ook een



Bergingswaerme  
MWh/m<sup>2</sup> × 10<sup>-3</sup>



Figuur 27 a  
 Figuur 27 b  
 Figuur 27 c  
 Figuur 27 d  
 Figuur 27 e  
 zie ook opmerking boven bij 27 d

dol in de berging en dus de temperatuur te zien, dit kan een gevolg zijn van een piek in de buitenluchttemperatuur, zie bijlage 3a, van zo'n 10-15 °C tussen 01-01 en 01-02.

Blok 1, de opslag. Deze wordt ook warmer vanaf 26-10-'84 tot midden juni '87. De temperatuur in de opslag wordt dan minder warm dan het jaar daarvoor in '86. De gemiddelde temperatuur over de beide jaren is nog wel ongeveer hetzelfde maar het lijkt erop dat de opslag zijn stationaire toestand bereikt heeft. De waarden van de berging van voor 26-10-'84 zijn experimenteel en moeten voor vergelijking van die na deze datum buiten beschouwing worden gelaten. In de winter van '83 op '84 wordt er bijvoorbeeld behoorlijk hard doorgestookt, aangevuld, hetgeen voor de laatste periode net andersom is. Wel is te zien dat als er niet meer aangevuld wordt tussen 01-05- en 26-10-'84 dat dan de gemiddelde temperatuur in de opslag snel afneemt van 30.5 tot 26.5 °C, dat is ca. 68 MWh in 4 maanden.

Blok 0, het hele beschouwde gebied. Weer is toename van de temperatuur te zien en weer is de toename vanaf 26-20-'84 steeds minder groot. Een stationaire toestand lijkt ook hier in zicht. Opvallend is dat '87 warmer begint dan '85 en '86 tot half juni '87, het temperatuurverloop van de opslag, blok 1, speelt hierbij een grote rol.

#### Algemeen:

De temperatuur en dus ook de bergingswarmte lopen op van '85, '86 tot '87, maar het verschil wordt steeds kleiner. Een stationaire toestand lijkt in zicht.

Vanaf half juni '87 neemt de bergingswarmte en dus de temperatuur in de opslag minder hard toe dan in de voorgaande perioden van '85 en '86. Blok 2 vertoont een vlakker verloop in deze periode. Een ander kan een gevolg zijn van te grote vereenvoudigingen omdat over deze laatste 3 maanden van '87 maar beperkt gegevens beschikbaar zijn, of meet- of meterfouten.

Bij de berekening is uitgegaan van de gemiddelde berging per jaar dit in tegenstelling met wat in hoofdstuk 3 is gedaan. Daar is de berging berekend uit het verschil in temperatuur aan het begin van het jaar en het einde.

De reden waarom hier niet voor gekozen is, is dat de schommelingen over een jaar soms groot zijn, zie figuur 27. Door het nemen van gemiddelden worden deze fluctuaties uitgevlakt.

In tabel 6a zijn de veranderingen in bergingswarmte aangegeven in MWh/m<sup>3</sup>/jaar.

|       | dE1/dt<br>MWh/m <sup>3</sup> | dE2/dt | dE3/dt | dE4/dt | dE0/dt |
|-------|------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| 84-85 | +2.72                        | +0.676 | -0.365 | -0.315 | -0.103 |
| 85-86 | +4.09                        | +2.02  | +1.87  | +1.56  | +5.06  |
| 86-87 | -0.107                       | +0.903 | +0.513 | +0.497 | +0.482 |

Tabel 6a. Alle waarden in tabel vermenigvuldigen met 10<sup>\*\*</sup>-3.  
Een + teken betekent een toename aan bergingsenergie ten opzichte van het voorafgaande jaar voor dEj/dt.  
Voor een - teken dus afname.



Bergings toe- afname blokken 1 t/m 4, tabel 6b:

|        | 84-85 | 85-86 | 86-87 |
|--------|-------|-------|-------|
| dE1/dt | 62    | 92    | - 2   |
| dE2/dt | 8     | 23    | 10    |
| dE3/dt | -72   | +37   | +101  |
| dE4/dt | -31   | +15   | + 49  |
| dE0/dt | -34   | +166  | +158  |

Tabel 6b. Bergingswarmte toe- afname in MWh voor desbetreffende blok, 0 t/m 4, per jaar.

Volume blok 1=22682 m<sup>3</sup>, blok 2=11341 m<sup>3</sup>, blok 3=196036 m<sup>3</sup>, blok 4=98019 m<sup>3</sup> en van blok 0=328077 m<sup>3</sup>.

Voorbeeld dE3/dt=-72 voor 84-85 betekent: 72 MWh minder energie geborgen in blok 3 in 85 ten opzichte van 84.

Voor de warmte toename van de blokken zie de tabel 6b.

De waarden van dE0/dt zijn aan de hoge kant voor de perioden 85-86 en 86-87. De reden is dat het volume van het gehele gebied vrij groot is. Via de formule  $E = \int c \cdot \Sigma V_i \cdot T_i / 3600$  wordt daardoor de bergingsverandering in de tijd dE/dt ook groot.

In blok 1 is de bergingsverandering tussen '86 en '87 zeer klein en neigt naar een stationaire toestand in blok 1, de opslag. Voor de overige blokken kan dat nog niet gezegd worden.

Hieronder is tabel 5 nogmaals afgedrukt en worden de toe- afname van de berging in de opslag, blok 1, met elkaar vergeleken. Zie ook tabel 6b.

| dQ MWh     | 85  | 86  | 87  |
|------------|-----|-----|-----|
| Qtotaal=Q4 | 362 | 424 | 470 |
| Qdirekt=Q2 | 80  | 90  | 110 |
| Qindir.=Q3 | 39  | 48  | 52  |
| Qgrond =Q5 | 174 | 206 | 254 |
| Qberg. =Q1 | 74  | 70  | 58  |

Tabel 5. Warmteverliezen van de opslag aan de omgeving

Tabel 5 is berekend uit de energieverliezen van het einde van het beschouwde jaar ten opzichte van het begin van dat jaar. De berging volgens tabel 6b verloopt anders dan in tabel 5. Voor tabel 6b is gebruik gemaakt van jaargemiddelden. De temperatuur en de berging, worden daardoor egaler verdeeld over het hele jaar. Vooral voor 86-87, laatste kolom 6b, levert dit een kleine bergingsafname op en die is voor tabel 5 voor 87 nog 58 MWh toename.

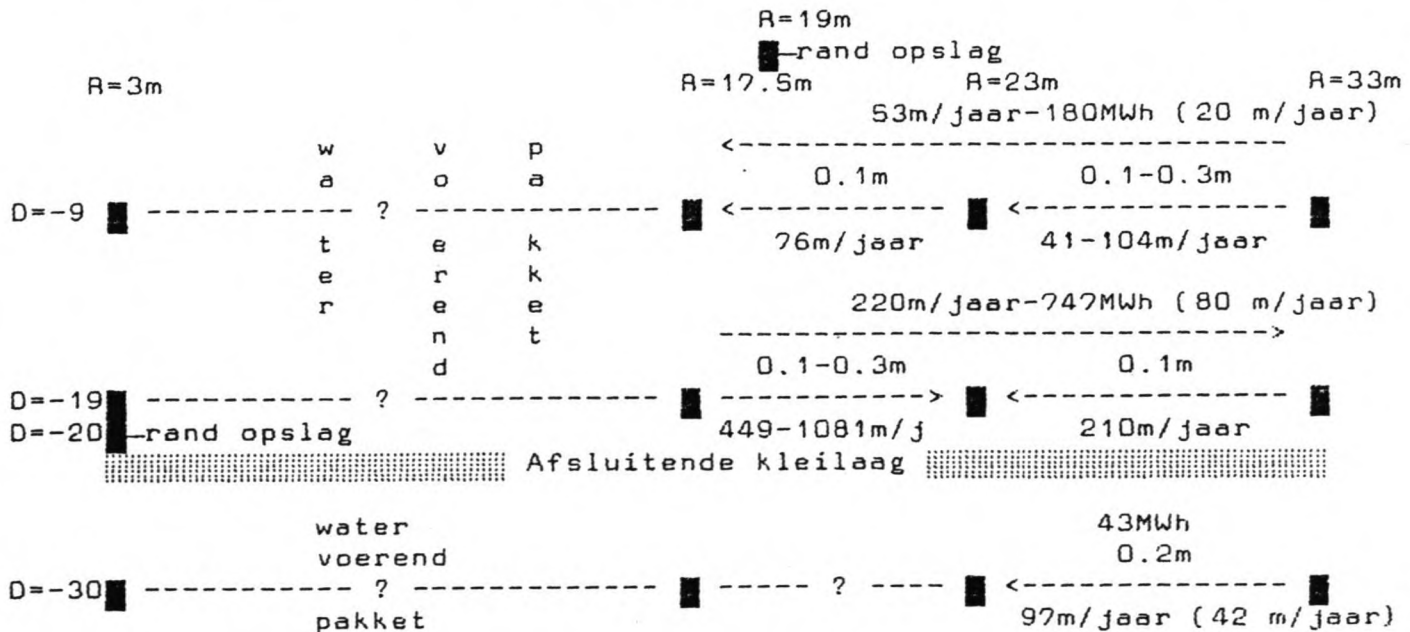
Samenvattend:

De buitentemperatuur heeft vooral invloed op de berging en de gemiddelde temperatuur in blok 3 en lijkt ook nog door te werken op de bergingen en temperaturen in de blokken 4 en 2. De temperatuur in de opslag is meestal laag tijdens deze koude buiten temperaturen. Er wordt dan veel warmte aan de bodem onttrokken. Volgens figuur 27 hebben de opslag, blok 1 en het totale gebied, blok 0, hun stationaire toestand bijna bereikt. Voor blok 1 volgt dat ook uit de berekening van de bergingswarmte, zie tabel 6b, maar voor blok 0 is dat niet zo duidelijk zichtbaar in diezelfde tabel.

#### 4.2 Grondwaterstromingen

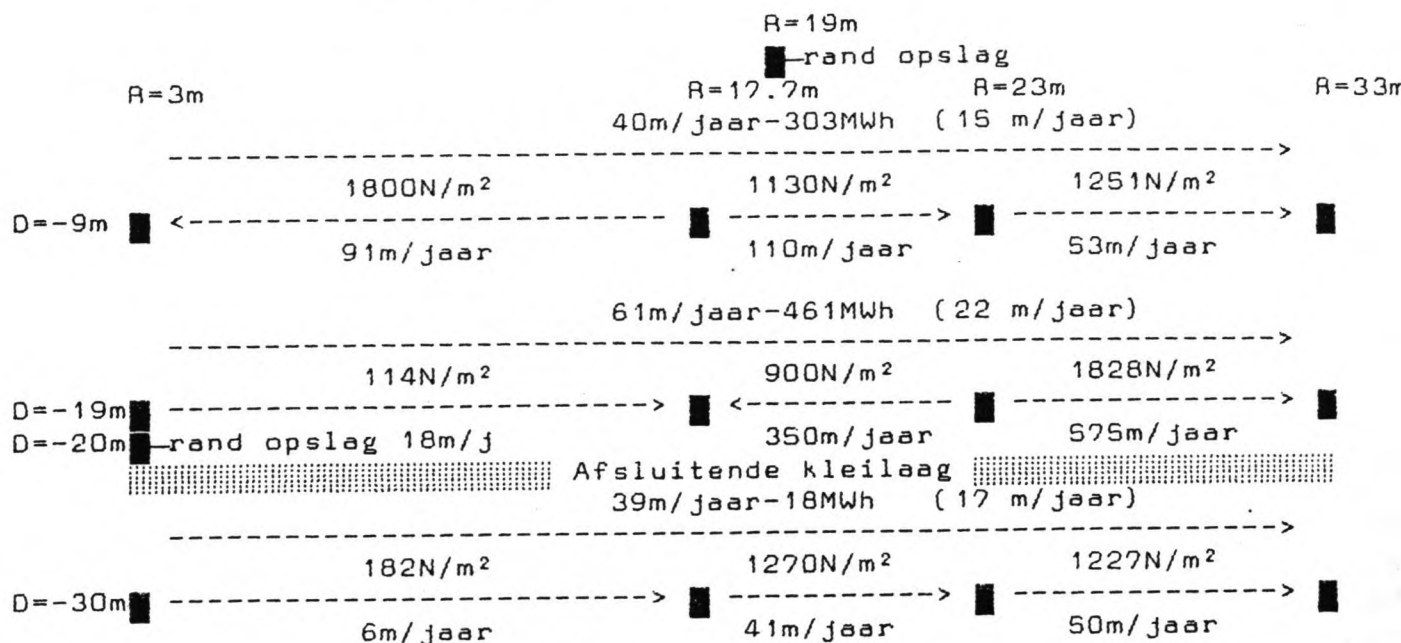
Verliezen ten gevolge van de grondwaterstromingen leveren een bijdrage aan zowel de indirecte Q3 en de grondverliezen Q5. Uit de berekeningen lijken de grondwaterstromingen de grootste verliezen op te leveren. Ze zijn vooral groot voor '85/'86. Voor de optredende grondwatersnelheden zie de figuren 10 en 13 onder paragraaf 2.1.2 punt 5, grondopbouw. Uit figuur 10 blijkt dat de optredende snelheden voor zover bekend groot zijn. Vooral op een diepte van 19 meter onder maaiveld is een hoge snelheid gemeten. Het betreft de poriesnelheden. Aan de juistheid van de snelheid op -19 m wordt getwijfeld. In figuur 13 zijn de snelheden gegeven van metingen op 01-09-'87. Deze lijken realistischer.

Bij het bepalen van de verliezen door de horizontale snelheden door de opslag is van een snelheid uitgegaan die ontstaat door het drukverschil tussen  $R=3$  en  $R=33m$  voor de metingen van 01-09-'87. Voor de periode '85/'86 is op dezelfde manier de gemiddelde snelheid bepaald, door de drukken van de verst afgelegene stralen met elkaar te vergelijken. Zie figuur 28 en 29.



Figuur 28. Optredende horizontale drukverschillen, poriesnelheden en warmteverliezen uit de opslag met  $R=19 m$  en  $D=-20 m$ .

De Darcy-snelheid staat tussen haakjes. Voor het jaar '85/'86 in raai A.



Figuur 29. Warmteverliezen, poriesnelheden en drukverschillen in horizontale richting door de opslag R=19 m D=-20 m. Darcy-snelheid tussen haakjes. Voor 01-09-'87 in raai A.

In de figuren 28 en 29 zijn de warmteverliezen van het opslagaquifer aangegeven aan de omgeving door grondwaterstromingen. Dit verlies wordt berekend door het verschil in gemiddelde opslagtemperatuur te vergelijken met de temperatuur die heerst net buiten de opslag. Dit water gaat namelijk het water in de opslag vervangen. In tabel 7 is aangegeven wat de gemiddelde temperatuur buiten en binnen de opslag is, verder het temperatuurverschil hiertussen en de verloren gegane warmte door dit verschil.

|     | Tgem opslag<br>°C | Tgem buiten opslag<br>°C | dT<br>°C | Q<br>MWh | Qgem<br>MWh |
|-----|-------------------|--------------------------|----------|----------|-------------|
| '85 | 30.1              | 22.5                     | 7.6      | 129      | 225         |
| '86 | 35.6              | 25                       | 10.6     | 180      |             |
| '87 | 42                | 25                       | 17       | 288      |             |

Tabel 7. Warmteverlies bij 1\* verversen van het warme water binnen het opslaggebied door het koudere water daarbuiten.

Het warmteverlies wordt berekend volgens:

$$Q = \int .c . V . dT / 3600 \quad \text{MWh}$$

met:  $\int .c$  = gemiddelde warmtecapaciteit per volume eenheid  
 = 2.7 MJ/m<sup>3</sup>.K.  
 V = volume van de opslag  
 = 22682 m<sup>3</sup>

$dT$  = Temperatuurverschil tussen gemiddelde temperatuur  
in en net buiten de opslag °C.

Met '87 wordt bedoeld, de waarden berekend van de metingen op 01-09-'87.

Uit figuur 28 blijkt dat de warmteverliezen over de periode '85/'86 hoger zijn dan de optredende totale energieverliezen, zie ook tabel 5 en 6c. Voor mogelijke oorzaken zie hoofdstuk 2. De watervoerende laag waarin de opslag is gelegen wordt aangenomen te liggen tussen onderkant isolatie en bovenkant ondoorlatende kleilaag. Dus globaal tussen de -0.75 tot -22 m N.A.P. De waarden van 01-09-'87, zijn beter. Het gemiddelde verlies van het aquifer boven de afsluitende laag bedraagt  $(303+461)/2=382$  MWh. De stromingsrichting is voor 01-09-'87 van het centrum af gericht. Voor de periode '85/'86 is dat minder duidelijk.

Als ontwerp criterium is gesteld dat bij snelheden boven de 5.00 cm/dag, dat is een Darcy-snelheid van 18 m/jaar, overwogen moet worden om een verticaal ondoorlatend scherm te plaatsen. Onder deze snelheden is een scherm economisch gezien niet interessant, omdat de kosten van het scherm dan hoger zijn dan de besparing op de warmteverliezen. De Darcy-snelheden zijn op 01-09-'87 tussen de 15 en de 22 m/jaar en de norm voor een scherm is zo'n 18 m/jaar, hetgeen ongeveer gelijk is.

Het totale warmteverlies op 01-09-'87 is 474 MWh, zie tabel 5. De geaccumuleerde warmte  $Q_3$  bedraagt bij dit temperatuurverschil 58 MWh. Omdat de waterstand maar op een dag is gemeten wordt gekozen voor het berekenen van de berging uit het verschil in temperatuur tussen begin en einde van het betreffende jaar.

Uitgaande van bovenstaande wordt het nog te vinden warmteverlies:

$$Q_4 - Q_1 - Q_{\text{water}} = 474 - 58 - 382 = 34 \text{ MWh}$$

Nogmaals zei opgemerkt dat het warmteverlies  $Q_{\text{water}}=382$  MWh aan de hoge kant is.

In paragraaf 4.5 zal blijken dat deze warmteverliezen inderdaad een stuk lager liggen. De geschatte temperatuurverschillen over de rand van de opslag zijn te groot.

Hieronder volgt een benadering van de overige warmteverliezen.

#### 4.3 Warmtegeleiding

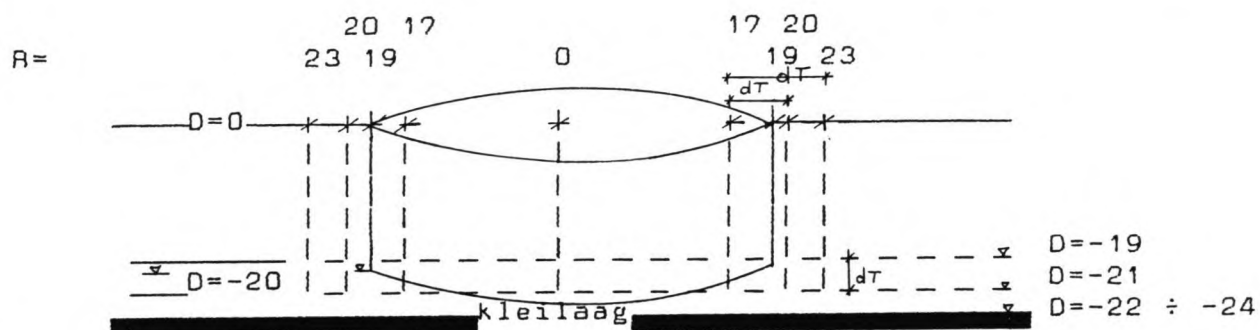
Eerst wordt een schatting gemaakt van de geleidingsverliezen uit de opslag naar de omgeving, daarna een schatting van de verliezen door de kleilaag.

Vanuit de opslag vindt er geleiding plaats in radiale richting (horizontaal) en in verticale richting. Verticaal naar boven en naar beneden. De verliezen via de bovenzijde  $Q_1$  zijn reeds behandeld. Een gedeelte van de indirecte- en grondverliezen respectievelijk  $Q_3$  en  $Q_5$ , zie tabel 5, zijn geleidingsverliezen.

Om meer zekerheid te krijgen over de geleidingsverliezen aan de onmiddellijke omgeving van de opslag worden de temperatuurgradiënten voor de raaien A, B en C, net naast of onder de opslag op die plaatsen waar temperatuuroptnemers zijn geplaatst, geanalyseerd. Uit bij-



lage 4 volgt, dat de temperatuurprofielen bij de horizontale en verticale randen van de opslag ongeveer evenwijdig aan elkaar lopen. De gradiënt over de randen is dus vrij constant op een bepaalde dag. De gradiënten zijn gemiddelden. Zie figuur 30 voor de meetplaatsen.



Figuur 30. De temperatuurgradiënten worden bepaald:  
 Radiaal in A-, B-, C-richting van  $R=17$  tot  $23$  m en voor A ook nog van  $R=17$  tot  $20$  m.  
 Verticaal in A-, B-, en C-richting tussen  $D=-19$  tot  $-21$  m.

#### 4.3.1 Warmtegeleiding Uit Opslag

Uit de temperatuurprofielen volgt, dat de grootste temperatuurgradiënt nabij de randen van de opslag optreedt als de opslag het warmste is. Zie bijlage 4.

Volgens diezelfde bijlage zijn de temperaturen in alle drie de richtingen symmetrisch verdeeld ten opzichte van het centrum van de opslag (axiaal-symmetrisch). Soms is de A-richting, dan de B- en dan weer de C-richting aan de rand het warmst. Nogmaals de verschillen zijn niet groot. Die kleine warmteverschillen aan de rand zijn te verklaren doordat in de richting met de warmste rand een grotere grondwaterstroming, veroorzaakt door natuurlijk verhang van het water in de betreffende laag en of convectie, heerst.

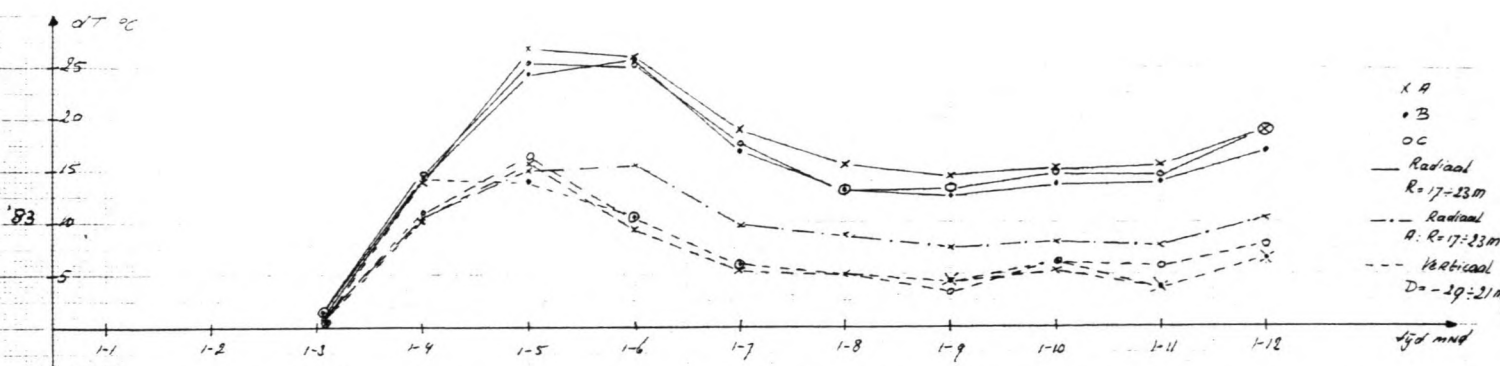
Bij een sterkere grondwaterstroming in een bepaalde richting is de rand daar warmer en uit de temperatuurprofielen is dan ook te zien dat over het algemeen geldt dat de gradiënt over die rand groter is. Dit geldt in ieder geval voor de verticale rand. Aan de hand hiervan kan er een uitspraak gedaan worden in welke richting de grootste horizontale grondwaterstroming optreedt. Daar waar de grootste horizontale gradiënt voor komt, dus over de verticale rand, is de horizontale snelheid het grootst.

Over de verticale gradiënt wordt geen uitspraak gedaan omdat de overeenkomst tussen verticale gradiënt en grondwaterstroming niet zo duidelijk is als bij de horizontale.

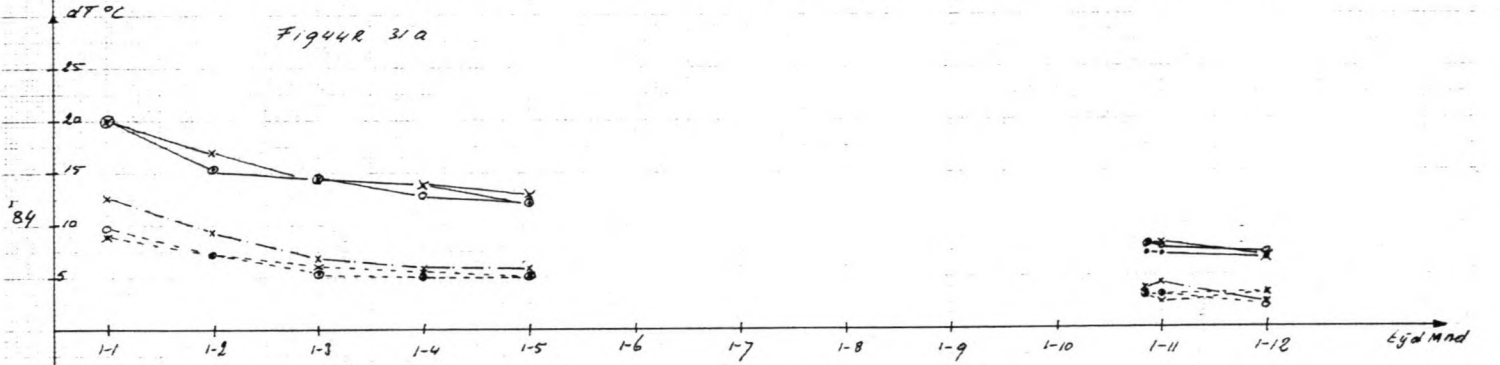
De symmetrische temperatuurprofielen geven geen aanleiding om aan te nemen dat er een sterke grondwaterstroming in het gebied voorkomt, die in een bepaalde richting overheerst. Gezien de temperatuurverdeling kan een stroming van uit het centrum naar de randen worden verwacht, die in alle drie de richtingen nagenoeg even groot is.

In de figuren 31 a,b,c,d en e zijn de resultaten van de horizontale en de verticale temperatuurgradiënt te zien voor de jaren 83, 84, 85, 86 en 87.

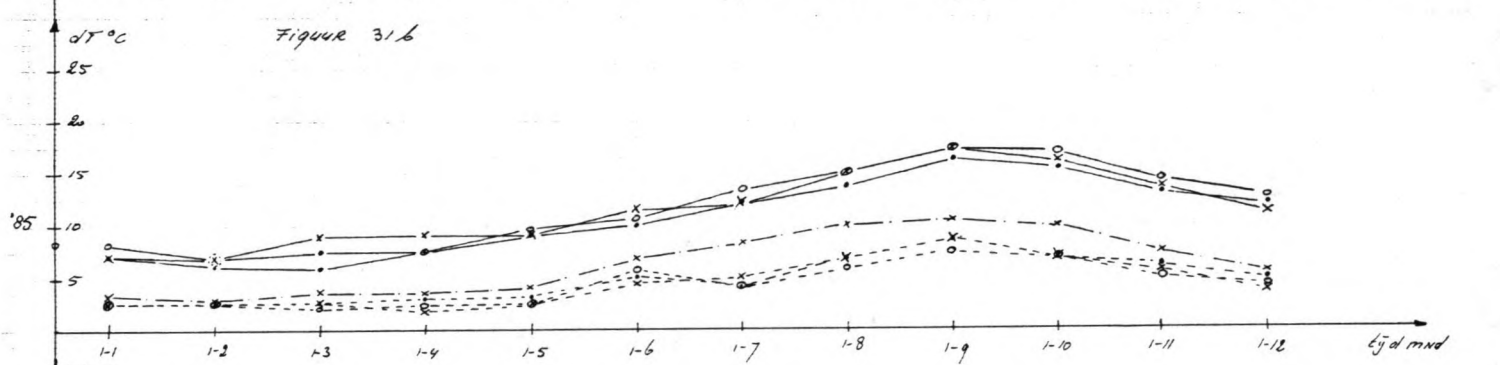




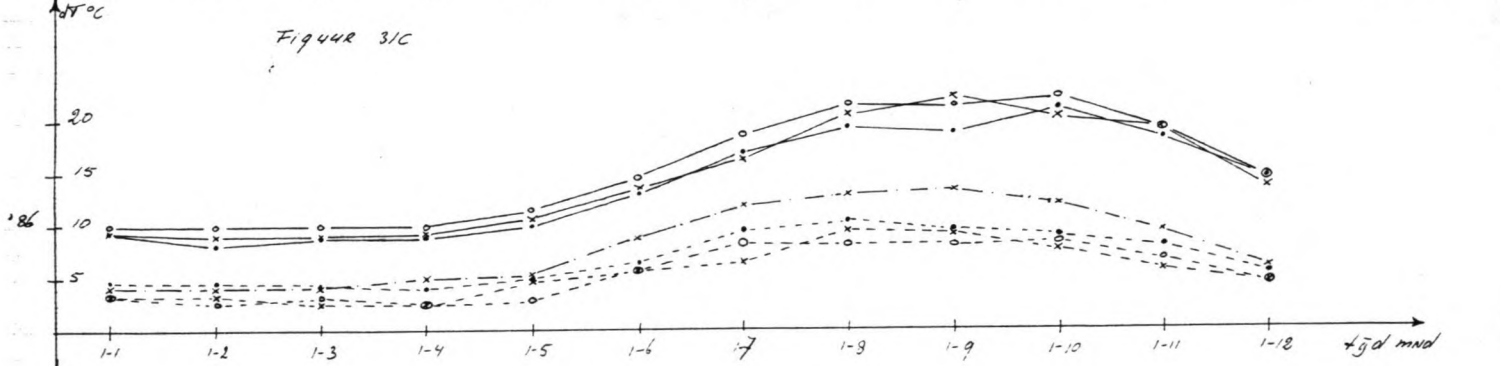
FIGUUR 31A



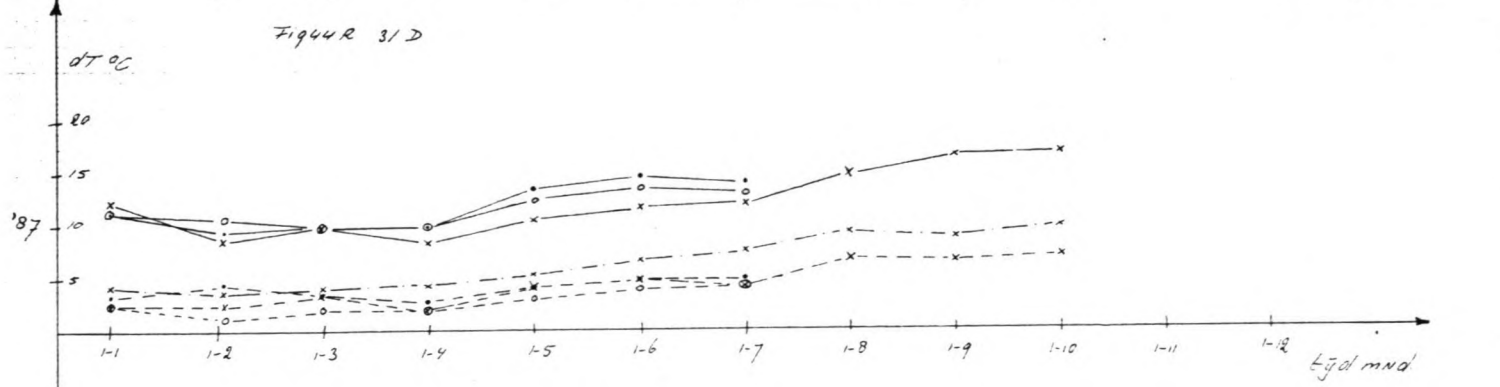
FIGUUR 31B



FIGUUR 31C



FIGUUR 31D



FIGUUR 31E

x A - richting  
 o B - richting  
 c C - richting  
 — Radiale-temperatuurgradient tussen R=17 en R=23 m A, B-, C-richting  
 --- Radiale-temperatuurgradient tussen R=17 en R=20 m A-richting  
 - - - Verticale-temperatuurgradient tussen D=-19 en D=-21 m A-, B- en C-richting.

Commentaar figuur 31:

'83. De opslag wordt geleidelijk aan opgewarmd en heeft volgens figuur 27, blok 1, zijn maximale temperatuur op 01-06-83. De grootste temperatuurgradiënt treedt ook rond die tijd op. Zeker voor de B richting voor A en C is dat minder duidelijk. De gemiddelde temperatuur in de opslag is dan circa 40 °C.

Uit een verder vergelijk van figuur 31 met 27 volgt dat beide grafieken elkaar goed volgen wat de horizontale temperatuurgradiënt betreft. Uit figuur 31 volgt dat de horizontale temperatuurgradiënt in de A richting groter is dan die in de C en deze weer groter dan die in de B richting.

Voor de verticale gradiënt geldt ook dat deze sterk afhankelijk is van de temperatuur in de opslag. De figuren 31a en 27a, blok 1, volgen elkaar. De grootste gradiënt treedt op in de C richting. De B richting heeft een iets grotere gradiënt dan de A richting, het verschil is gering.

Uit het geheel kan horizontaal een overwegend A, C grondwater-stromingsrichting geconstateerd worden. De andere stromingsrichtingen van het grondwater zijn te zien in tabel 8.

'84, tot 01-05. Ook hier lijkt de warmte in de opslag evenredig te zijn met de temperatuurgradiënt, zie figuren 31 en 27. Tussen 01-03 en 01-04 neemt de temperatuur in de opslag sterk af. De horizontale gradiënt reageert hierop maar de verticale nauwelijks. Hetgeen toch wel op grotere stromingen van grondwater door de opslag dan er onder kan wijzen. Onder de opslag zou dan de geleiding een grotere rol spelen dan de grondwaterstroming. Geleiding reageert langzamer op temperatuur schommelingen. Zeker als warm of koud water meteen door stroming wordt toe of afgevoerd. Voor de grootte volgorde van de gradiënten zie tabel 8.

'84, na 26-10. De horizontale gradiënt volgt het temperatuurverloop in de opslag en wisselt in grootte van A naar C.

De verticale gradiënt is onduidelijk voor de A en B richting. Deze wordt voor beiden groter tussen 1-11 en 1-12, terwijl de temperatuur in de opslag juist afneemt, zie figuur 27. De C richting volgt de temperatuur wel. Wisseling van B-C naar B-A richting.

'85. De horizontale temperatuurgradiënt volgt het temperatuurverloop in de opslag. Behalve tussen 1-3 en 1-4. De A richting schijnt sneller op temperatuurwisselingen te reageren dan de B en C richting. Verticaal volgt de gradiënt de opslagtemperatuur eveneens. Hier komt een afwijkend gedrag tussen 1-6 en 1-7 en de gradiënt afname begint al na 1-9 terwijl de temperatuur pas na 1-10 afneemt.

'86. Horizontaal zowel als verticaal verloop volgen de temperatuur. De horizontale A richting volgt temperatuurwijzigingen sneller dan de B en de C richting.

'87. A richting reageert weer beter op temperatuurschommelingen horizontaal.

Verticaal op 1-2 temperatuur zakt en A, B gradiënten stijgen.

Samenvattend:

Over het algemeen kan gesteld worden dat de horizontale en de verticale gradiënten het temperatuurverloop in de opslag goed volgen. Wordt de opslag warmer dan worden de beide gradiënten groter.

Voor een schatting van de horizontale en verticale geleiding wordt gebruik gemaakt van de formule:

$Q = dT \cdot J \cdot A / d \cdot 1 \text{ jaar}$  MWh/jaar  
 met:  $dT$  = Temperatuurgradient uit figuur 31 a,b,c,d,e  
 $J$  = warmtegeleidingscoëfficiënt, stel homogeen  
 grondpakket = 2.0 W/m.K  
 $A$  = oppervlakte waardoor warmte stroomt  $m^2$   
 horizontaal =  $2\pi r h = 2 \cdot \pi \cdot 19 \cdot 20 = 2388 \text{ m}^2$   
 verticaal =  $\pi r^2 = \pi \cdot 19^2 = 1134 \text{ m}^2$   
 $d$  = afstand waarover temperatuurgradient wordt  
 gemeten 3 en 6 m hor. en 2 m vert.  
 1 jaar =  $24 \cdot 364 = 8736$  uren

$Q_{\text{horizontaal}} = dT/d \cdot 41.84$  MWh/jaar (1)  
 $Q_{\text{verticaal}} = dT/d \cdot 19.87$  MWh/jaar (2)

Met de formules (1) en (2) kan de tabel 8 worden samengesteld,  $Q_{\text{horizontaal}}$  en  $-Q_{\text{verticaal}}$ . Voor het verloop zie figuur 31, dat op een constante, respectievelijk  $41.48/d$  en  $19.87/d$ , gelijk hieraan is. Daarnaast is nog de gemiddelde gradiënt-grootte aangegeven. Deze laatste zegt iets van de stromingsrichting. Waar de grootste gradiënt optreedt is de stroming het grootst, door grondwaterstroming veroorzaakt door convectie en of natuurlijk verhang. Volgens de temperatuurprofielen, zie bijlage 4, treedt er een horizontale snelheid op die in alle richtingen ongeveer even groot is. De grondwatersnelheden die optreden volgens figuur 29 paragraaf 4.2, zijn in de buurt van de maximale Darcy-snelheden waarbij een waterkerend scherm nog niet rendabel lijkt.

Uit tabel 8 volgt dat de gradiëntgrootte horizontaal oploopt van C naar A naar B en dat voor de verticale gradiënt geldt dat  $B > A > C$ . Voor de periode 1984-1987.

Het ziet er naar uit dat het water door de opslag in C-A richting stroomt.

Uit de analyse van de grondwaterstromingen is gebleken, zie ook figuur 10 paragraaf 2.1.2 en figuur 28 paragraaf 4.2, dat voor de periode '85-'86 de grondwaterstroming naar het centrum toe is gekeerd voor een diepte van -9 m en van het centrum af voor -19 m. Respectievelijk van en naar de A richting gekeerd. Onder de opslag is een stroming naar het centrum toe waar te nemen, van de A richting af. Beiden kunnen volgens tabel 8 kloppen daar is een stroming in A-C richting te zien door de opslag.

Voor '87 geldt volgens tabel 8 een stroming door de opslag in overwegend A en dan B richting. Volgens figuur 13 en 29 zijn alle stromingen in A richting van het centrum af gekeerd en dat komt overeen met tabel 8.

Over 85-86 is nog te vinden 120 MWh als voor  $Q_{\text{water}}$  180 MWh wordt aangehouden voor de diepte op -9 m,  $Q_4 - Q_1 - Q_{\text{water}} = 393 - 72 - 180 = 141$  MWh, uit tabel 5.

Uit tabel 8 blijkt het warmteverlies door geleiding gemiddeld over '85-'86  $(123 + 159) / 2 = 141$  MWh en het gezochte verlies dus dekt. Voor een betere indeling van de warmteverliezen zie paragraaf 4.5.

|                                     |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Qhorizontaal MWh                    | '83   | 1'84  | 2'84  | '85   | '86   | '87   |
| A*                                  | 134   | 113   | 47    | 92    | 110   | 89    |
| A                                   | 116   | 108   | 48    | 77    | 101   | 85    |
| B                                   | 106   | 105   | 46    | 73    | 98    | 82    |
| C                                   | 112   | 104   | 52    | 82    | 106   | 77    |
| Gemiddeld A,B,C                     | 111   | 106   | 49    | 77    | 102   | 81    |
| Qverticaal MWh                      |       |       |       |       |       |       |
| A                                   | 69    | 66    | 28    | 45    | 53    | 46    |
| B                                   | 72    | 66    | 30    | 48    | 65    | 40    |
| C                                   | 80    | 64    | 28    | 45    | 53    | 31    |
| Gemiddeld A,B,C                     | 74    | 65    | 29    | 46    | 57    | 39    |
| Totaal hor.vert.<br>Gemiddeld A,B,C | 185   | 171   | 78    | 123   | 159   | 120   |
| Gradiënt hor.                       | A>C>B | A>B>C | C>A>B | C>A>B | C>A>B | A>B>C |
| Gradiënt vert.                      | C>B>A | A>B>C | B>A=C | B>A=C | B>A=C | A>B>C |

Tabel 8. Bovenstaande tabel geeft aan wat de horizontale en verticale verliezen door warmtegeleiding zijn van uit de opslag naar hun directe omgeving. De grootte volgorde van de gradiënt is eveneens aangegeven.

\* Voor deze waarde geldt een  $d=3$  m, voor de overige horizontale waarden geldt een  $d=6$  m.

Voor de verticale waarden geldt een  $d=2$  m.

1 Deze waarden gelden voor het eerste deel van '84 tot 1-5.

2 Dit zijn de waarden voor het tweede deel van '84 vanaf 26-10.

#### 4.3.2. Warmtegeleiding Door Kleilaag D=-22÷-24 m, Kwel

Om een indruk te krijgen van de geleiding door de kleilaag is uit de temperaturen net boven en net onder deze laag een berekening van de warmtestroom gemaakt. De dikte van de laag is 2 m en de warmtegeleidingscoëfficiënt  $J=1.35$  W/m.K. Het temperatuurverloop van de dagen 150, 250, 450, 550, 650 en 974 is gebruikt. Uit tabel 5 blijkt dat met bovenstaande dagen een redelijke benadering van de warmteverliezen wordt verkregen over de periode '85, '86 en '87. Deze dagen gebruiken voor een schatting van het geleidingsverlies door de kleilaag lijkt dus toegestaan.

De schatting van '85 komt uit het profiel van de dagen 150 en 250, van '86 uit 450, 550 en 650 en van '87 uit dag 974, voor de temperatuurprofielen zie bijlage 4.



Uitgegaan wordt van de formule voor warmtegeleiding. De kleilaag wordt ook nu geschematiseerd tot cylinders van gelijke temperatuur. Voorts wordt er gemeten tussen die punten in verticale richting waar de temperatuur is gemeten, zie figuur 32 en tabel 9. Deze plaatsen zijn R=4, 9, 13, 17, 20, 23 en 27 m. Na 27 m zijn de temperaturen in het gebied ongeveer constant en dus de drijvende kracht, het temperatuurverschil, nodig voor warmtegeleiding vrijwel nihil. De warmtegeleidingsformule wordt:

$$Q = J/d \cdot 1 \text{ jaar} \cdot \sum (T_{ib} - T_{io}) \cdot A_i \text{ MWh/jaar}$$

$$\text{met: } J = 1.35 \text{ W/m.K}$$

$$d = 2 \text{ m}$$

$$T_{ib} - T_{io} = \text{temperatuur boven-onder de betreffende temperatuercylinder } i \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$A_i = \text{oppervlakte van de beschouwde cylinder waardoor de warmtegeleiding plaatsvindt } m^2.$$

$$= \pi \cdot (R_{i^2} - R_{i-1^2}) \text{ m}^2$$

$$1 \text{ jaar} = 24 \cdot 364 \text{ uren.}$$

$$Q = 5.9 \cdot 10^{** -3} \cdot \sum (T_{ib} - T_{io}) \cdot A_i \text{ MWh/jaar.}$$

In onderstaande tabel 9 is aangegeven wat de warmtegeleiding per cylinder is.

De waarden in MWh/m<sup>2</sup> zijn in figuur 32 uitgezet om een idee te krijgen van het geleidingsverloop per element en aan de hand daarvan een uitspraak te doen over eventuele lekkage.

Bij het verkrijgen van de waarden in tabel 9 is erop gelet dat afwijkingen in  $T_{ib}$  en  $T_{io}$  die vermoedelijk door defecte temperatuurmeters te veel afwijken van de omringende temperaturen aangepast zijn.

'85 heeft een Q van 38 '86 van 43 en beide samen gemiddeld 41 MWh. Voor '87 komt dit verlies neer op 49 MWh.

Uit tabel 8 blijkt het warmteverlies verticaal over '85-'86:  $(46+57)/2 = 52$  MWh te zijn. Volgens tabel 9 gaat hiervan dan 43 MWh door geleiding door de kleilaag verloren en de rest aan de omliggende grond door berging en stroming.

Voor '87 geldt volgens tabel 8 dat er 39 MWh verticaal door geleiding verdwijnt en hier is dat 49. Opgemerkt zij wel dat het in tabel 8 om jaargemiddelden gaat en hier om daggemiddelden, dat laatste geldt vooral voor dag 974.

Commentaar figuur 32:

Dag 150, 30-05-'85. Het grootste warmtestroomverlies per m<sup>2</sup> door geleiding treedt op tussen R=4 en 9 m en het minste tussen 20 en 23 m. De gemiddelde temperatuur in de cylinder is 22 °C.

Dag 250, 07-09-'85. Ook voor deze dag is de stroom door de cylinder met R=4-9 m het grootst. De temperatuur is 23.25 °C.

Voor de dagen 150 en 250 loopt de stroom aan het einde van het blok omhoog, dat kan op een stroming van warmer water naar buiten toe duiden boven de kleilaag en/of een aanvoer van kouder water eronder.

Dag 450 28-03-'86 en dag 650 12-10-'86. Deze vertonen ook weer de grootste stroom tussen R=4 en 9 meter.



|         | R= 0 | 4    | 9    | 13   | 15   | 17   | 20   | 23   | 27 | Qtotaal              |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|----------------------|
| Dag 150 | 1    | 5    | 6    | 4    | 3    | 4    | 3    | 7    |    | Q=32 MWh             |
|         | .018 | .027 | .022 | .021 | .015 | .010 | .007 | .011 |    | Q MWh/m <sup>2</sup> |
| Dag 250 | 2    | 9    | 9    | 5    | 5    | 4    | 4    | 7    |    | Q=43 MWh             |
|         | .034 | .042 | .028 | .029 | .024 | .012 | .009 | .012 |    | Q MWh/m <sup>2</sup> |
| Dag 450 | 1    | 5    | 7    | 4    | 4    | 4    | 2    | 3    |    | Q=29 MWh             |
|         | .021 | .025 | .024 | .021 | .018 | .012 | .006 | .004 |    | Q MWh/m <sup>2</sup> |
| Dag 550 | 2    | 6    | 8    | 5    | 6    | 5    | 5    | 3    |    | Q=39 MWh             |
|         | .033 | .030 | .030 | .030 | .030 | .013 | .012 | .004 |    | Q MWh/m <sup>2</sup> |
| Dag 650 | 3    | 16   | 12   | 7    | 7    | 8    | 4    | 4    |    | Q=61 MWh             |
|         | .066 | .080 | .043 | .041 | .034 | .022 | .010 | .006 |    | Q MWh/m <sup>2</sup> |
| Dag 974 | 2    | 9    | 12   | 6    | 7    | 8    | 2    | 2    |    | Q=49 MWh             |
|         | .044 | .044 | .044 | .035 | .035 | .024 | .006 | .003 |    | Q MWh/m <sup>2</sup> |

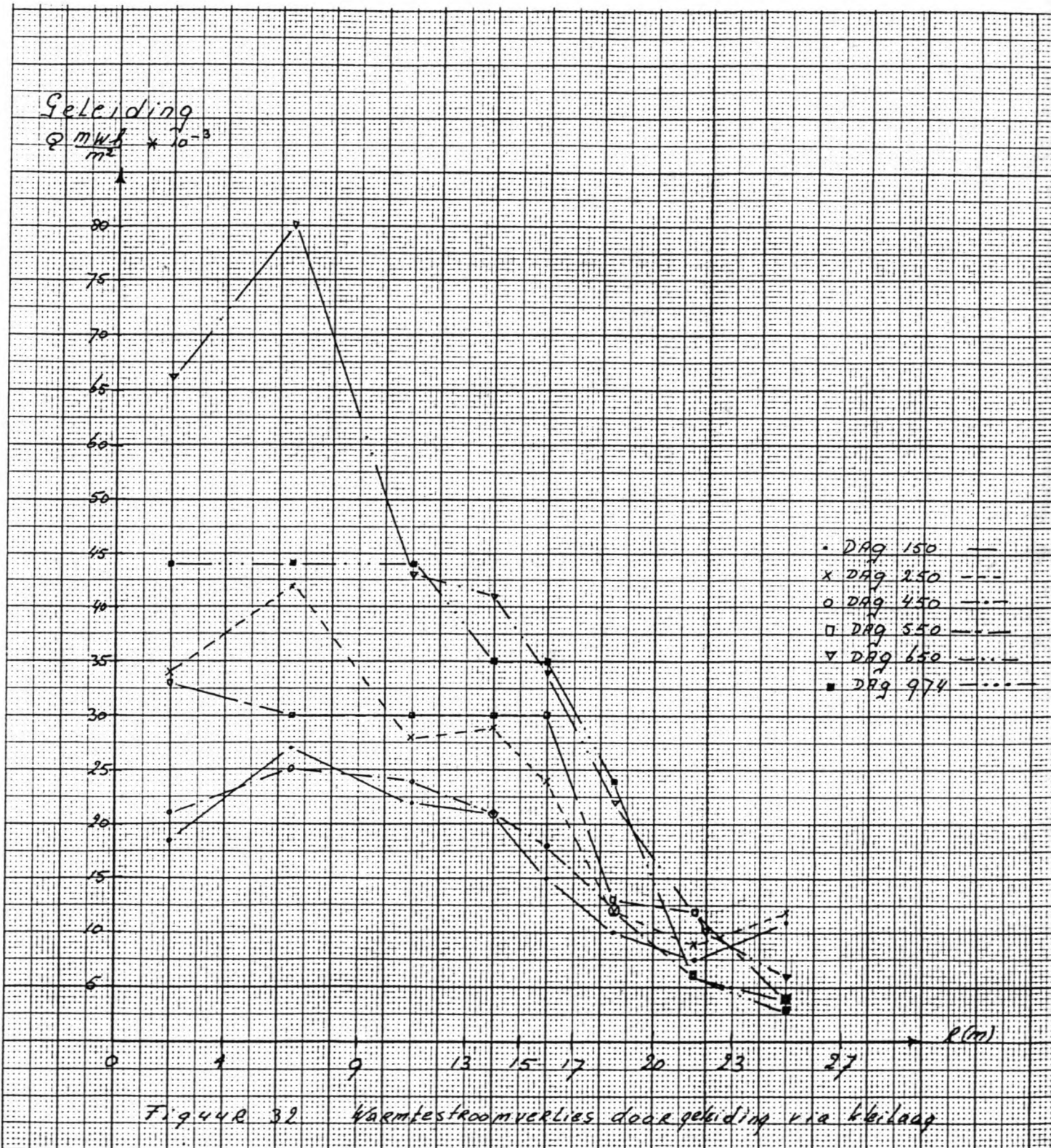
Tabel 9. Warmtestroom door geleiding door de kleilaag op D=-22-24 m in MWh en MWh/m<sup>2</sup>.

Dag 550 04-07-'86. Daar is het verlies het grootst in de eerste cylinder tussen R=0 en 4 m.

Dag 974 01-09-'87. Geeft tenslotte een constante stroom te zien tussen R=0 en 13 m. Voor deze dag zijn maar beperkt gegevens beschikbaar.

De dagen 150 en 250 geven voor de eindcylinder een stijging van het warmteverlies te zien. Een stromingrichting van warm water die kant op boven de kleilaag is mogelijk en komt ook overeen met figuur 28. Evenals de mogelijkheid van aanvoer van koud water onder de kleilaag richting centrum.

Opvallend is dat, dag 974 en 550 uitgezonderd, de grootste warmtestroom door de tweede cylinder tussen R=4 en 9 m optreedt en niet door de eerste voor R=0 en 4 m. De lussen van de warmtewisselaar beginnen vanaf zo'n 3 meter uit het centrum, omdat in het midden de opslagtank voor de korte termijn ligt. Daardoor is het mogelijk dat in het centrum de temperatuur in de opslag niet veel hoger of gelijk is aan de temperatuur even daarbuiten. Lager is niet zo waarschijnlijk omdat de warmte in het centrum alleen naar boven of naar beneden kan ontwijken, maar radiaal goed is opgesloten. Lekkage en of infiltratie kan dan de mogelijkheid van dit verticale verlies zijn. Uit de temperatuurprofielen blijkt in ieder geval dat het verschil in temperatuur dicht bij het centrum tussen net boven en net onder de opslag geringer is dan iets verder er vandaan. Exacte temperatuurmetingen in het centrum zijn niet gedaan omdat de tank in de weg ligt.



Schatting van eventuele lekkage in het centrum:

Er van uitgaande dat kouder water onder de opslag het warmere water in de opslag verdringt, kan met de bergingsvergelijking een schatting van het verlies gemaakt worden volgens:

$$E = \int .c.V.dT \quad \text{MWh/jaar}$$

met:  $\int .c$  voor zand = 2.7 MJ/m<sup>3</sup>.K

$dT$  = temperatuurverschil tussen onderkant kleilaag en water in de opslag ca 6 °C

$V$  = volume van het instromende water per jaar m<sup>3</sup>.

Het volume van het instromende, lekkende water is afhankelijk van de intrinsieke doorlatenheid  $X$  m<sup>2</sup>, van het poriëngehalte van het lek ca 40 % en van het oppervlak van het lek, deze laatste is de grootste onbekende.

Het lekvolume is dan:

$$V = Q * 1 \text{ jaar} \quad \text{m}^3/\text{jaar}$$

met:  $Q = V_{\text{porie}} . A \quad \text{m}^3/\text{s}$

$V_{\text{porie}} = (X/\mu) . (\delta P/\delta z - \Gamma_w) / n = (k/n) . \delta P/\delta z \quad \text{m/s}$ , voor uitleg van deze formule zie ook paragraaf 2.1.2

$$= (5 * 10^{-5} / .4) . (2200 / 10000 . 2) = 1.4 * 10^{-5} \quad \text{m/s}$$

voor  $\delta P/\delta z$  zie ook het verticale drukverschil omhoog bij het centrum van figuur 13 paragraaf 2.1.2

$$V = 1.4 * 10^{-5} * 24 * 365 * A = 0.12 * A \quad \text{m}^3/\text{jaar}$$

$$E = 2.7 * 0.12 * A * 6 = 1.94 * A \quad \text{MWh/jaar}$$

Omdat er nogal wat onzekerheid heerst over de verticale doorlatendheid van de kleilaag door metingen door deze laag en door eventuele discontinuïteiten van de laag zelf, is de kans dat lekkage optreedt reëel.

Een gat met een diameter van 2.00 m, de gesommeerde diameters van de warmtelanzen en peilbuizen in die buurt, geeft een oppervlakte van:

$$A = \frac{1}{4} . \pi . d^2 = \frac{1}{4} * \pi * 2.0^2 \approx 6 \quad \text{m}^2$$

$$E = 1.94 * 6 = 12 \quad \text{MWh/jaar} \quad (\text{grove schatting}).$$

#### 4.4 Chloride- En Sulfaatmetingen

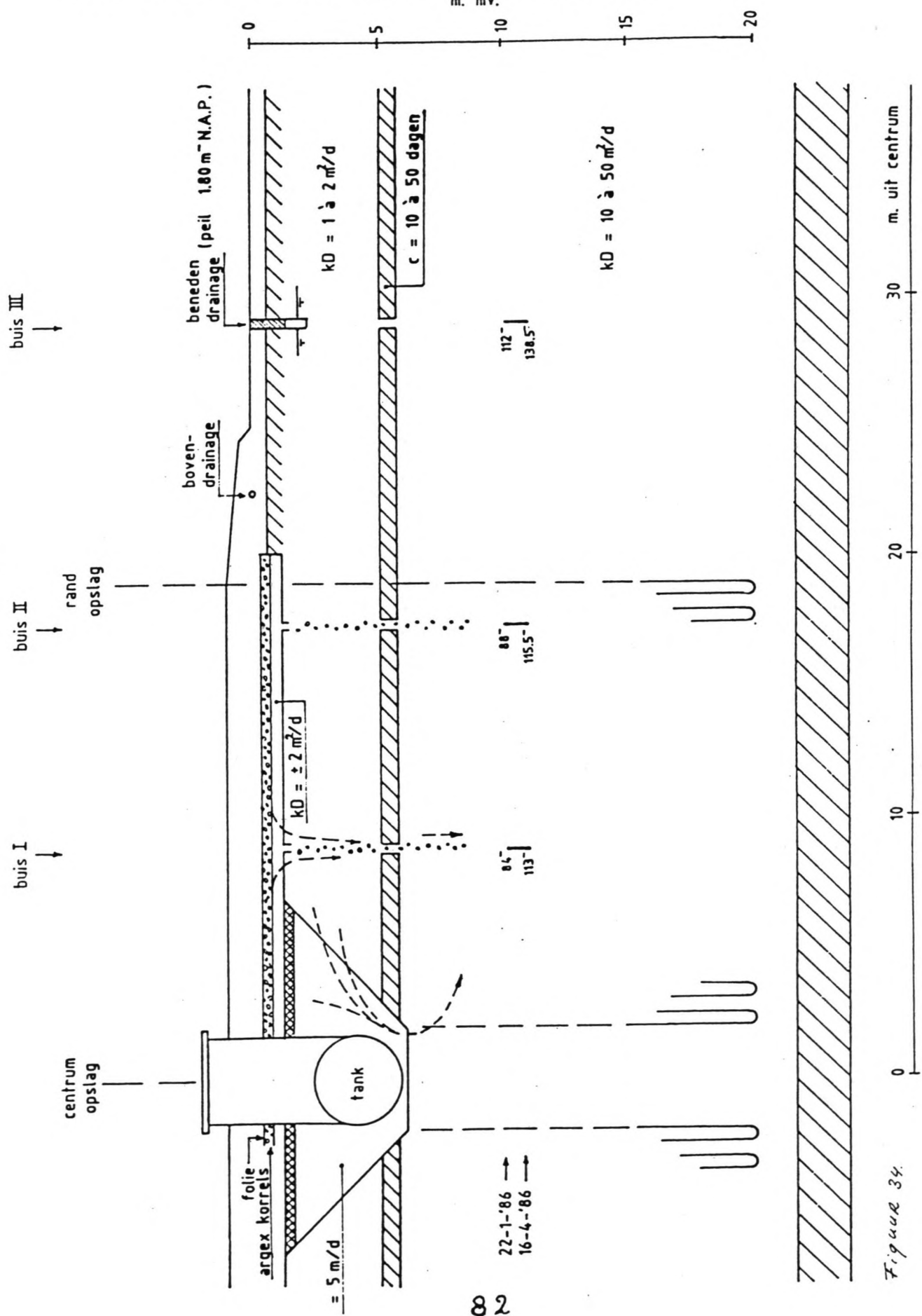
Op 01-09-'87 zijn in Beyum watermonsters genomen (in raai A). Hiervan is het chloride- en sulfaatgehalte bepaald. Het gaat om twaalf monsters genomen op R=3, 17, 23 en 33 m uit het centrum en op een diepte van D=-9, -19 en -30 m. Als referentie voor de chloride- en sulfaatgehalten is gebruik gemaakt van eerdere metingen gedaan door Heidemij in raai B op respectievelijk 9, 17 en 28 m uit het centrum en rond de -11 m beneden maaiveld.

Voor de plaats waar Heidemij de metingen heeft verricht zie figuur 34. In de figuren 35 en 36 zijn de plaatsen weergegeven van de chloride- en sulfaatgehalte bepalingen van 01-09-'87.

De boringen van de peilbuizen voor het meten van de Cl en SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> gehalten zijn door de afdeklaag heen gebeurd.

In figuur 37 zijn verder nog grondwaterstanden in deze peilbuizen aangegeven. Uit de grondwaterstanden van de peilbuizen in B richting blijkt dat er een grondwaterstroming van het centrum afgericht

optreedt op -11 m. Deze grondwaterstanden zijn verder niet naar temperatuur gecorrigeerd. Volgens figuur 31 is de temperatuurgradiënt op die dag voor de opslag het laagste en zou er geen stroming in deze richting kunnen optreden. Een radiale stroming vanaf het centrum naar de buitenkanten lijkt dan de conclusie.



Figuur 34.



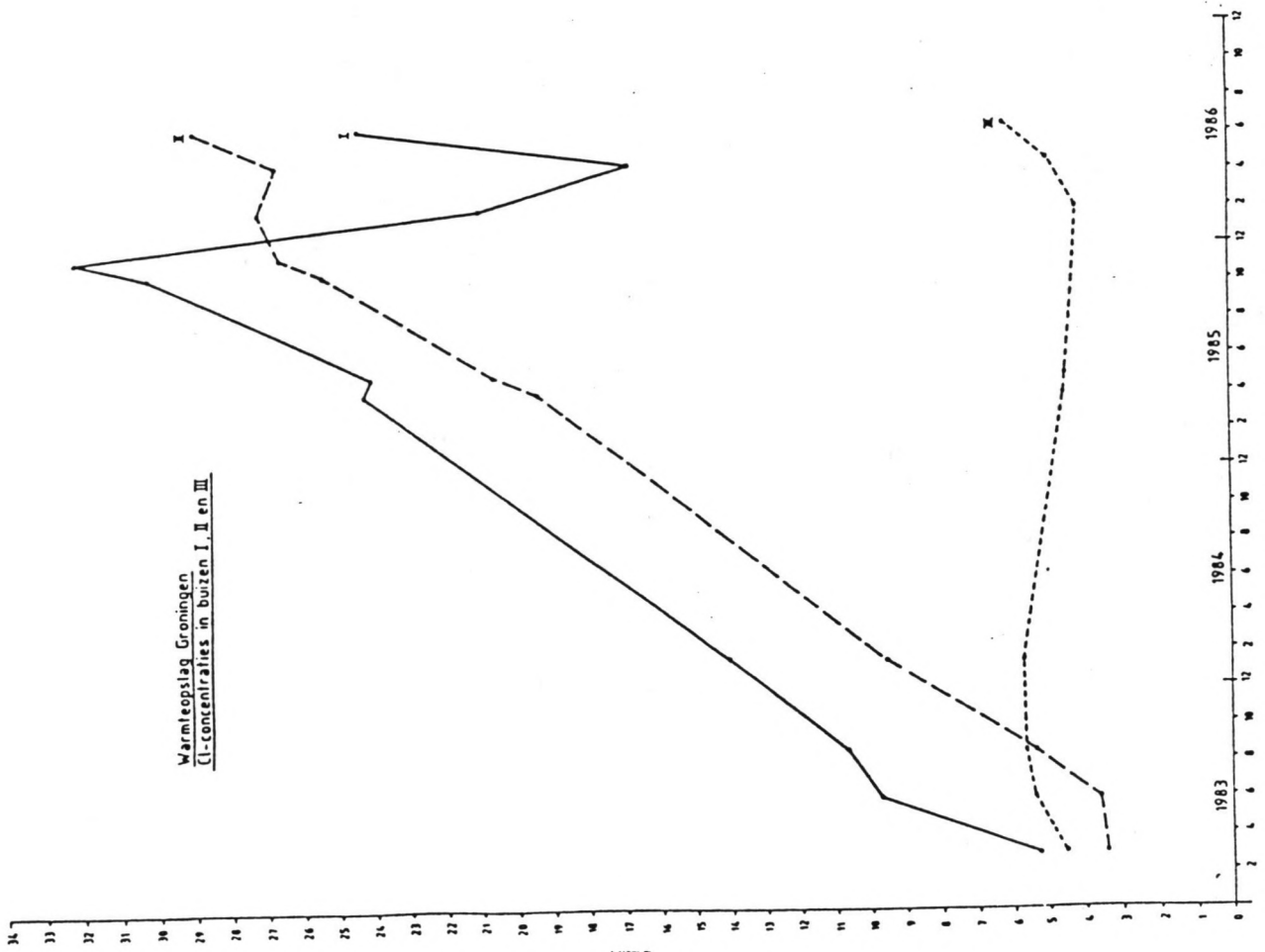


FIGURE 35

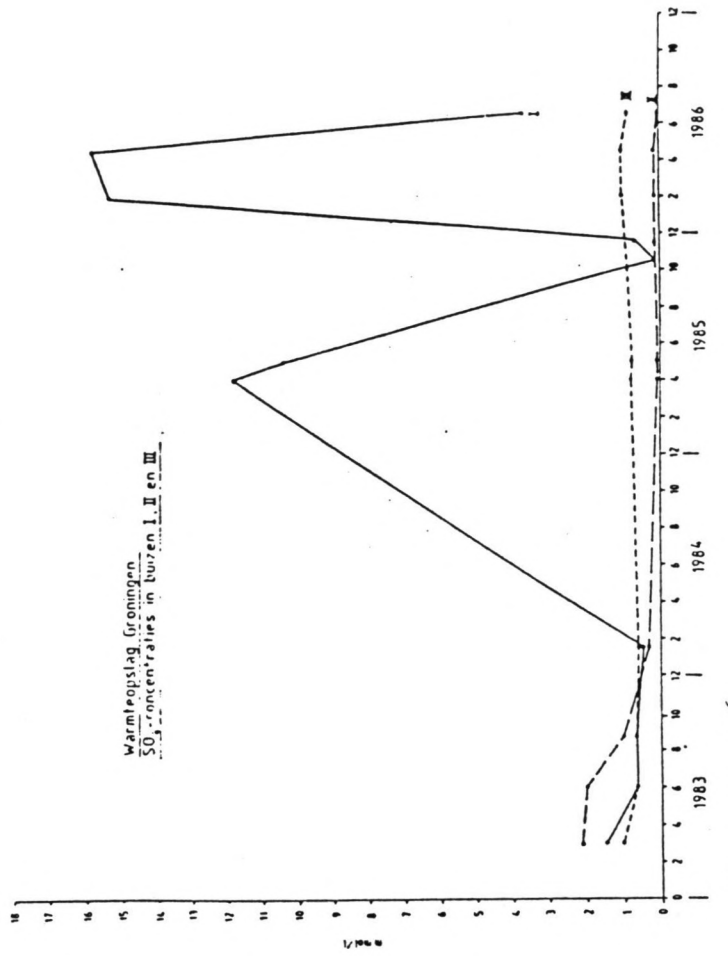


FIGURE 36



cm-MAD

0  
-10  
-20  
-30  
-40  
-50  
-60  
-70  
-80  
-90  
-100  
-110  
-120  
-130  
-140  
-150  
-160

I

II

III

- 1 24/2/83
- 2 20/2/83
- 3 16/10/85
- 4 13/11/85
- 5 22/1/88
- 6 16/4/88
- 7 24/6/87

gemeten op de  
in Buren I, II en III  
de werkdagen  
begint (Groningen).

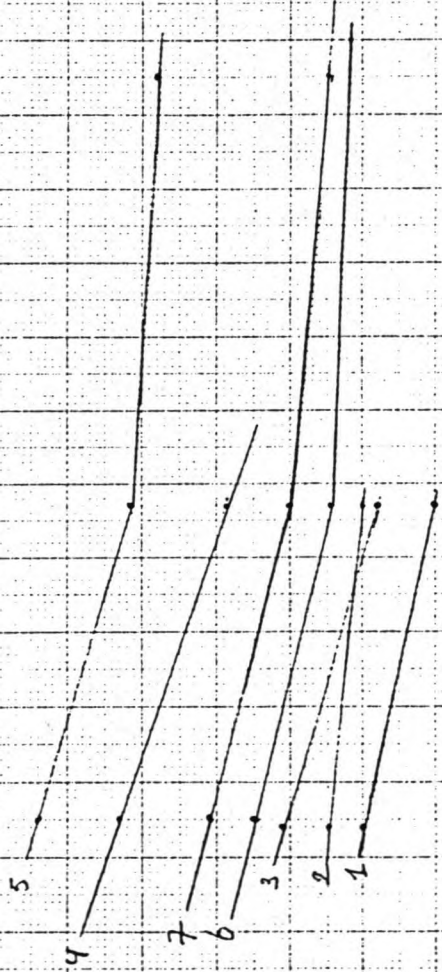


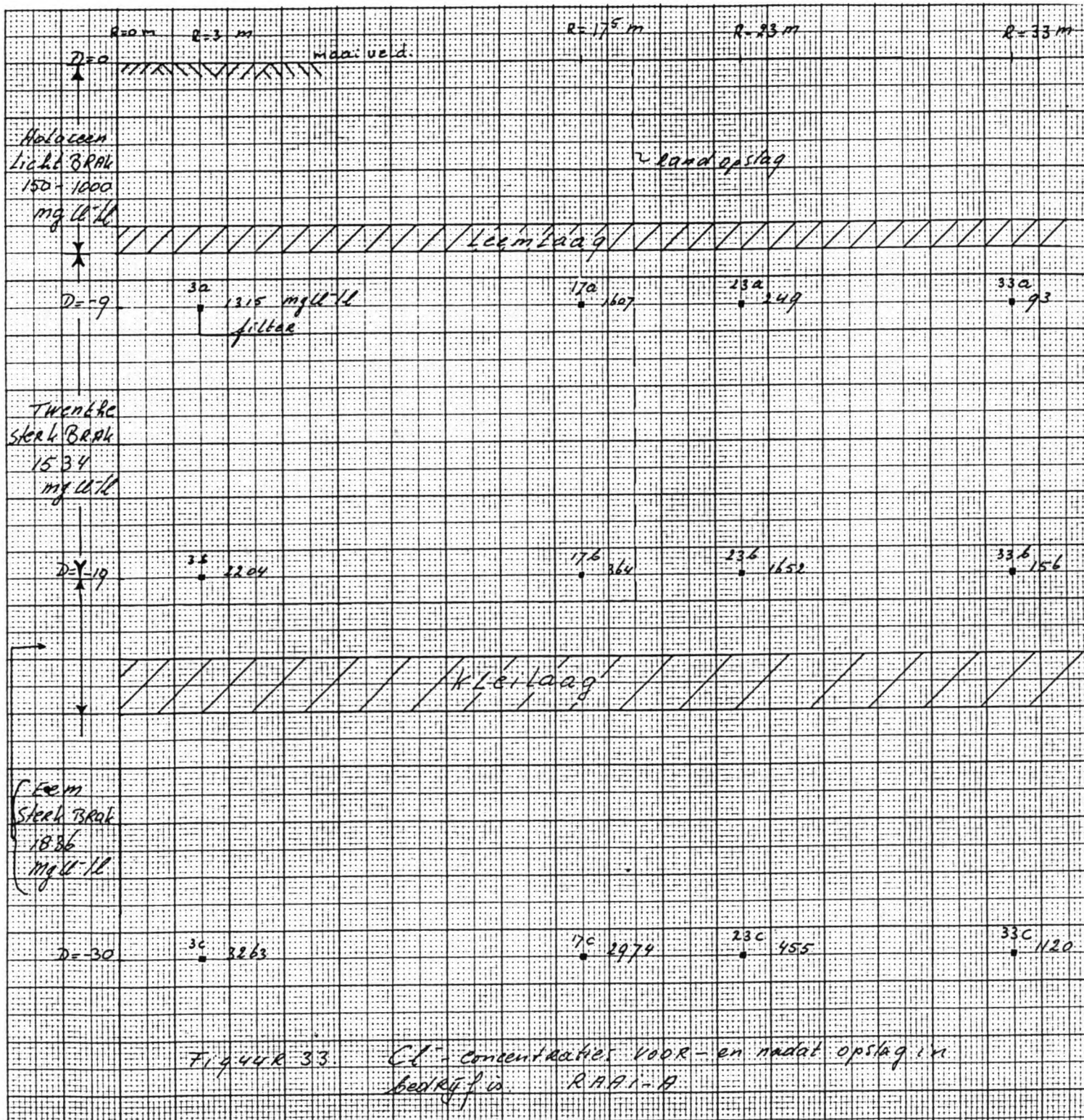
Figure 37. waarden den rijn niet naar temperature gecorrigeerd. Meting door Heidemij.

r (m) het centrum opslag.

#### 4.4.1 Resultaten metingen

Hieronder volgen de resultaten van de metingen genomen op 01-09-'87 te Beyum.

In figuur 33 is de plaats van de metingen aangegeven met daarbij vermeld wat de chloride concentraties zijn geweest bij een onderzoek gedaan voordat de opslag is gebouwd.



In tabel 10 staan de bijzonderheden vermeld tijdens de metingen. De monsters zijn allen genomen in raai A, de codering a, b, c geeft de diepte van het filter aan in de desbetreffende buis. Het chloride gehalte is middels titratie bepaald en het sulfaatgehalte volgens de N.E.N. 1056, gravimetrische sulfaatbepaling. Voor recept zie bijlage 9.

| A     |  |   |
|-------|--|---|
| A3a   | zwart water fijne deeltjes                                     | water voelt met hand vrij warm ca. 40-50 °C |
| A3b   | schoon water beetje troebel                                    |   |
| A3c   | Zeer schoon begin bij 1* verversen vuil, na tijdje weer schoon |   |
| A17a  | Na 1* verversen water zwart water loopt redelijk               | water temperatuur ca. 30 °C                 |
| A17b* | schoon water niet geheel ververst                              |   |
| A17c  | schoon water goede stroming                                    |   |
| A23a  | water helder stroomt slecht                                    | water temperatuur ca. 20 °C                 |
| A23b  | schoon water goede stroming                                    |   |
| A23c  | troebel water  |   |
| A33a  | na 1* verversen water zanderig                                 | water temperatuur ca. 10 °C                 |
| A33b* | water zanderig niet geheel ververst                            |   |
| A33c  | water zanderig stinkt na 1* verversen                          |   |

Tabel 10. Waarnemingen gedaan tijdens metingen 01-09-'87.

De coderingen A staan voor raai A.

3, 17, 23, 33 voor het aantal meter uit het centrum van de meetplaats in raai A.

a= -9, b=-19, c=-30 m onder het maaiveld.

De met een \* aangegeven peilbuizen laten zien dat het water minder dan 1\* ververst is.

In verband met tijdgebrek op de meetdag is gekozen voor 1\* verversen van het water in de peilbuizen. Daar waar de verversing niet geheel heeft kunnen plaatssvinden is toch een monster genomen om enig idee te krijgen van het chloride- en het sulfaatgehalte ter plaatse.

In tabel 11 zijn de chloride- en sulfaatgehalten aangegeven.



| R     | mg Cl/l | mmol Cl/l | mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /l | mmol SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /l |
|-------|---------|-----------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| A 3a  | 1315    | 37        | 106                                 | 1.1                                   |
| A 3b  | 2204    | 62        | 10                                  | 0.1                                   |
| A 3c  | 3263    | 92        | 3                                   | 0.03                                  |
| A17a  | 1607    | 45        | 9                                   | 0.08                                  |
| A17b* | 364     | 10        | .4                                  | 0.004                                 |
| A17c  | 2974    | 84        | 22                                  | 0.2                                   |
| A23a  | 249     | 7         | 4                                   | 0.04                                  |
| A23b  | 1652    | 47        | 3                                   | 0.03                                  |
| A23c  | 45      | 13        | 5                                   | 0.05                                  |
| A33a  | 93      | 3         | 12                                  | 0.12                                  |
| A33b* | 156     | 4         | 4                                   | 0.04                                  |
| A33c  | 1120    | 32        | 6                                   | 0.06                                  |

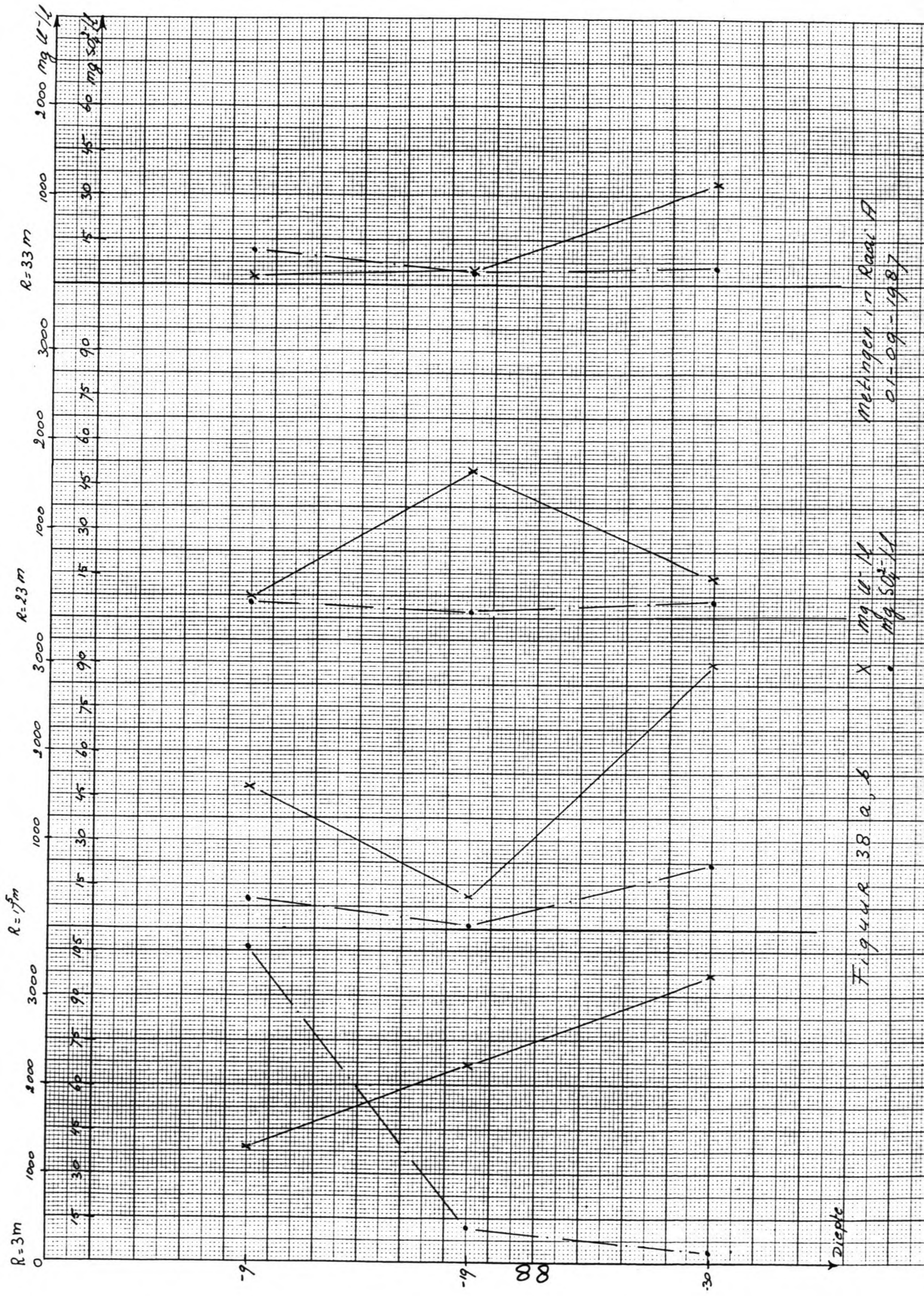
Tabel 11. Chloride- en sulfaatgehalten op 01-09-'87 in raai A.  
Zie ook beschrijvingen tabel 10.

#### 4.4.2 Commentaar Op Metingen:

Hieronder zullen de metingen volgens tabel 11 worden besproken. Als er sprake is van de metingen volgens Heidemij worden de peilbuisen aangegeven met I, II of III, op respectievelijk, 9, 17 en 29 m uit het centrum op een diepte van -11 m maaiveld. Als er sprake is van de metingen op 01-09-'87, zal de peilbuis en diepte worden aangegeven met de codering volgens tabel 10 en 11. A3a is dan, peilbuis in raai A, 3 m uit het centrum op -9 m onder het maaiveld. De metingen van 01-09-'87 zullen met die van Heidemij vergeleken worden.

##### 4.4.2.1 Bepaling Chloridegehalte

De verwachting is dat het Cl-gehalte met de diepte zal toenemen. Voordat de polder werd ingedijkt en bemalen is het hele gebied zee geweest en het zoutgehalte over de hele diepte ongeveer gelijk. Na inpoldering kan het zout water niet meer ververscht worden met nieuw zout water uit zee maar alleen met zoet regenwater van boven. Daardoor zal het water in de polder eerst in de bovenste lagen en daarna in de onderste lagen zoet worden. De polder wordt in dit geval door een slecht doorlatende kleilaag afgesloten. Het water dat zich onder deze kleilaag bevindt zal daardoor veel langer, afhankelijk van de uitwisseling zoet-zout water door de kleilaag, zout blijven. Misschien wel altijd als deze laag in verbinding staat met de zee. In figuur 38a is het chloridegehalte tegen de diepte uitgezet.



Metingen in Raai A  
01-09-1987

x MgCl<sub>2</sub>  
• MgSO<sub>4</sub>

Fig 44R 38 a, b

Diepte



De chloride-metingen van buis A3a en A17b dus op -9m ligt boven het maximum van peilbuis I, zie figuur 35 en tabel 11. Bij peilbuis I is rond mei '86 een dal te zien, dat wordt toegeschreven aan een lek van zoet water door de topisolatie langs de buis. Dit neemt echter weer toe omdat het zoet water verplaatst wordt naar de buitenkant (volgens Heidemij). Menging en verdunning met de rest van het water door de convectieve stroming is echter ook mogelijk.

Opmerkelijk is dat het Cl-gehalte van peilbuis A17a groter is dan van A3a. De verwachting is andersom. Dit kan er ook hier op duiden dat zoet water van boven de opslag indringt langs de buis A3a. Deze is vlak langs de kortetermijnopslag aangebracht. Dat vergroot de kans op lekkage. Doordat de temperatuurverschillen in het midden van de opslag het grootst zijn is de verwachting dat de convectiestroom daar het sterkst zal zijn. De kans wordt daardoor verhoogd dat brakker water van onderen naar boven komt, dus dat buis A3a in het centrum meer chloride bevat dan daarbuiten. Volgens figuur 13 paragraaf 2.1. is er inderdaad een drukverschil omhoog in het centrum. Door de drainage zal de stroming toenemen richting drain en dat is naar buiten. Het zoete water uit het centrum zal naar buiten worden verplaatst. Peilbuis II wordt vergeleken met A17a en A23a. A23a lijkt aan de lage kant. Uitgaande van A17a stijgt in deze raai het Cl-gehalte op zo'n 17 tot 19 m uit het centrum en dat is ook groter dan buis II. De drukmetingen van figuur 13 geven hier een drukverschil naar beneden aan waardoor eerder verwacht mag worden dat het zoutere water beneden blijft. Het is zelfs zo dat alle drukken van dit punt afgekeerd zijn.

A23a en A33a liggen buiten de afdekconstructie en indringing van zoet regenwater is wel goed mogelijk. De lager Cl waarden laten dit ook zien. Buis III toont hetzelfde beeld.

Het Cl-gehalte van A17b en A23c wijken van de verwachting af dat dit naar beneden toe toeneemt. Waarbij opgemerkt moet worden dat bij de monsternamen A17b niet geheel doorstroomde.

Opvallend is ook de hoge concentraties bij A3c en A17c die op kwel kunnen duiden, de drukverschillen van figuur 13 zijn hier inderdaad omhoog gericht.

Ook horizontaal gezien zijn de concentraties bij het centrum het hoogst bij de b filters, met de opmerking dat de waarde van A17b niet geheel betrouwbaar is omdat het water in de buis niet geheel ververst is bij de monsternamen. Alle drukverschillen staan naar A17b gericht wat ook de afwijking in deze waarde kan verklaren doordat meer aanvoer van zoet water vanaf de boven- en zijkanten dan zout water van onderen kan plaatsvinden.

Voor de a filters is wel duidelijk te zien dat het Cl-gehalte binnen de opslag groter is dan daarbuiten waar het regenwater beter kan infiltreren.

Over de hele opslag in raai A valt een hoge concentratie in de buurt van het centrum op die naar de randen toe en daarbuiten afneemt. De drukverschilmetingen van figuur 13 geven een grondwaterstroming in die richting aan.

Verticaal gezien neemt het gehalte toe van boven naar beneden.

#### 4.4.2.2 Bepaling Sulfaatgehalte

Er wordt van uitgegaan dat in de diepere ondergrond sulfaatreductie plaatsvindt, door reactie van sulfaat met andere stoffen. In de bovenste lagen van een hoger gehalte door aanvoer van nieuw sulfaat door uitloging van humeuze grond en of klei buiten en ook bij lek-

kage binnen de opslag. Het verloop zou dan moeten zijn van hoog boven tot lager beneden in de opslag en ook daarbuiten. Eerst worden de sulfaatgehalten van de strengen A en B met elkaar vergeleken. Zie ook figuren 38b en 36.

De sulfaatgehalten van raai A zijn laag. De hoogste waarde is voor peilbuis A3a, deze is minimaal een orde groter dan die van de andere filters. Dit zou kunnen duiden op een lek langs peilbuis A3a en of de opslagtank daar in de buurt.

De a metingen komen ongeveer overeen met de lage waarden die worden gevonden in peilbuis II. Van II wordt aangenomen dat daar weinig of geen infiltratie van boven is, dus weinig sulfaat uitloging. Er is uit monsternamen van raai B gebleken dat het spuitwater nodig voor het inbrengen van de lussen, een hoger  $SO_4^{2-}$ -gehalte heeft dan het grondwater. Het sulfaatgehalte in de diepere ondergrond wordt gereduceerd door reactie met andere stoffen. De afname boven zou dan en door reductie en door grondwaterstroming tot stand gekomen kunnen zijn. De hoge concentratie van het sulfaatgehalte van het spuitwater lijkt in raai A, gezien de lage concentraties, geheel verdwenen.

De pieken in het sulfaatgehalte van buis I kunnen veroorzaakt zijn door tijdelijke infiltratie van regenwater door de topisolatie, langs buis II en of langs de opslagtank.

Voor A3a is zo'n zelfde piek, zij het veel minder hoog, waar te nemen en zou ook hier op een soortgelijke lekkage kunnen duiden. Deze opmerking is ook al gemaakt bij de bespreking van het Cl-gehalte.

Uit Figuur 38b blijkt dat het sulfaatgehalte overwegend afneemt van boven naar beneden zoals verwacht.

A17c wijkt hiervan af. Deze waarde is hoger dan verwacht. Het kan een meetfout zijn of een hogere concentratie, door uitloging van sulfaat uit klei, indien die na al die jaren nog op die diepte aanwezig is. De stroming op deze diepte is van het centrum af gericht en het drukverschil is omhoog.

Horizontaal gezien is de concentratie het hoogst in het centrum. voor laag a valt de hoge waarde in het centrum op, dat is hierboven al aan de orde geweest. Buiten het centrum loopt de concentratie ook weer wat op door uitloging.

Laag b geeft hetzelfde beeld te zien. Op -30 m, c, heeft alleen A17c een hoge concentratie, zie opmerking hierboven. A33c toont ook een kleine verhoging.

#### 4.4.3 Samenvattend

Over het algemeen neemt het chloridegehalte binnen en buiten de opslag van boven naar beneden toe, dat is volgens de verwachting. De metingen van A17b en A23c wijken daarvan af. Om meer zekerheid over het Cl-gehalte van deze filters te krijgen moeten nadere metingen worden verricht.

Verder is het Cl-gehalte voor A3a kleiner dan dat van A17a waarschijnlijk is dat het gevolg van infiltratie van zoet water van boven langs peilbuis A3a, de opslagtank en of lekkage door de afdeklaag. De verwachting is dat het sulfaatgehalte naar beneden toe afneemt, door reductie in de ondergrond. Ook dit klopt over het algemeen. Afwijkend gedrag vertonen A3a en A17c.

De afwijking bij het filter A3a kan verklaard worden door infiltratie zoals hierboven reeds is vermeld.

Het  $SO_4^{2-}$ -gehalte bij A17c is hoger dan op deze diepte verwacht wordt. Om meer zekerheid over dit gehalte te krijgen moeten aanvullende me-

tingen worden verricht.

Hieronder zal een schatting van het warmteverlies door infiltratie door de afdeklaag gegeven worden. Deze schatting zal zeer globaal zijn. Een dal in de chlorideconcentratie, door lek zoet water, schijnt maar incidenteel op te treden, zie ook figuur 35. Hetzelfde geldt voor het sulfaatgehalte zie figuur 36.

Als er uitgegaan wordt van indringing van regewater van ca. 10 °C in de opslag met een temperatuur van rond de 30 tot 40 °C, bij filter A3a, dan kan het volgende sommetje worden gemaakt:

$$E = \int .c.V.dT/3600$$
$$V = d * 1 \text{ jaar} * A$$
$$A = \pi . r^2$$

$$\text{MWh/jaar}$$
$$\text{m}^3/\text{jaar}$$
$$\text{m}^2$$

met :  $\int .c = 2.9 \text{ MJ/m}^3.\text{K}$  voor de bovenste zavel laag  
 $dT = 25 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $d =$  gemiddelde regenval per dag, zie ook bijlage 6, neerslag 84-85-86  
 $= 20 \text{ mm}/10 \text{ dagen}$   
 $1 \text{ j} = 364 \text{ dagen}$   
 $A =$  infiltratieoppervlakte  $\text{m}^2$ . Dit is weer de grote onbekende.

$$E = 0.15 * A$$

$$\text{MWh/jaar}$$

In bovenstaande schatting is van de ongunstigste situatie uitgegaan dat al het regen water de kans krijgt door het bewuste lek met oppervlakte  $A \text{ m}^2$  te infiltreren. De doorlatendheid van het grondpakket speelt in dit laatste geval een belangrijke rol. Door de benadering dat alles in het bewuste lek infiltreert, valt deze doorlatendheid geheel weg, is dus  $\infty$  groot.

Voor  $A$  zal dus ook nog een schatting gemaakt moeten worden. In  $A$  en  $B$  richting is een sterk vermoeden gerezen dat langs de korte termijn opslag lekkage optreedt. Vermoedelijk ook nog langs de peilbuizen in  $B$  richting die door de afdeklaag heen zijn aangebracht.

Het grootste oppervlak levert de kortetermijn op.

stel dat hier rondom een spleet van .1 m is bij afmetingen van de tank met een lengte van 12 m en een diameter van 6.6 m levert dit op  $A = 3.7 \text{ m}^2$ .

$E = 0.6 \text{ MWh/jaar}$  en dat is zeer gering.

Het zij dus nogmaals opgemerkt dat  $E$  zeer afhankelijk is van het infiltrerende oppervlakte  $A \text{ m}^2$ .

#### 4.5 Samenvatting Warmteverliezen

In deze paragraaf worden alle verliezen nog eens opgesomd. Er is gekozen om de gemiddelde jaarverliezen met elkaar te vergelijken, om zo de uitschieters egaler te verdelen. Daarna worden de gemiddelde bergingen van de opeenvolgende jaren met elkaar vergeleken. Dezelfde methode wordt toegepast om de overige verliezen te berekenen.

Voor de bepaling van de geborgen hoeveelheid warmte is het gebied verdeeld in blokken, cylinders, volgens paragraaf 4.1.. Ook dit wordt hier aangehouden. Op deze manier kan beter bepaald worden waar de verschillende warmtestromen naar toe gaan.

Gebruik is gemaakt van de warmtestroomverliezen van tabel 5 en die uit hoofdstuk 4. In tabel 5 zijn ze bepaald voor de jaren '85, '86 en

'87.

Uitgangspunt voor het bepalen van de warmteverliezen en de hoeveelheid geborgen warmte in een blok is de bergingsvergelijking volgens (er wordt rekening gehouden met warmteverliezen in verticale en radiale richting):

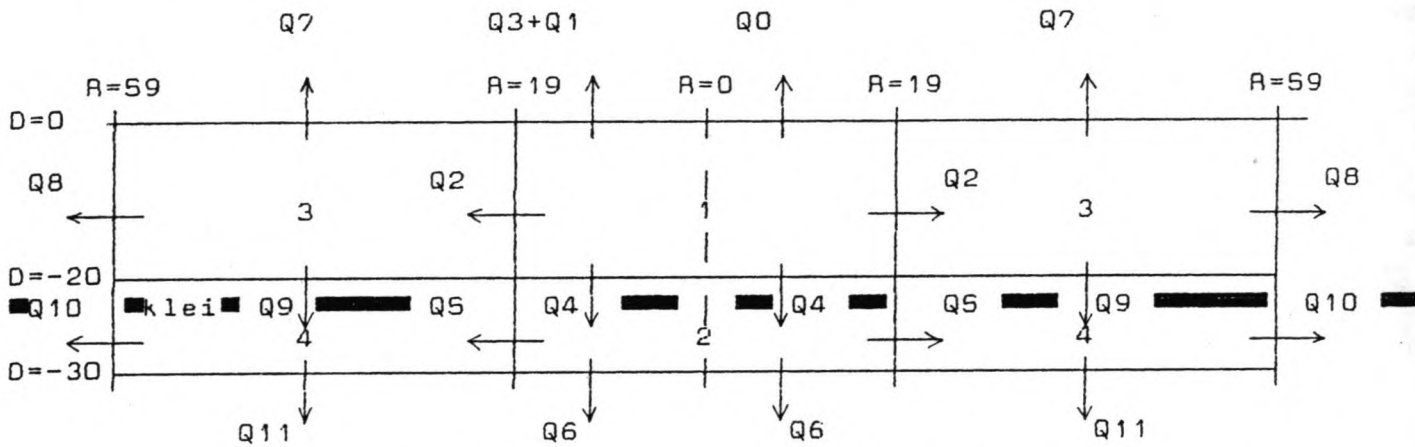
$$Q_{in} = Q_{out} + dE/dt \quad \text{MWh/jaar}$$

in woorden:

de inkomende warmtestroom is gelijk aan de uitgaande warmtestroom en de hoeveelheid geborgen warmte over de beschouwde tijdperiode, in het beschouwde blok.

$dE/dt$  = geborgen gemiddelde hoeveelheid warmte in beschouwde blok van het beschouwde jaar ten opzichte van het voorgaande jaar.

Uit bovenstaande definitie voor  $dE/dt$  volgt dat de in- en uitgaande warmtestroom het gemiddelde is van twee opeenvolgende jaren. Op deze manier wordt de warmtestroom voor het de periode '85-'86 en '86-'87 bepaald.



Figuur 39. Indeling van beschouwd gebied met optredende warmtestromen.

Hieronder is de betekenis van de optredende warmtestromen en de paragraaf waarin ze terug te vinden zijn, gegeven:

- Q0 = totale warmteverlies aan de grond, paragraaf 3.1 en 3.3.4
- Q1 = verlies door topisolatie, 2.3.3 en tabel 3b.
- Q2 = door geleiding en stroming, 4.3.1.
- Q3 = infiltratie door regenwater, 4.4.3.
- Q4 = door geleiding en stroming, 4.3.1.
- Q5 = stroming en geleiding, 4.2, 4.5.
- Q6 = geleiding en stroming, 4.5.
- Q7 = van de grond aan buitenlucht, 3.3.3.
- Q8 = voornamelijk door grondwaterstroming, 4.5.
- Q9 = geleiding en stroming, 4.3.2
- Q10 = voornamelijk door grondwaterstroming, 4.5.
- Q11 = geleiding en stroming, 4.5.

Met stroming wordt bedoeld, stroming door grondwater optredend ten gevolge van natuurlijke vevangen en convectie.

De rekenvolgorde is als volgt:

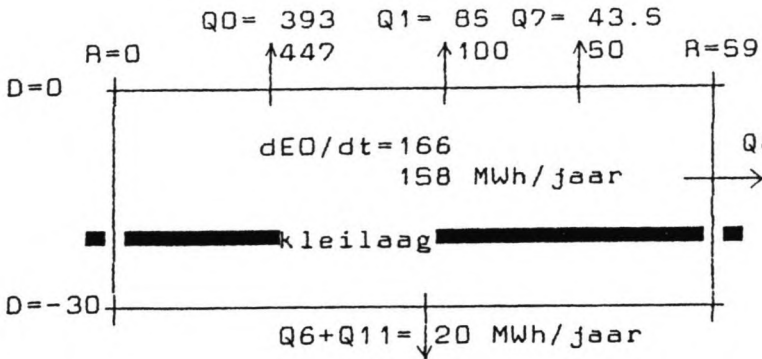
Eerst worden de warmteverliezen van de totale opslag bepaald, aangegeven met blok 0, daarna komen de blokken 1, 3, 2 en 4 aan de beurt.



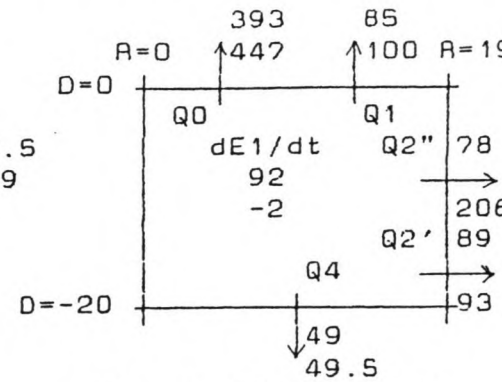
Hieronder zijn de figuren 39 a tot en met f gegeven met de optredende warmteverliezen en bergingsverliezen.  
 Voor de warmteverliezen geldt:

De bovenste waarde is het gemiddelde van de jaren '85 en '86. De onderste waarde van '86 en '87, wat de warmteverliezen betreft.  
 Voor de bergingswarmte geldt:

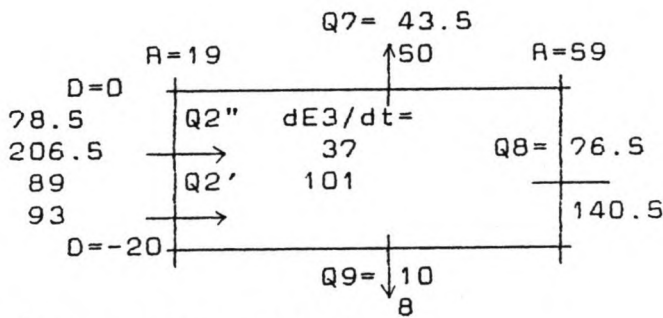
De bovenste waarde is het verschil tussen '85-'86 en de onderste tussen '86-'87. De blokken zijn niet op schaal getekend.



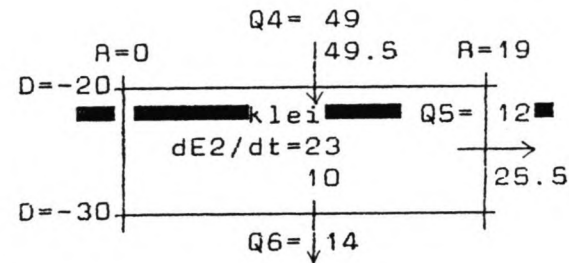
Figuur 39a. Blok 0.



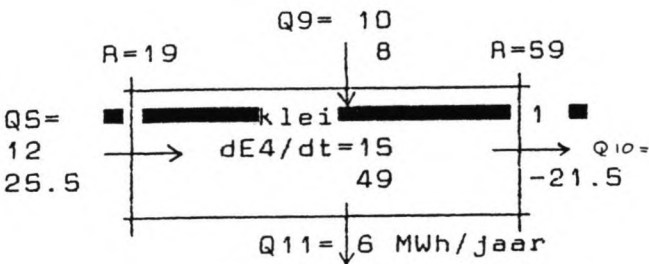
Figuur 39b. Blok 1.



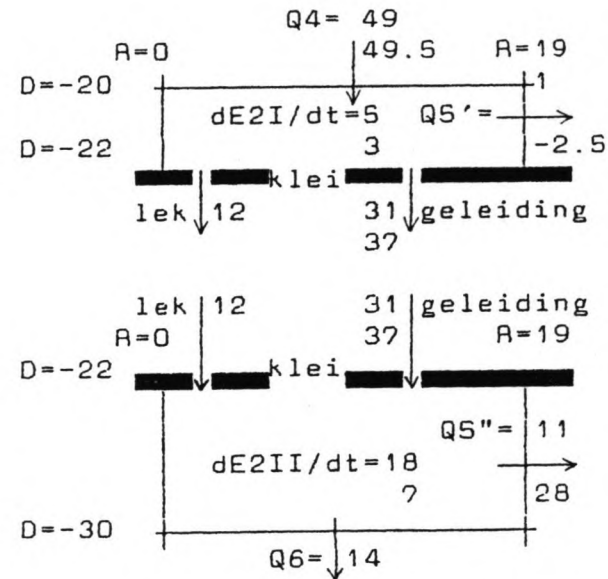
Figuur 39c. Blok 3.



Figuur 39d. Blok 2.



Figuur e. Blok 4.



Figuur f. Blok 2, boven en onder de kleilaag.



Commentaar op figuren 39 a tot en met f.

Figuur 33a, blok 0.

Het totale warmteverlies aan de grond Q0, is verkregen uit tabel 5. De lekverliezen door infiltratie worden verwaarloosd. Verder wordt er van uitgegaan dat het verticale warmteverlies Q6 en Q11 voornamelijk door geleiding wordt bepaald. De verliezen door de verticale optredende grondwatersnelheden ter plaatse zijn veel kleiner dan de horizontale-, omdat de verticale doorlatendheid kleiner is dan de horizontale. De warmteverliezen door de grondwaterbewegingen worden daardoor op deze diepte alleen in horizontale richting in rekening gebracht. Q6 en Q11 worden bepaald door het warmtestroomverlies via geleiding over een diepte van -30 en -31 m te bepalen. Het temperatuurverschil is gemiddeld een halve grade Celsius. Gebruik wordt gemaakt van de formule:

$$Q = dT * (J/d) * A * 1 \text{ jaar} \quad \text{MWh/jaar}$$

met:  $dT = 1/2 \text{ } ^\circ\text{C}$ , temperatuurgradiënt

$J = 2.0 \text{ W/m.K}$ , warmtegeleidingscoëfficiënt

$d = 1 \text{ m}$ , afstand waarover Q wordt bepaald

$A = \pi * 27^2$ , oppervlakte waarover Q wordt bepaald

uit paragraaf 4.3.2, volgt dat er buiten een straal van 27 m op een diepte van -22 tot -24 m geen geleiding meer optreedt, omdat het temperatuurverschil gering is. Dit is hier voor een diepte van -30 meter ook aangehouden.

1 jaar =  $24 * 364$  uren.

$Q = Q6 + Q11 = 20 \text{ MWh/jaar}$  gemiddeld over de jaren '85, '86, '87.

De nog niet bekende verliezen Q8 en 10 zijn nu te bepalen uit de bergingsvergelijking. Alle warmteverliezen zijn aangegeven. De verliezen Q8 en Q10 worden voor het grootste gedeelte bepaald door horizontale grondwaterstromingen. Het temperatuurverschil is klein en daardoor zijn de geleiding en de stroming veroorzaakt door convectie klein.

De warmteverliezen door grondwaterstroming zijn dan nog 78.5 en 119 MWh/jaar voor respectievelijk de jaren '85-'86 en '86-'87. Dit zijn reëlere waarden dan die gevonden in paragraaf 4.2, figuren 28 en 29. Daar zijn waarden van 382 en 180 MWh/jaar gevonden voor respectievelijk 01-09-'87 en '85-'86.

Figuur 39b, blok 1.

Uit de voorgaande paragrafen is al bekend wat de warmtestromen Q0, Q1, Q4' en Q2' en de berging zijn in raai A. Met Q4' en Q2' wordt bedoeld dat deel van Q4 en Q2 dat door geleiding wordt veroorzaakt. De warmteverliezen door infiltratie van regenwater zijn weer klein. De resterende verliezen, Q2'' en Q4'', worden voor het grootste deel door horizontale grondwaterstroming veroorzaakt.

Figuur 39c, blok 3.

Q9 wordt voor het grootste deel veroorzaakt door geleidingsverliezen de verticale stroming wordt klein geschat omdat de verticale doorlatendheid gering is. De geleidingsverliezen volgens paragraaf 4.3.2 zijn aangehouden. Dat is niet geheel correct omdat de daar gevonden verliezen door de kleilaag gaan. De beschouwde rand waar Q9 optreedt, ligt hoger. De warmtegeleidingscoëfficiënt van klei is ook anders. De temperatuur is vrij constant en niet hoog, de fout zal niet groot zijn.

Figuur 39d, blok 2.

Q6 en Q11 zijn samen 20 MWh/jaar zijn. Beiden worden voor het groot-

ste deel veroorzaakt door geleiding. Q6 nemen 14 en Q11 6 MWh/jaar voor hun rekening.

Q5 wordt, 12 en 25.5 MWh/jaar over '85-'86 en '86-'87. Gezien de grote verhangen die hier optreden zal het grootste deel van dit verlies voor rekening komen van de horizontale grondwaterstroming.

Figuur 39 e, blok 4.

Dit blok geeft een ander beeld te zien. Over '85-'86 komt er nog 1 MWh/jaar aan warmte uit het blok. De periode '86-'87 geeft een winst van 21.5 MWh/jaar te zien. Verwacht wordt dat ook dit blok voor deze laatste periode warmte afstaat aan de toch koudere omgeving. De onnauwkeurigheid is waarschijnlijk te wijten aan de vele aannamen. Er wordt namelijk steeds van uit gegaan dat verticaal de verliezen voor het grootste deel door geleiding worden veroorzaakt en horizontaal door de horizontaal (radiaal) optredende grondwaterstroming. Alleen op de rand van de opslag (blok 1) wordt radiale geleiding in rekening gebracht.

Dit is niet geheel juist. Verticaal treden ook stromingen op. Weliswaar kleiner dan horizontaal. Radiaal treden ook buiten de opslag aan de randen van de blokken geleidingsverliezen op. Deze verliezen zijn kleiner dan de verliezen veroorzaakt door de horizontale grondwater- en convectiestromen.

Figuur 39 f, blok 2: onderverdeeld in een gedeelte boven en onder, inclusief de kleilaag.

Het gedeelte QS' wordt voor het grootste deel door horizontale grondwaterterstroming veroorzaakt. Dat geldt ook voor QS".

QS", 11 respectievelijk 28 MWh/jaar, wordt vergeleken met de verliezen veroorzaakt door de grondwaterstroming volgens figuur 29 paragraaf 4.2. Daar wordt 18 MWh/jaar aan warmte verloren, op 01-09-'8 De aanname dat de horizontale grondwaterstroming het grootste deel van QS" voor zijn rekening neemt lijkt juist.

In het voorgaande is getracht een zo gedetailleerd mogelijke schatting te geven van de optredende warmteverliezen. De vereenvoudigingen hierbij zijn zo verantwoord mogelijk gedaan.

Toch kan met behulp van de figuren 39 geschat worden waar de grootste verliezen naar toe gaan. Dat is vanuit de opslag naar het naastliggende blok 3, 78 en 206.5 MWh/jaar. De horizontale grondwaterstroming neemt het grootste deel voor zijn rekening, zie verliezen Q2". Dit komt door de grote verhangen die optreden in het watervoerende pakket boven de ondoorlatend geachte kleilaag, zie figuur 10 en 13 paragraaf 2.1.2.

De verliezen door de afsluitende kleilaag, 31 en 37 blok 2 - 10 en 8 blok 4, worden voor het grootste deel door geleiding veroorzaakt. Er wordt van uitgegaan dat de kleilaag niet meer dan 12 MWh/jaar aan lekverliezen doorlaat.

De grondwaterstroming neemt circa 20 MWh/jaar voor zijn rekening aan verliezen onder de kleilaag van blok 2 naar 4. Blok 4 wordt daardoor opgewarmd.

Totaal wordt uit het totale gebied ongeveer 100 MWh/jaar aan warmte afgevoerd. Het grootste deel door de horizontale grondwaterstroming. Het merendeel gaat boven de kleilaag door het eerste watervoerende pakket verloren, via Q8.

De verliezen door grondwaterstroming lijken realistischer dan de toch wel grote verliezen berekend in paragraaf 4.2, figuren 28 en 29 Daar wordt ervan uitgegaan dat water met een bepaalde temperatuur ne buiten de opslag het water in de opslag met de daar heersende temperatuur vervangt. De temperaturen net buiten en binnen de opslag zijn schattingen. Zie ook tabel 7.

De waarden voor de warmteverliezen door grondwaterstroming zoals berekend in deze paragraaf worden aangehouden.

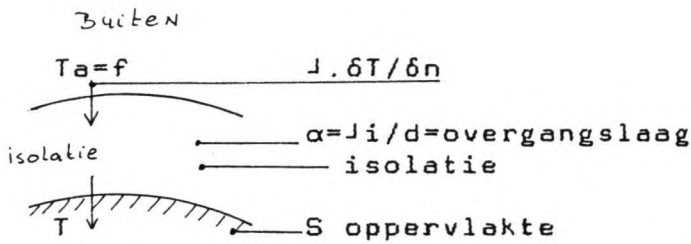
## Appendix A

Hier volgt de afleiding van de basisformule die gebruikt is bij de berekening van de stationaire warmtegeleiding volgens paragraaf 3.3.3.

De basisformule voor warmteverlies van een bepaalde massa (lichaam) is:

$$(T_1 - T_0) \cdot \delta \cdot Q_1 = - \iint_{S_1} (\delta d / \lambda_i) \cdot (\lambda \cdot \delta T / \delta n)^2 \cdot ds \quad (a)$$

### Principe



Figuur A1.  $f$  mag een functie van  $S$  zijn. De isolatiedikte  $d$  mag variabel zijn.

Randvoorwaarde op  $S$  is:  $f = T + d / \lambda_i \cdot (\lambda \cdot \delta T / \delta n)$ .

Voor de ongeïsoleerde rand  $S_0$  geldt:  $T = T_0$ .

Voor de geïsoleerde rand  $S_1$  geldt:  $\lambda \cdot \delta T / \delta n = \lambda_i \cdot (T_1 - T) / d$ .

$\delta T / \delta n =$  temperatuurgradiënt op de normaal. De isolerende laag wordt beschouwd als oneindig dun met een weerstand  $d / \lambda_i$  en overal een constante temperatuur op een bepaald tijdstip.

De mate van het temperatuurverlies van de opslag in de grond is:

$$Q_1 = \iint_{S_1} \lambda \cdot \delta T / \delta n \cdot dS = d m \cdot \iint_{S_1} \lambda \cdot \delta T / \delta n \cdot ds \quad [W/m^2]$$

met  $d_m$  is de gemiddelde isolatiedikte.

### Afleiding

De temperatuurverdeling  $T(x, y, z)$  voldoet aan de stationaire toestand:

$$\nabla \cdot (\lambda \cdot \nabla T) = 0 \text{ in } V \quad (1)$$

met  $\nabla = (\delta / \delta x, \delta / \delta y, \delta / \delta z)$ .

Randvoorwaarde op  $S$  is:

$$f = T + d / \lambda_i \cdot (\lambda \cdot \delta T / \delta n) \quad (2)$$

$f$  en  $d$  mogen variëren op  $S$ .

$f$  is bekend daar waar  $d=0$ ;  $f_{\text{buiten}} = f_{\text{binnen}}$ .

$$\text{Bij een verandering van de dikte wordt } d: d + \delta d \text{ op } S \quad (3)$$

met  $\delta d$  arbitrair op  $S$  gekozen maar  $d + \delta d \geq 0$ .

$$\text{Door verandering in de dikte verandert de temperatuur ook, } T \text{ wordt: } T + \delta T \text{ in } V \quad (4)$$



Deze temperatuurverandering voldoet nog steeds aan:  $\nabla(\lambda \cdot \nabla \delta T) = 0$  (5)  
(stationair).

De nieuwe temperatuur voldoet aan:

$$T + \delta T + (d + \delta d) / \lambda_i \cdot \lambda \cdot \delta(T + \delta T) / \delta n = f \quad (5a).$$

Het verschil met de oude temperatuur volgens (2) is dan:

$$\delta T + (\delta d / \lambda_i) \cdot \lambda \cdot \delta T / \delta n + (d / \lambda_i) \cdot \lambda \cdot \delta(\delta T) / \delta n + (\delta d / \lambda_i) \cdot \lambda \cdot \delta(\delta T) / \delta n = 0 \quad (6).$$

De warmteopname volgens de theorie van Claesson en Efring wordt daar-  
door:

$$P = \iint_S \lambda \cdot f \cdot (\delta T / \delta n) \cdot dS = \iint_S T_a \cdot \lambda \cdot \delta T / \delta n \cdot dS \quad \text{oud} \quad (7).$$

met T wordt:  $T + \delta T$

en d wordt:  $d + \delta d$

Uit (7) en de nieuwe randvoorwaarden wordt de warmteopname:

$$P' = \iint_S f \cdot \lambda \cdot (\delta T / \delta n + \delta(\delta T) / \delta n) \cdot dS \quad \text{nieuw} \quad (8).$$

Uit het verschil tussen oud en nieuw volgt met vergelijking (2), (5a),  
(7) en (8):

$$P - P' = \iint_S (T + (d / \lambda_i) \cdot \lambda \cdot \delta T / \delta n) \cdot \lambda \cdot \delta(\delta T) / \delta n \cdot dS \quad (9).$$

Om deze integraal op te lossen is een identiteit nodig volgens:

$$\iint_S T \cdot \lambda \cdot \delta(\delta T) / \delta n \cdot dS = \iiint_V \nabla \cdot (T \cdot \lambda \cdot \nabla(\delta T)) \cdot dV = \iiint_V \nabla \cdot (\delta T \cdot \lambda \cdot \nabla T) \cdot dV = \iint_S \delta T \cdot \lambda \cdot \delta T / \delta n \cdot dS \quad (10).$$

Dit is de Gauss-formule met identiteit:

$$\nabla \cdot (T \cdot \lambda \cdot \nabla(\delta T)) = \lambda \cdot \nabla T \cdot \nabla(\delta T) = \nabla \cdot (\delta T \cdot \delta \cdot \nabla T) \quad (11).$$

Uit 1, 5a, 10, 11 en 9 geïntegreerd volgt:

$$\lambda \cdot \delta T / \delta n (\delta T + (d / \lambda_i) \cdot \lambda \cdot \delta(\delta T) / \delta n) = 0 \quad (12)$$

Deze termen zijn hetzelfde als de eerste 2 van (6).

De andere twee termen van (6) zijn niet zo belangrijk.

Alleen de eerste orde termen in (6) zijn van belang. Het verschil in  
temperatuur,  $\delta T + (d / \lambda_i) \cdot \lambda \cdot \delta(\delta T) / \delta n$ , is van de eerste orde. De vierde term  
van vergelijking (6),  $(\delta d / \lambda_i) \cdot \lambda_i \cdot \delta(\delta T) / \delta n$ , is van de tweede orde.

De eerste orde variant  $\delta P$  is dan uit (6), (12) en (9):

$$\delta P = - \iint_{S1} \delta d / \lambda_i \cdot (\lambda \cdot \delta T / \delta n)^2 \cdot dS \quad (13).$$

Het verschil in warmte wordt berekend door het verschil in isolatiedikte  
 $\delta d$  en door de warmteflux  $\lambda \cdot \delta T / \delta n$  van het oorspronkelijke probleem. Daar-  
om hoeft het nieuwe probleem niet opgelost te worden om het eerste orde  
warmteverlies te berekenen.

Als S uit twee delen S1 en S0 is opgebouwd, met S1 is het geïsoleerde  
oppervlakte en S0 het ongeïsoleerde, met de temperaturen T1 en T0 als f,  
dan is P:

$$P = \iint_{S1} T1 \cdot \lambda \cdot \delta T / \delta n \cdot dS + \iint_{S0} T0 \cdot \lambda \cdot \delta T / \delta n \cdot dS = (T1 - T0) \cdot Q1 \quad (14).$$

Met de eerste orde variatie levert dit:  $\delta P = (T_1 - T_0) \cdot \delta Q_1$  (15).

Hier wordt alleen bekeken de verandering van de isolatie op  $S_1$ :  
 $\delta d = 0$  op  $S_0$  (15a).

Hiermee wordt formule (15):

$$(T_1 - T_0) \cdot \delta Q_1 = - \iint_{S_1} \delta d / \lambda_1 \cdot (\lambda \cdot \delta T / \delta n)^2 \cdot dS \quad (16).$$

Dit is de formule om de indirecte verliezen door geleiding via de grond te berekenen, zie ook paragraaf 3.3.3.

Van formule (16) wordt een stationair model gemaakt met alleen warmteverlies door de vloer of wand via de grond. Het warmteverlies is minimaal als op elk punt van de vloer dit verlies hetzelfde is en dus ook de oppervlakte temperatuur hetzelfde is.

Dan volgt daaruit dat  $\lambda \cdot \delta T / \delta n = q_1 = \text{constant}$  over het oppervlakte  $S_1$ .

Uit deze en de andere randvoorwaarden volgt, volgens Claesson en Efring, de belangrijke formule:

$$q_1 = (T_1 - T_0) / (d_m / \lambda_i + \lambda \cdot U_m / \lambda_0), \text{ zie ook paragraaf 3.3.3.}$$

## Literatuurlijst

- W.J. Beek,  
K.M.K. Muttzall                      Transport Phenomena
- J. Claesson,  
B. Efrting                              Optimal distribution of thermal insulation and ground  
heat losses.  
Swedisch council for building research.
- D.H.V.                                      Resultaten proefbemaling Oostelijke Ringweg.
- J.W. de Feijter                          Interimrapport ontwerp grond gedeelte warmte-opslag-  
project te Groningen. December 1981.  
Grondmechanica Delft.
- J.W. de Feijter                          Modelonderzoek t.b.v. warmte-opslag in de grond.  
Grondmechanica Delft.
- J.W. de Feijter,  
W.J. Heijnen,  
W.F. Rosenbrand,  
C. den Ouden,  
A.J.Th.M. Wijsman,  
S.H.A. Begemann,  
H.M. Crijns,  
F. de Lange,  
V.A. Sanders,                          The use of soil as a storage medium for seasonal sto-  
rage of solar energie. Final report  
Grondmechanica Delft.  
Technisch Fysische Dienst T.N.O.-T.U.-Delft.  
Philips Nederland.
- Heidemij                                  Aanvullend ontwerp grondtechnische voorzieningen  
warmte-opslag Groningen.
- Heidemij                                  Seizoen warmte-opslag Groningen. Inspectie uitvoe-  
ringswerkzaamheden grondtechnische voorzieningen.
- Heidemij                                  Onderzoek naar de verandering in chemische en bacte-  
riologische grondwatersamenstelling van de warmte-  
opslag Groningen.
- W.A. Segeren,  
J. Luijendijk                              Waterbeheersing landelijke gebieden.
- Staatsuitgeverij                          Handboek bodemsaneringstechnieken.
- A.C. Verhoeven                          Bouwfysica.
- F.N.J. Verlaat                            Uitvoeringservaring en evaluatie van de seizoen-warm-  
te-opslag Groningen.  
Bredero Energy Systems.
- A. Verruijt                                Grondmechanica.
- A. Verruijt                                Grondwatermechanica.
- A. Verruijt                                Numerical methods in geomechanics.
- A.F. van Weele,                          Funderingstechnieken.

H.J.W. Riethoff

A.F. van Weele      Moderne funderingstechnieken.

A.J.Th.M. Wijsman, Field test to investigate the performance of an  
J.W. de Feijter,    undeeep prototype seasonal heat storage system with  
C. den Ouden,        a heat capacity for 100 solar houses using the soil  
D.J. Kortschot       as storage medium.  
Technisch Physische Dienst T.N.O.-T.U.-Delft.

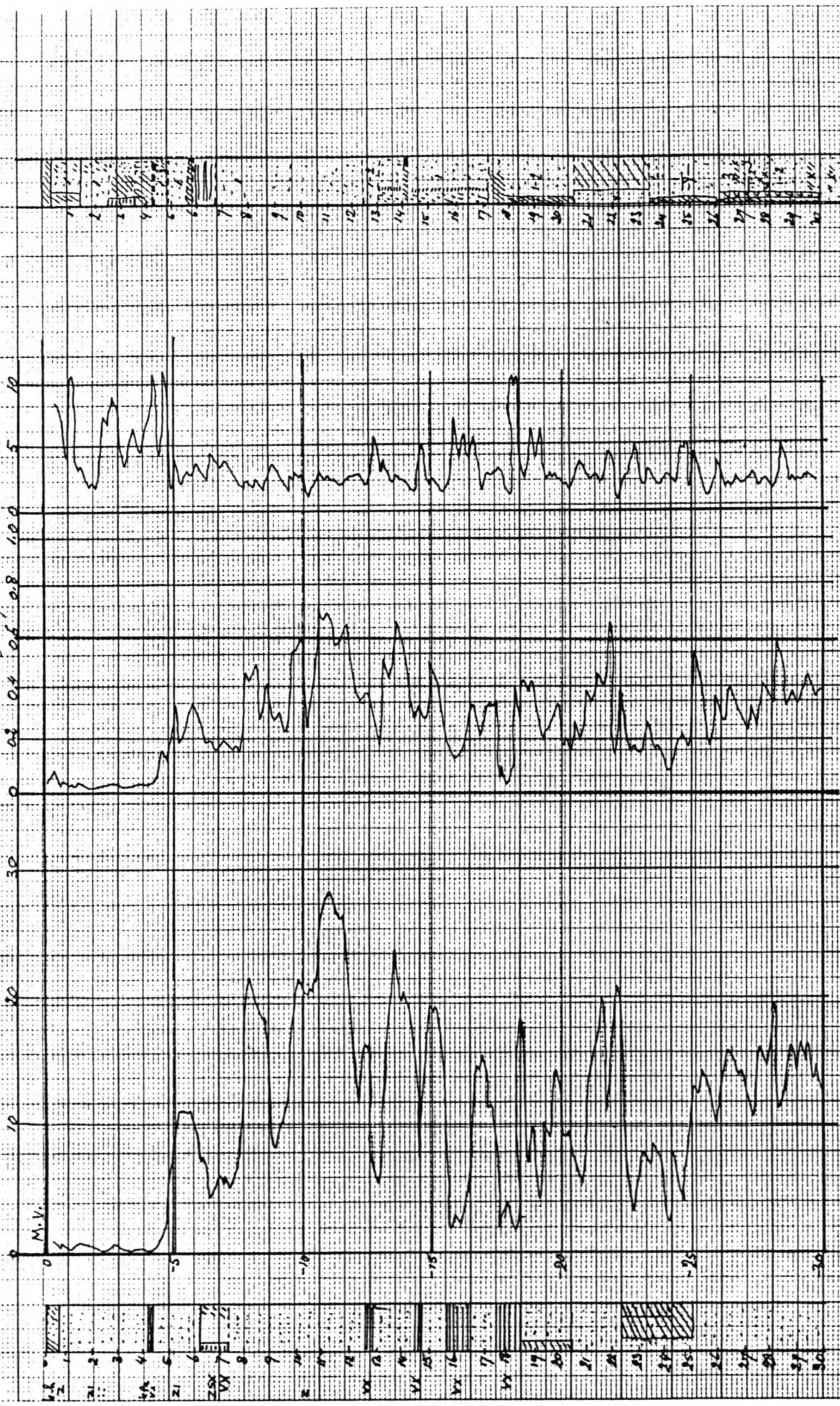
A.J.Th.M. Wijsman, Monitoring of the Groningen solar system with season-  
D.J. Kortschot       nal heatstorage in the soil. Fifth 6 monthly progress  
report.  
Technisch Physische Dienst T.N.O.-T.U.-Delft.

Bijlagen



ZWARG - Sondierung 0.1

Corrus Neesstand MNAP



ZWARG Sondierung 0.1

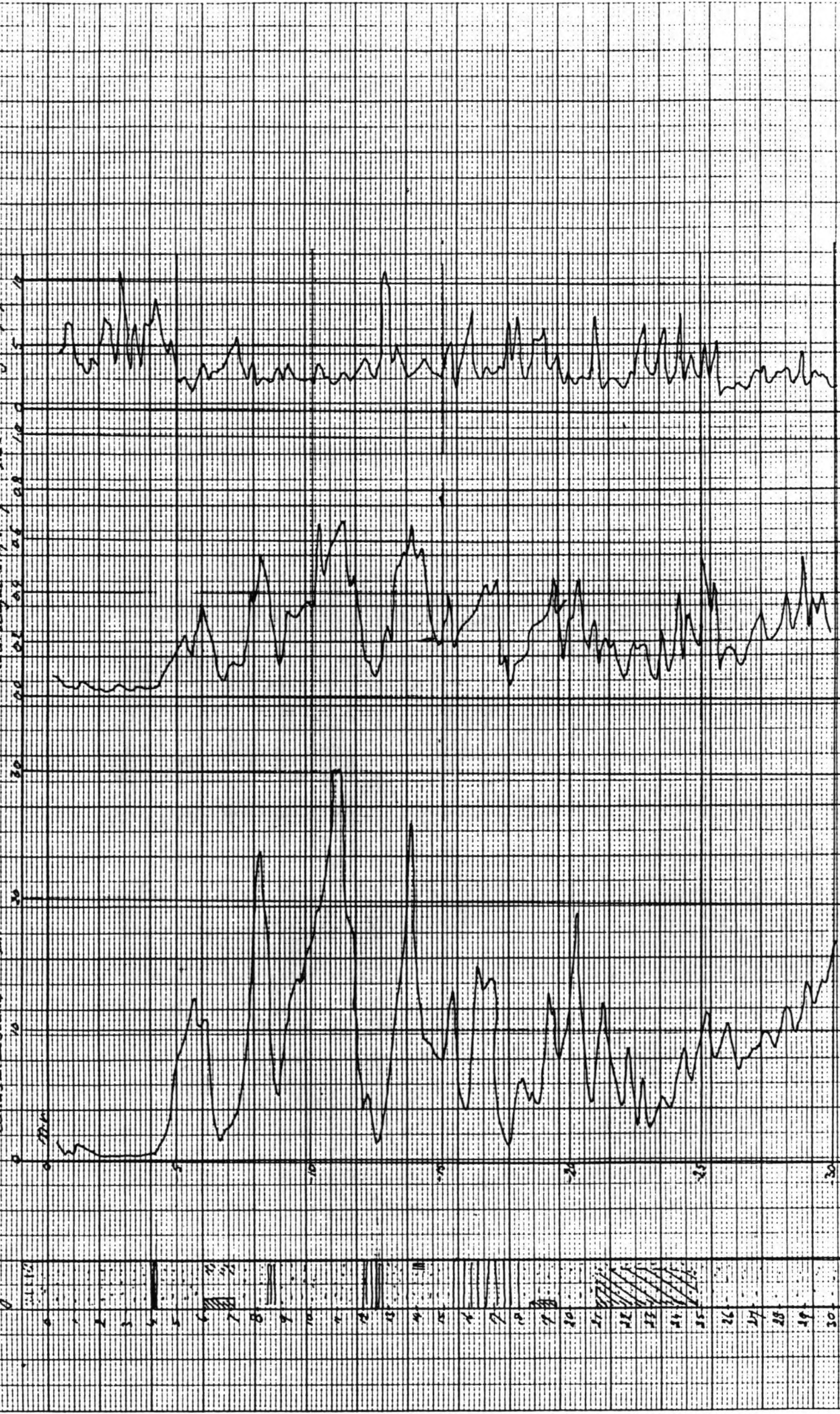
Bylage 0.1

MEERMAN - Boring



Z-wave - Secondary of 0.2

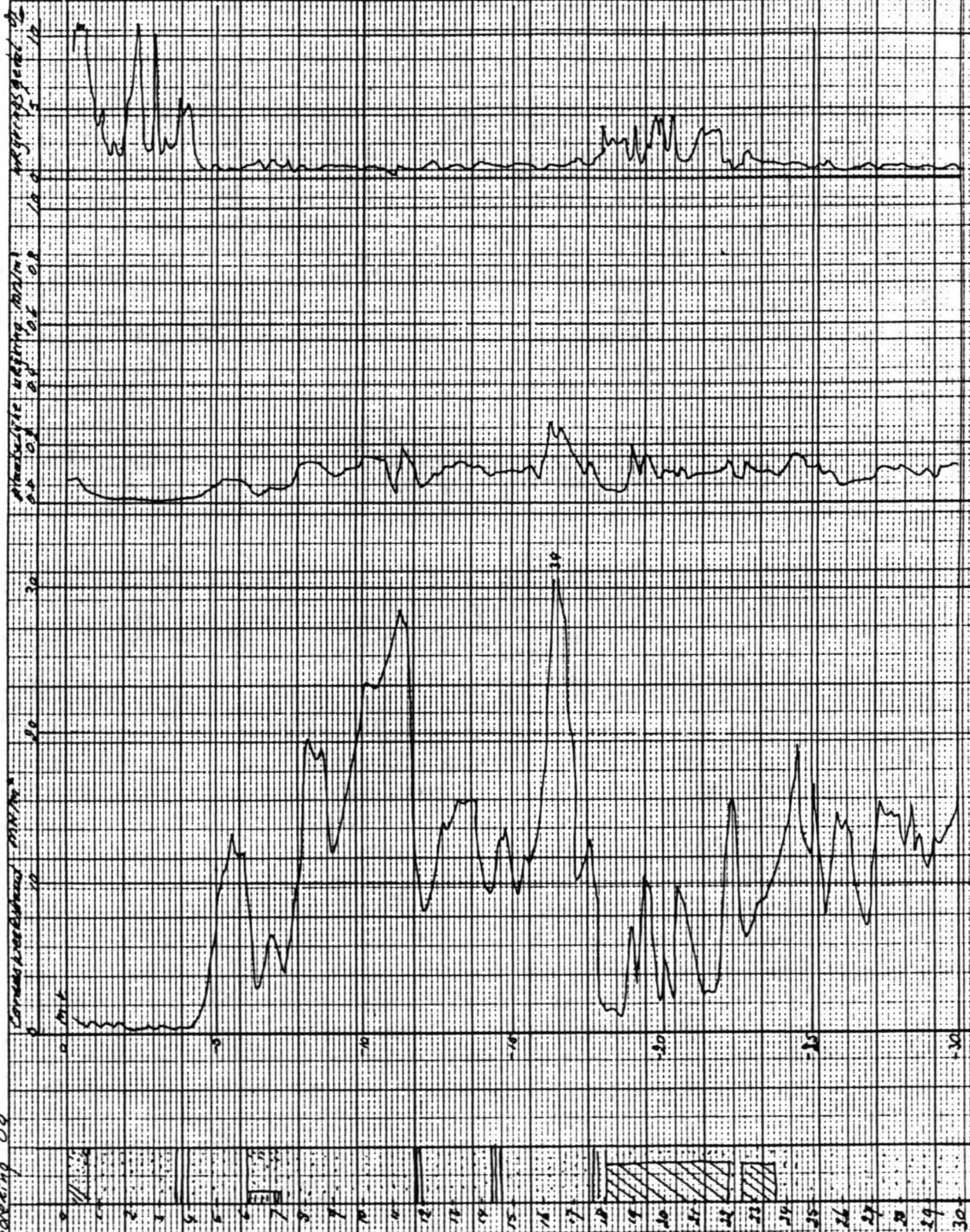
Compass rose oriented north  
polarized light intensity in %  
multiples of 0.2



By/age 0.3



2 WIRE POWERING ON



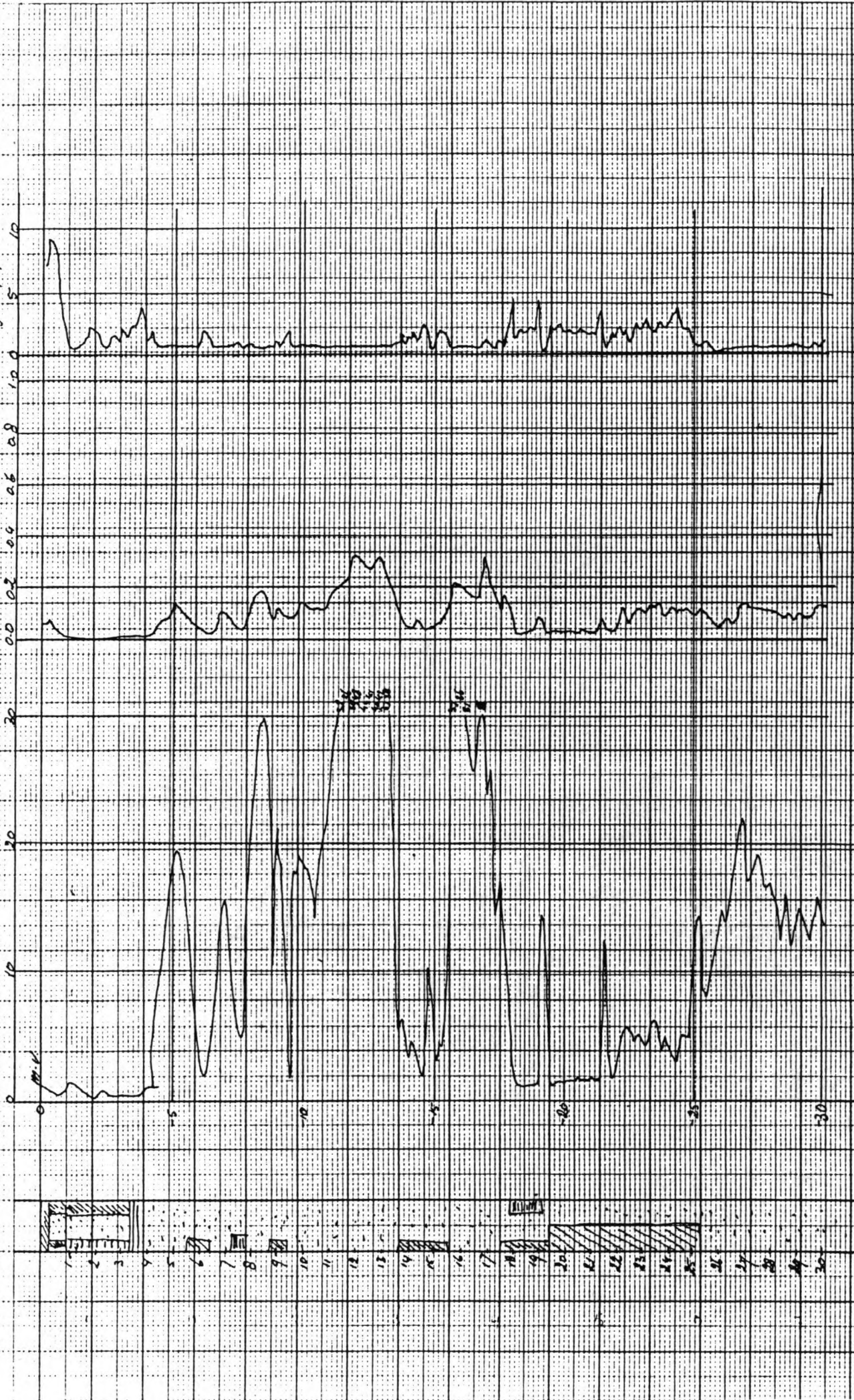
By-lage O.C



ZWAKE-Sondering 05

Grondwaterstand mNpm<sup>2</sup>

Alaafteiligheidsniveau mNpm<sup>2</sup> verkrygingsgemaal 02



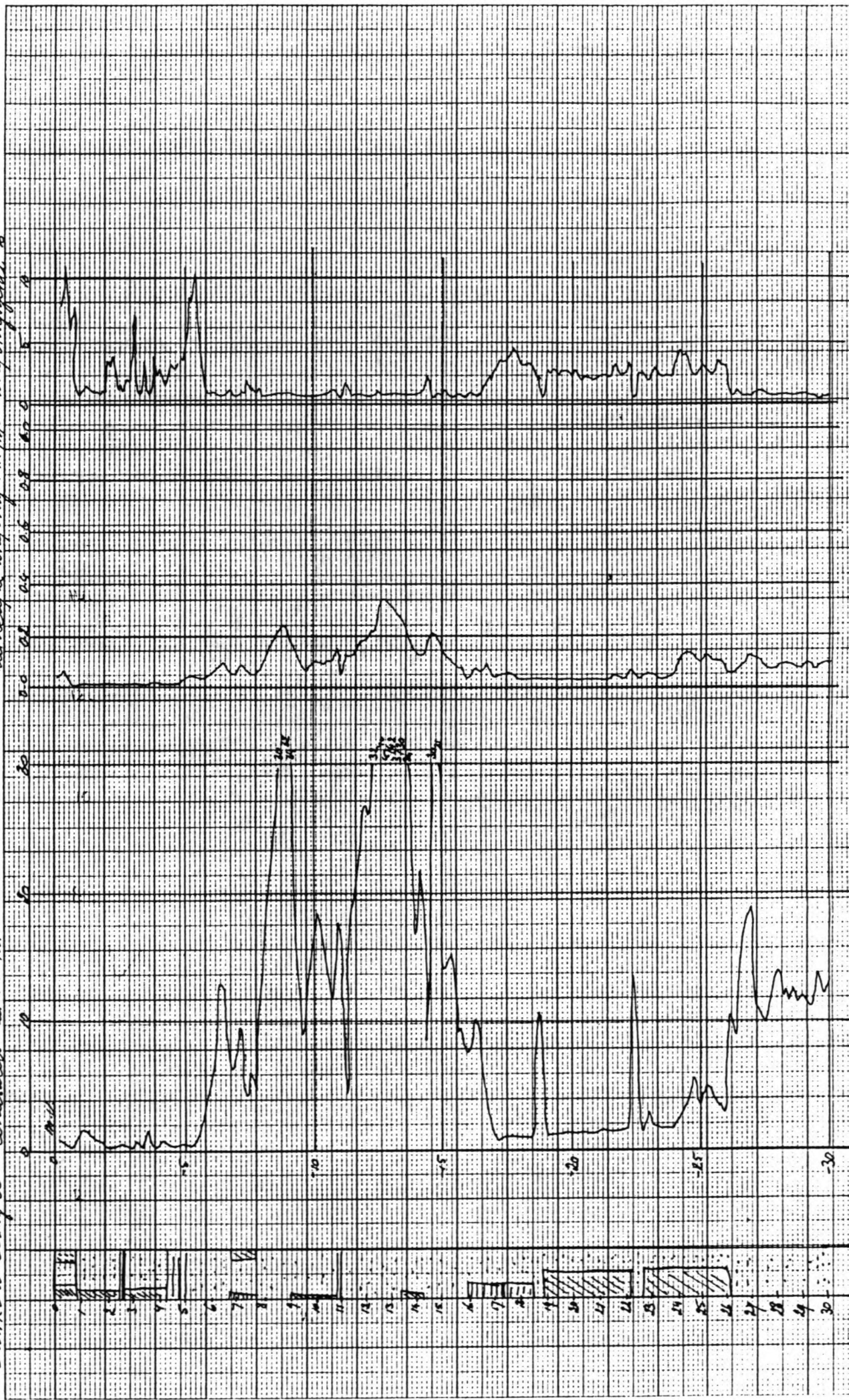
Bg kaart 0.0



Placabely ke wazirig MN/ms wazirigged 10<sub>0</sub>

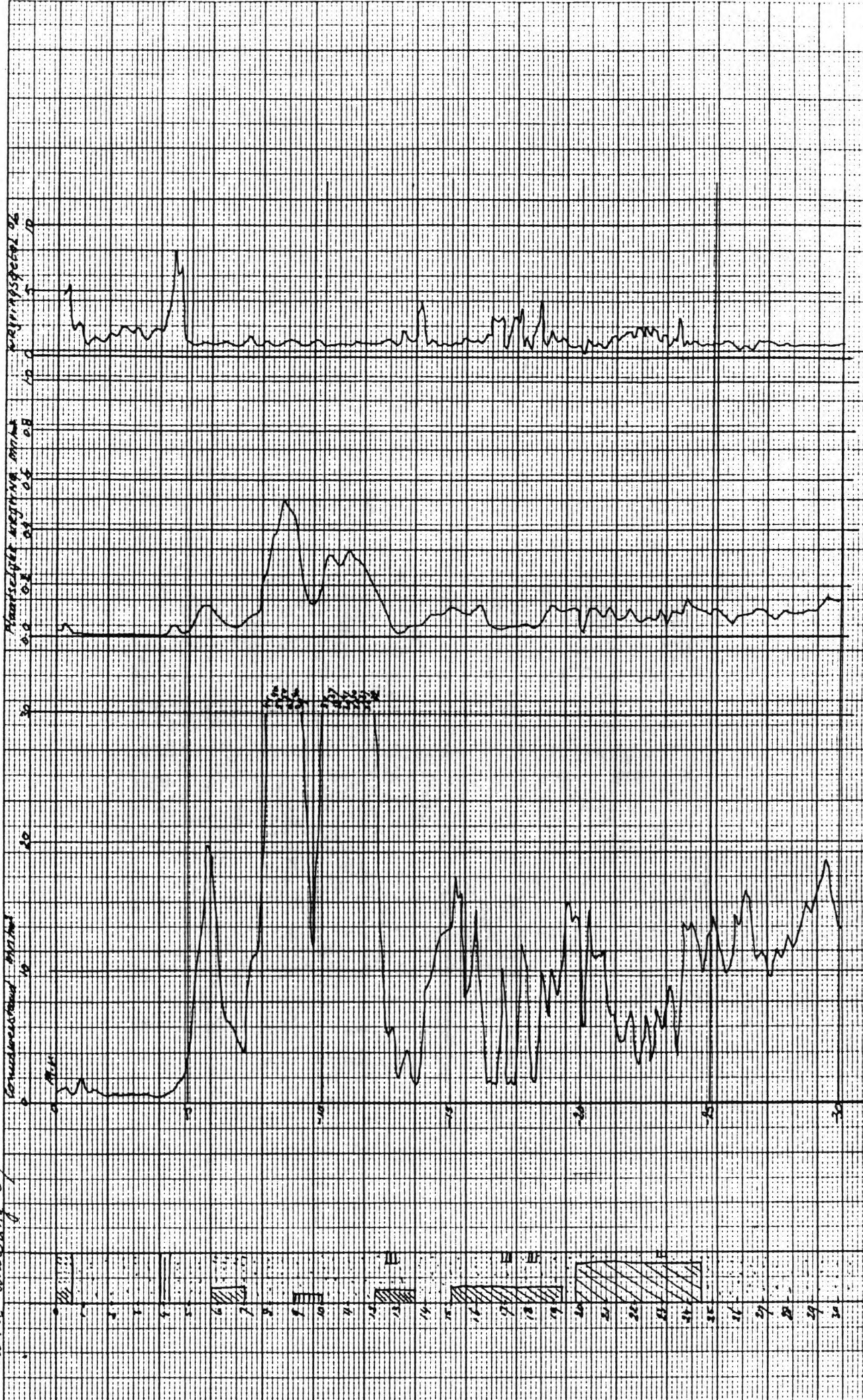
Z WARE somering ob Comuserstand MN/ms

B Stage 0 E





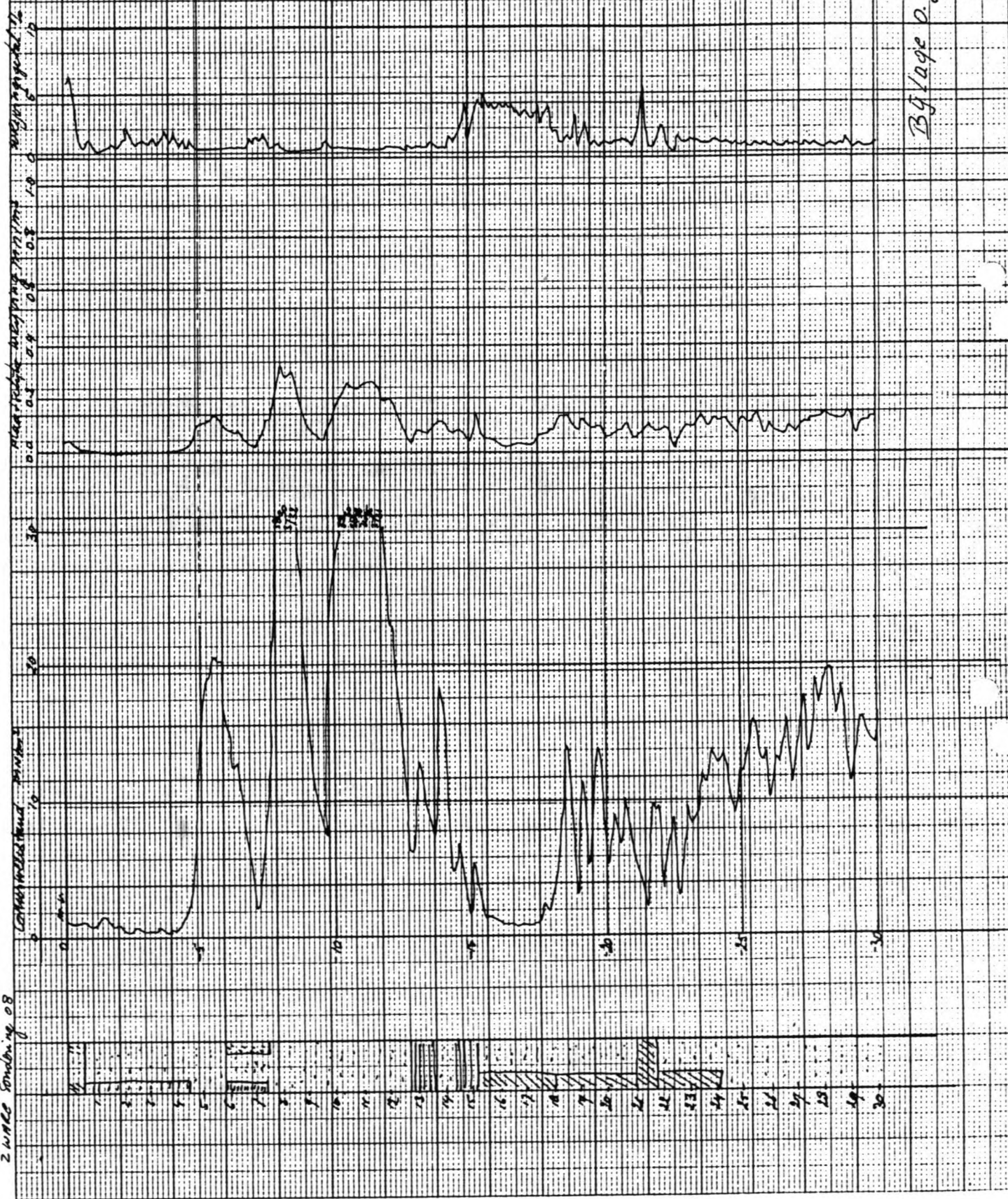
ZWARF-Schmelzung 07



Bylage 07

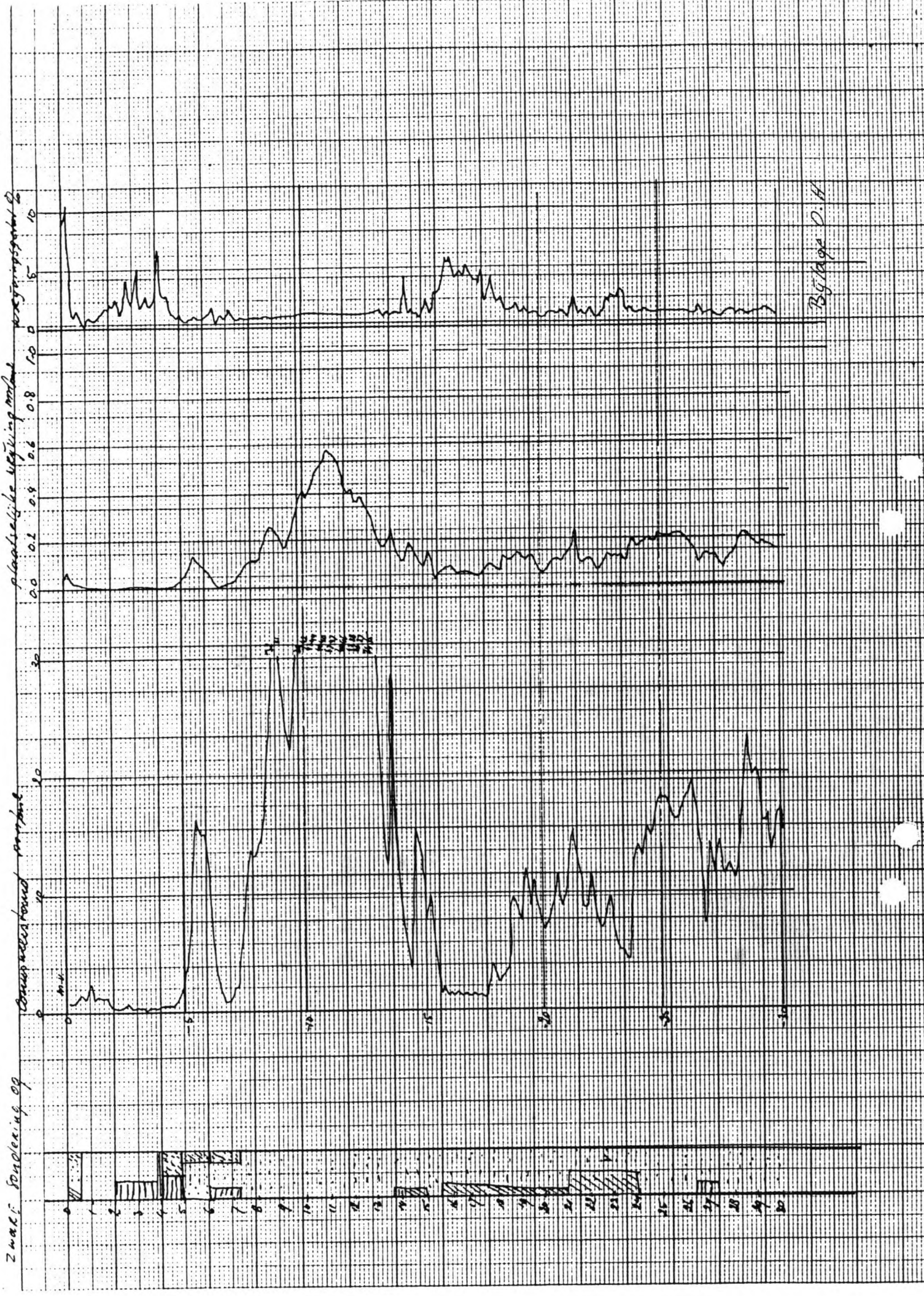


2 WACS Sounding 08



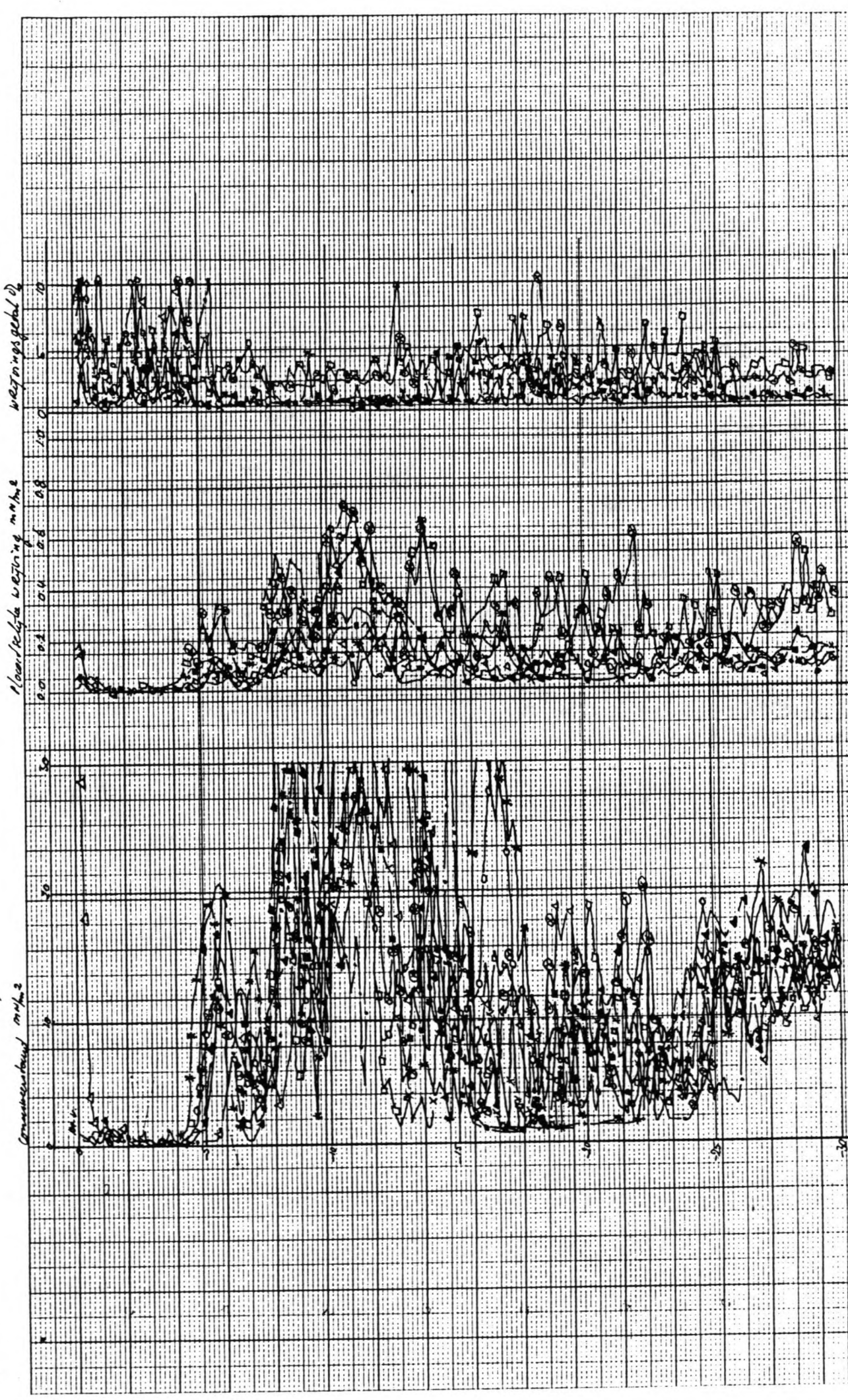
Bylage 0.8





Bylage D.H

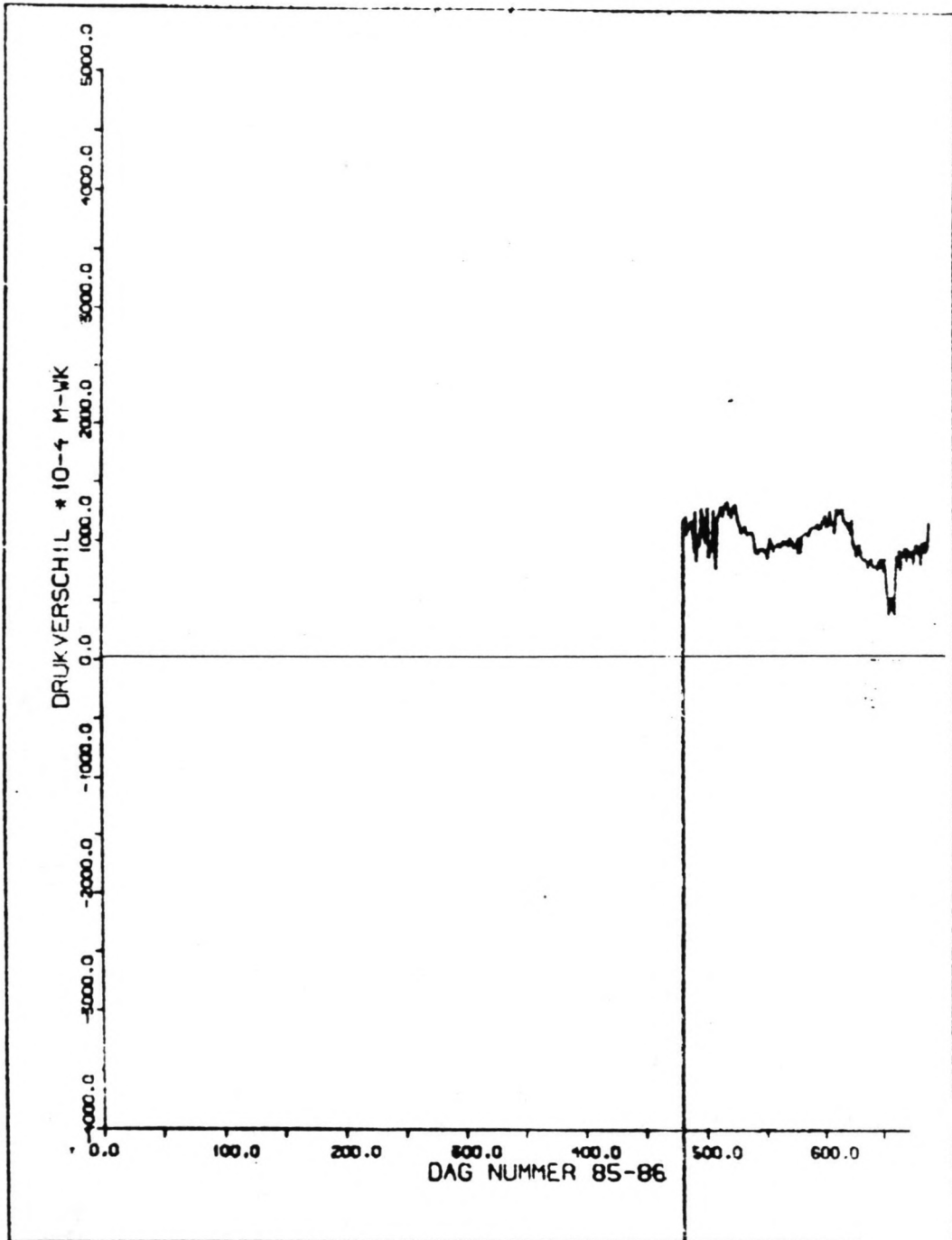





Biglage 0 I

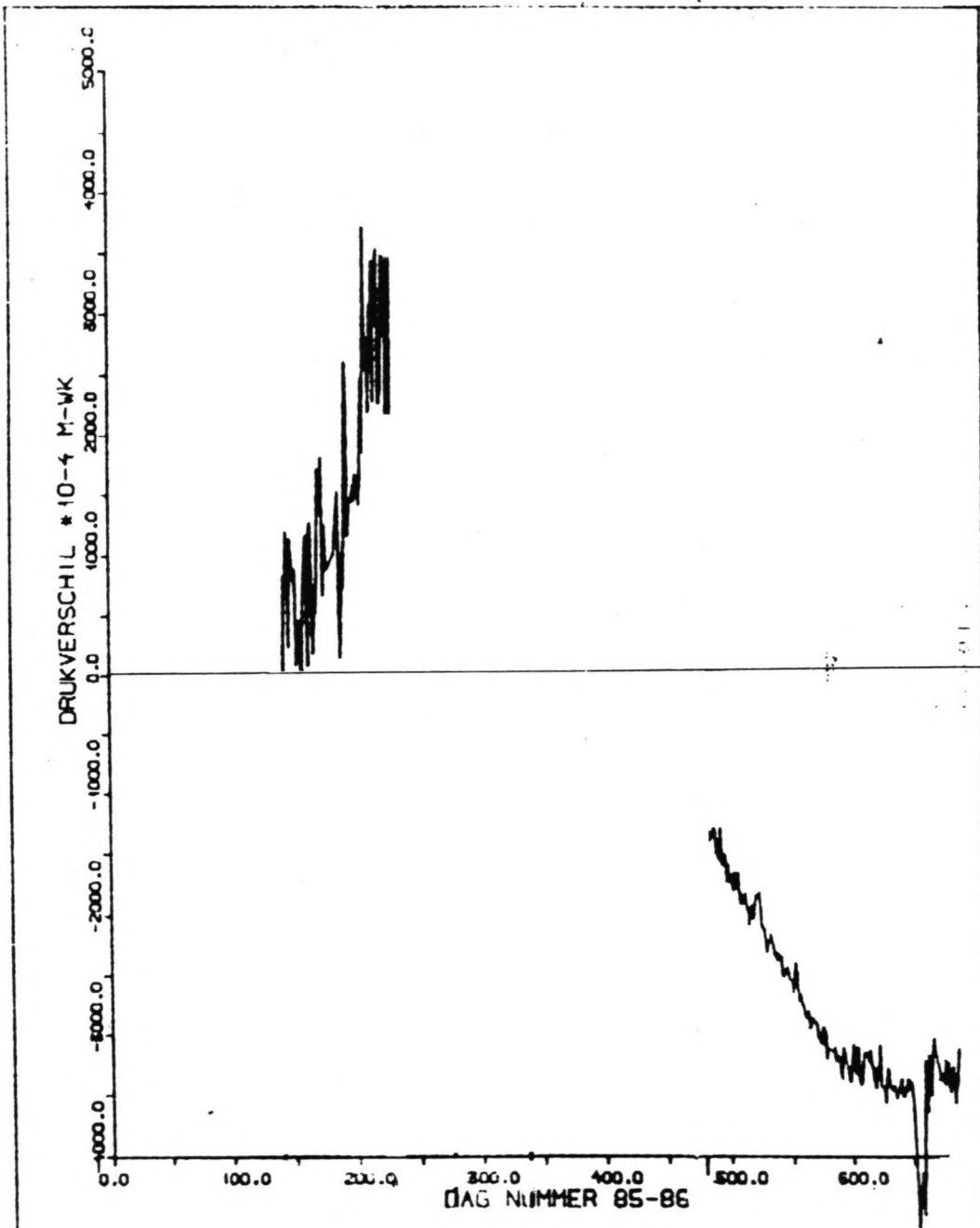
Zuace Sondering  
 ○ 01 — x — 05  
 □ 02 — — 09  
 △ 03 — — 08




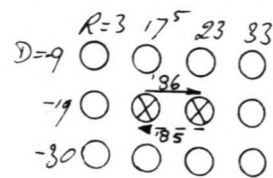


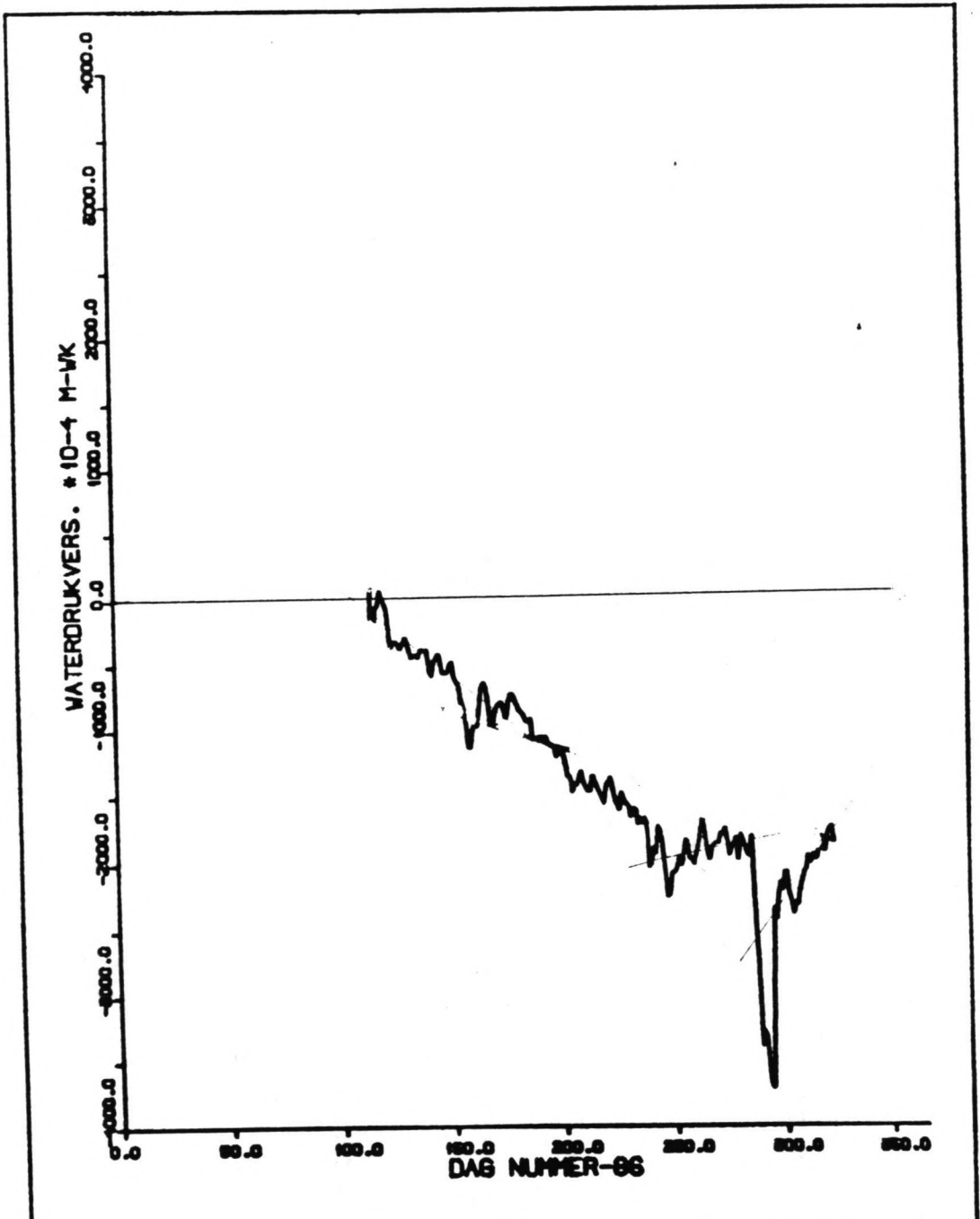
|   |  |          |    |
|---|--|----------|----|
|  | Postbus 60, 2600 AD Delft, Telfax 10161 81 80 81<br>Telefoon 10161 80 82 83 Teler 82894 delft nl | 87-08-04 |    |
|   | GECORR.DRUKVERSCHIL R=17.5M-R=23M,-19M   |          |    |
|   |  | Bijl.    | 1a |


R=3 17<sup>5</sup> 23 33  
 D = -9 ○ ⊗ ⊗ ○  
 -19 ○ ○ ○ ○  
 -30 ○ ○ ○ ○



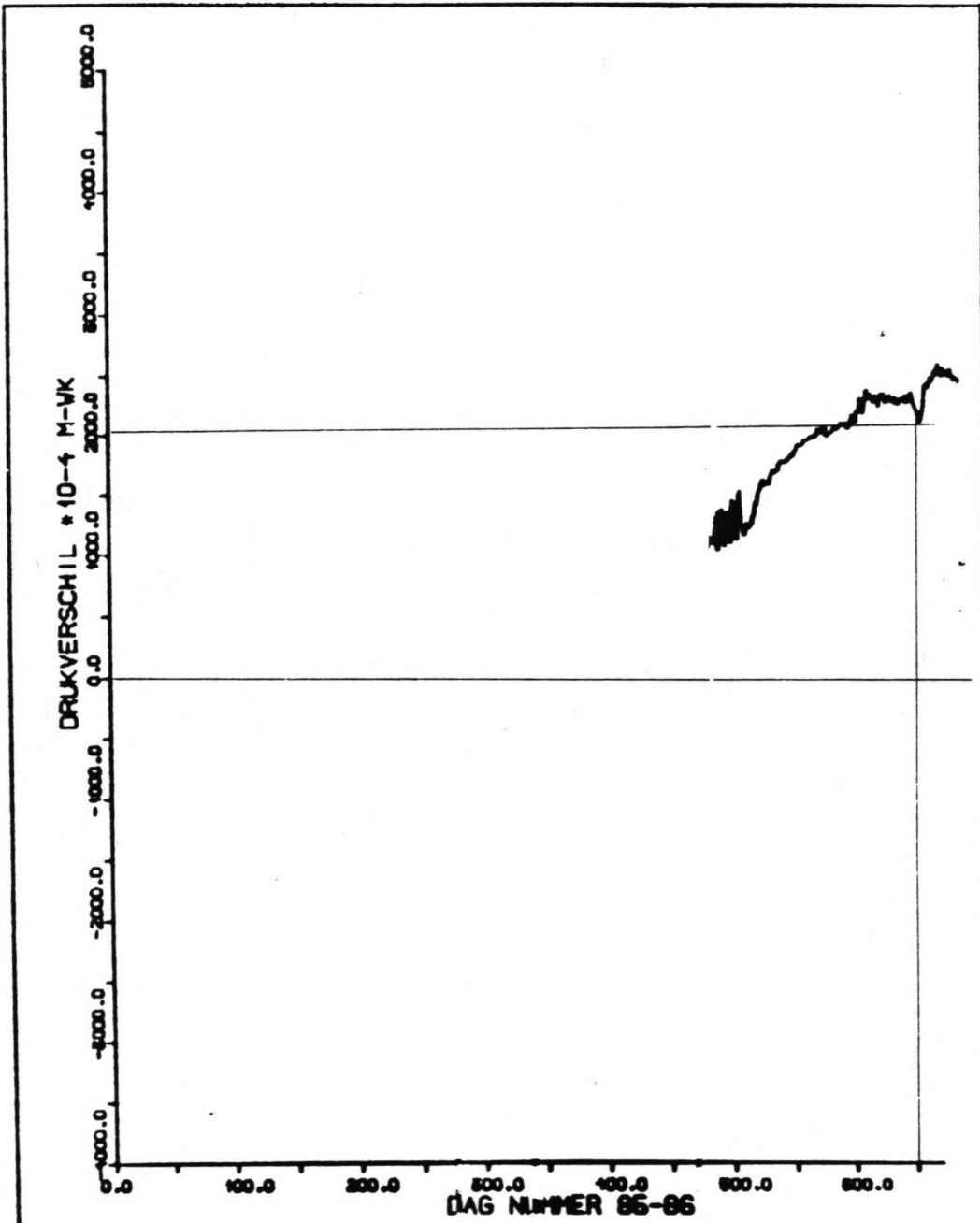
|   |   |  |          |
|---|---|--|----------|
|  <b>GRONOMECHANICA<br/>DELFT</b> | Project no. 200-40-001<br>Tel. (051) 26 52 51 | Project no. 1001-81-00-01<br>Tel. (051) 26 52 51 | B7-08-04 |
|   | GECORR.DRUKVERSCHIL R=17.5M R=23M. -19M       |  | BIJL. 18 |






|   |   |          |    |
|---|---|----------|----|
|  <b>GECORR</b><br>GEOTECHNICA<br>DELFT | Postbus 65, 3320 AB Delft. Telefoon (015) 61 62 21<br>Telefoon (015) 62 62 25. Tele: 62294 ext. 45. | 87-07-29 |    |
|   | <b>GECORR.DRUKVERSCHIL R=17.6M-R=33M,-19M</b>   | BIJL.    | 1c |

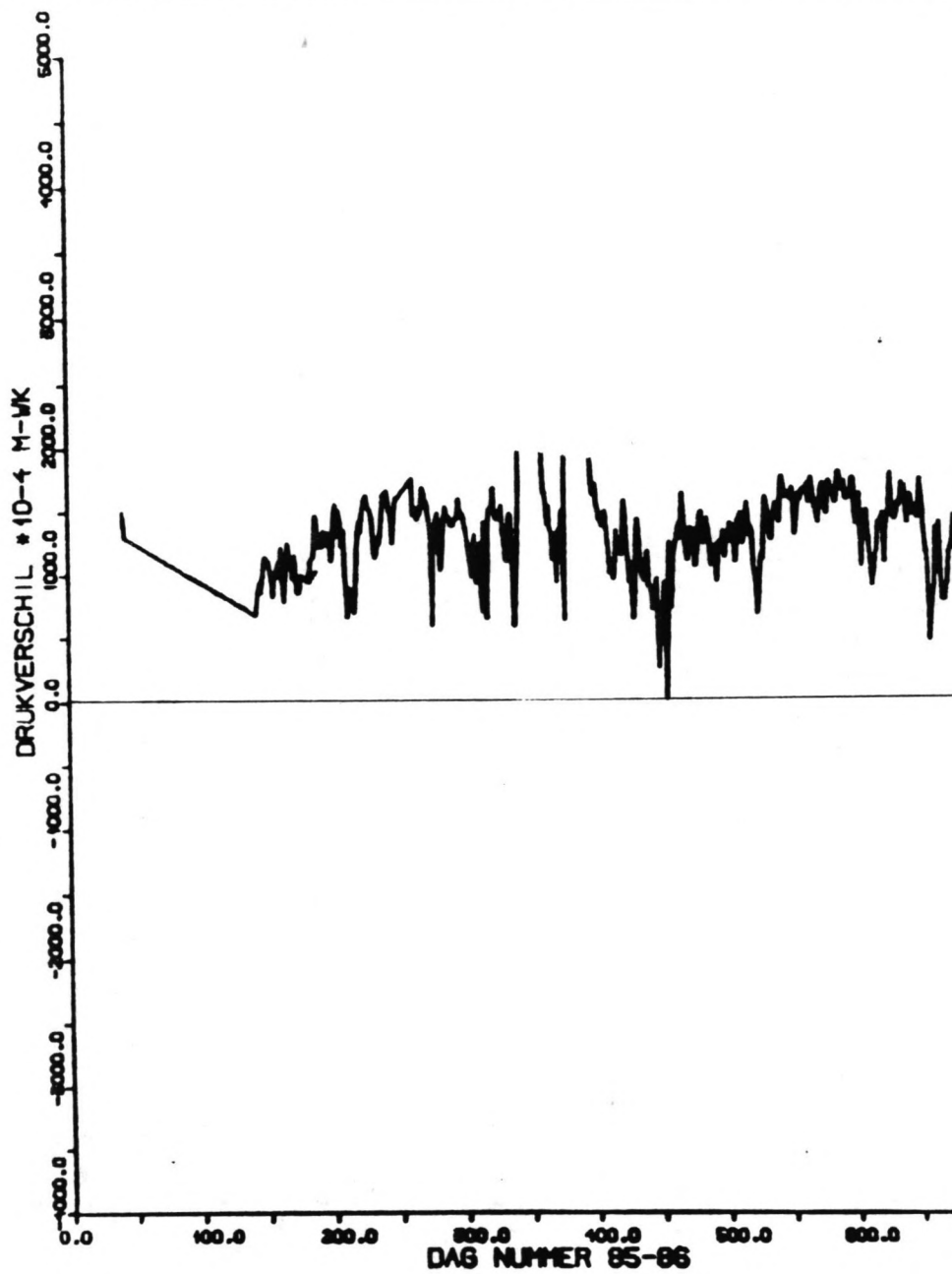
R=3 17<sup>5</sup> 23 33  
 D=-4 ○ ○ ○ ○  
 -19 ○ ⊗ ○ ⊗  
 -30 ○ ○ ○ ○



|   |  |                                      |    |
|---|--|--------------------------------------|----|
|  <b>G. GROENHEDWANICA</b><br>DELFT | Postbus 85, 2600 AD Delft    Telefax 0645 84 88 81<br>Telefoon 0645 85 88 81    Telefax 0645 8584 84 | 87-08-08                             |    |
|   |  | GECORR. DRUKVERSCHIL R=28M-R=33M.-8M |    |
|   |  | BIJL.                                | 1d |

R = 3    17<sup>5</sup>    23    33  
 D = -9 ○    ○    ⊗    ⊗  
       -19 ○    ○    ○    ○  
       -30 ○    ○    ○    ○





**G** SPONGMECHANICA DELFT

Postbus 26, 2600 AA Delft, Telefoon (06) 54 66 21  
 Telefax (06) 54 66 25 Telex 62291 conl. nl.

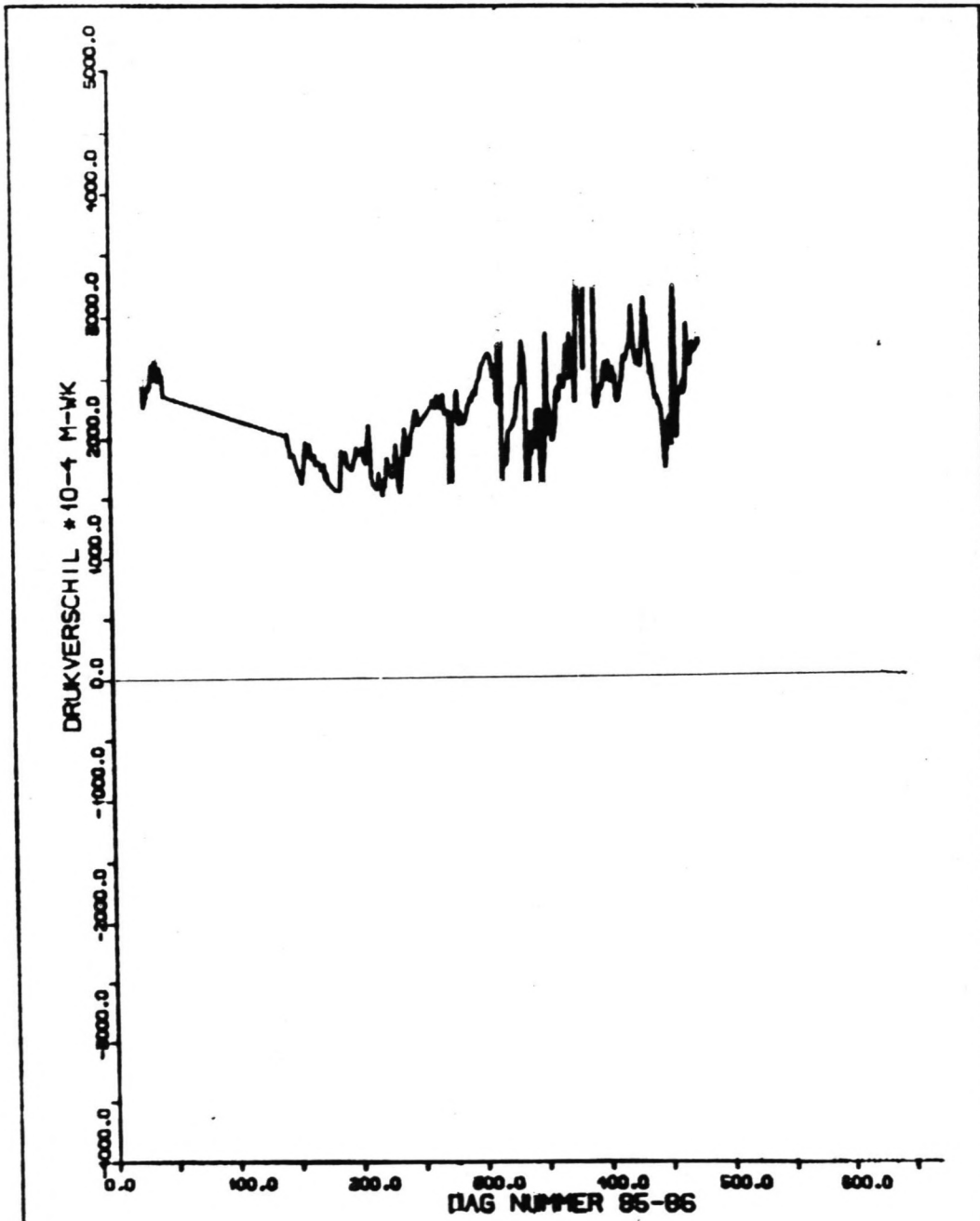
87-08-05


GECORR.DRUKVERSCHIL R=25M-R=35M,-19M

BIJL.

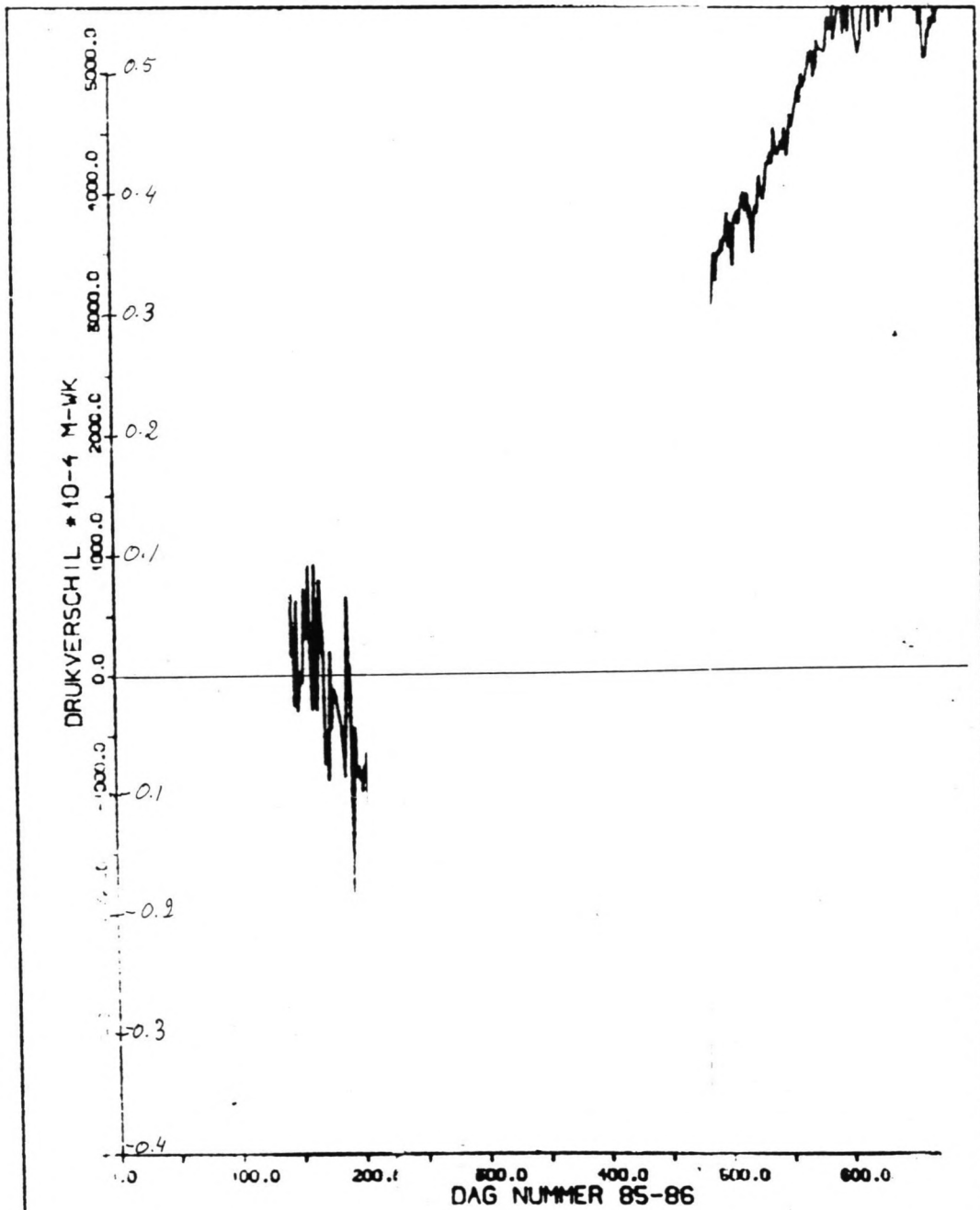
1e


R=3 17<sup>5</sup> 23 33  
 D=-9 ○ ○ ○ ○  
 -19 ○ ○ ⊗ ⊗  
 -30 ○ ○ ○ ○

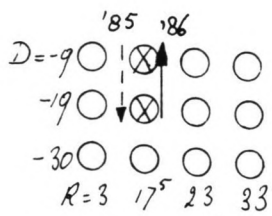


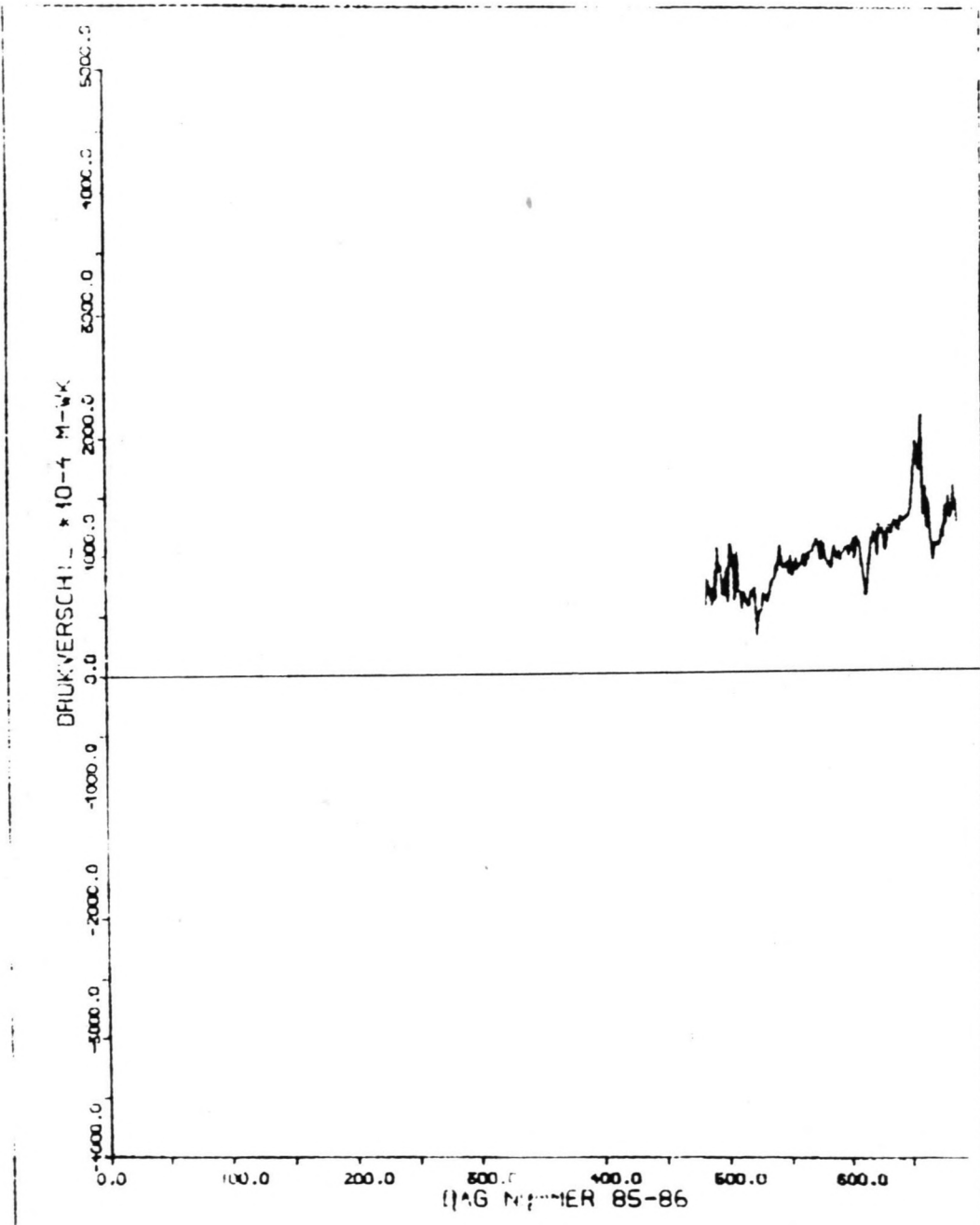
|  |   |          |    |
|--|---|----------|----|
|  <b>G. GONDMECHANICA</b><br>DELFT | Postbus 68, 3200 AB Delft, Telefax 14151 04 00 21 | 87-08-03 |    |
|  | Telefoon 14151 00 00 01, Tele 14151 00 00 02      |          |    |
| GECORR.DRUKVERSCHIL R=28M-R=33M,-30M   |   |          |    |
|  |   | BIJL.    | 17 |


R=3 17<sup>5</sup> 23 33  
 D=-9 ○ ○ ○ ○  
 -19 ○ ○ ○ ○  
 -30 ○ ○ ⊗ ⊗



|   |  |  |    |  |
|---|--|--|----|--|
|  <b>GRONDMECHANICA<br/>DELFT</b> | Postbus 26, 2600 AA Delft    Telefoon 10 61 81 82 21<br>Telefoon 10 61 78 82 28    Telefax 02201 8011 14 | 87-08-04                                   |    |  |
|   |  | GE CORR. DRUKVERSCHIL D=-9M-D=-19M,R=17.5M |    |  |
|   |  | BIJL.                                      | 18 |  |

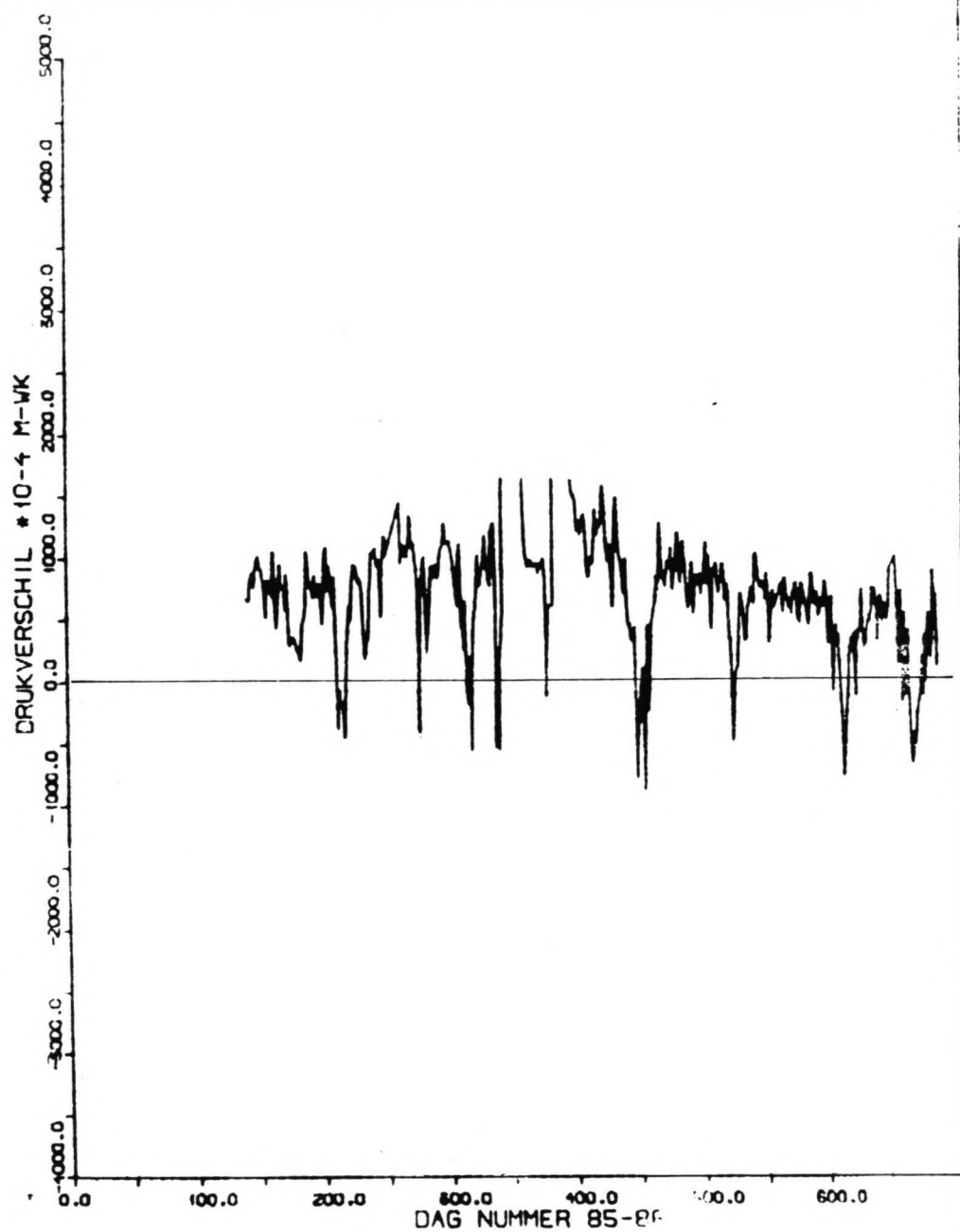





|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
|  <b>GECORP</b><br>Delft | Position 00. 2400 AB Delft<br>Total 10 15 00 02 29 | Datum 10 15 01 00 21<br>Totaal 2000 0000 00 | 87-08-04                                   |
|  | GECORP. DRUKVERSCHIL D= 9M-D#-19M R=23M            |   | BIJL <span style="float: right;">1h</span> |

$R=3$      $17^5$     23    33  
 $D=-9$  ○    ○    ⊗    ○  
 $-19$  ○    ○    ⊗    ○  
 $-30$  ○    ○    ○    ○

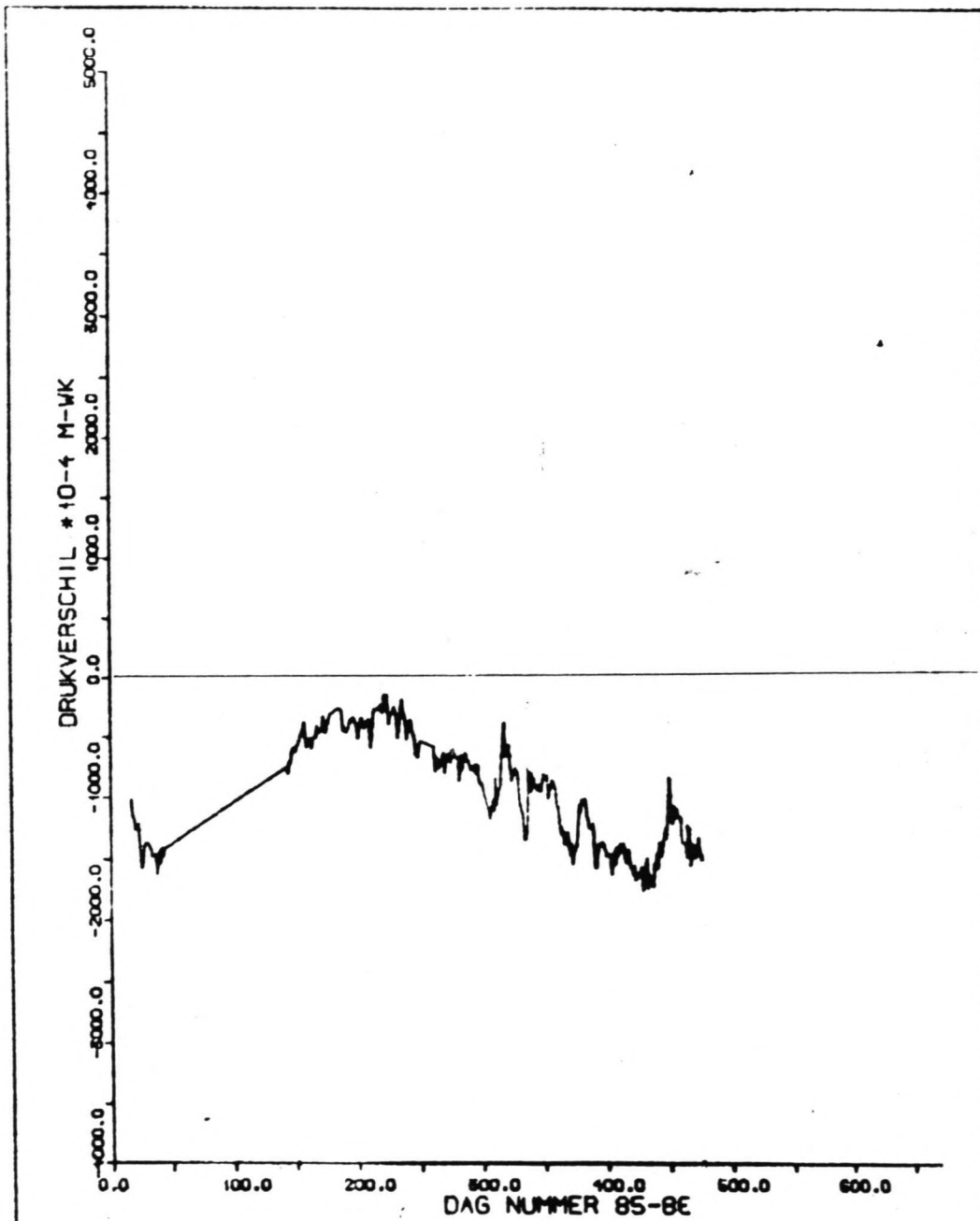





|   |  |          |       |
|---|--|----------|-------|
|  <b>GRONDMECHANICA<br/>DELFT</b> | Postbus 85, 2600 AB Delft    Telefax (015) 61 08 21<br>Telefoon (015) 66 52 25    Telefax (015) 66 52 25 | 87-08-04 |       |
|   | GE CORR. DRUKVERSCHIL D=-9M-D=-19M,R=33M   |          | BIJL. |

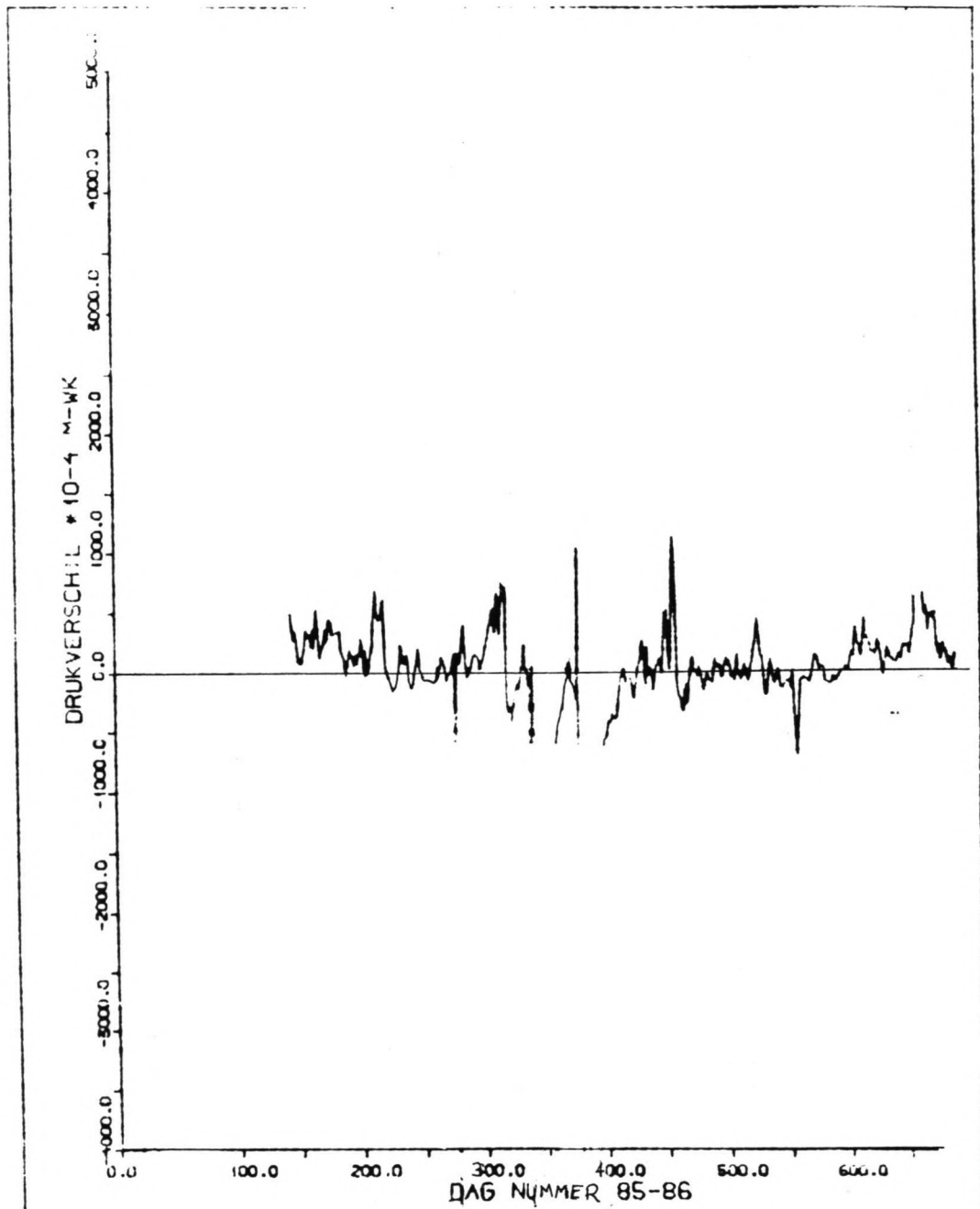
$R=3$      $17^5$     23    33  
 $D=$ 


|     |   |   |   |   |
|-----|---|---|---|---|
| -9  | ○ | ○ | ○ | ⊗ |
| -19 | ○ | ○ | ○ | ⊗ |
| -30 | ○ | ○ | ○ | ○ |

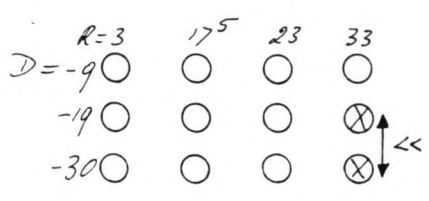


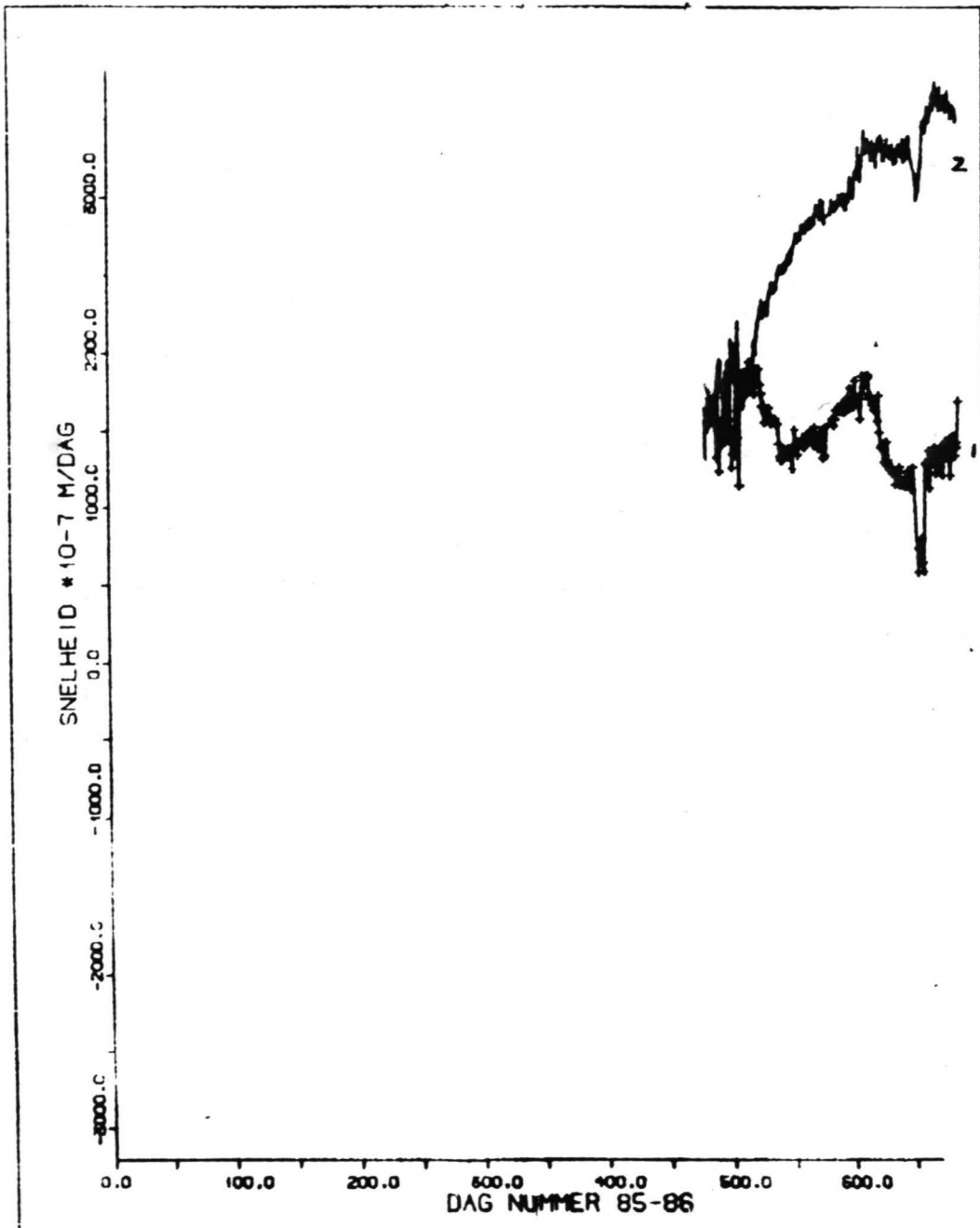
|   |  |          |       |
|---|--|----------|-------|
|  <b>GRONDMECHANICA<br/>DELFT</b> | Postbus 66, 2600 AD Delft, Telefax: (015) 61 66 21<br>Telefoon: (015) 66 66 20, Telefax: (0224) 441.41 | 87-08-04 |       |
|   | GECORR. DRUKVERSCHIL D=-19M-D=-30M, R=23M  |          | BIJL. |

$R=3$     17<sup>5</sup> 23 33  
 $D=-9$  ○ ○ ○ ○  
 $-19$  ○ ○ ⊗ ○  
 $-30$  ○ ○ ⊗ ○

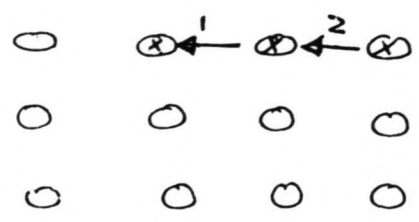


|   |  |   |          |       |
|---|--|---|----------|-------|
|  <b>GRONDMECHANICA</b><br>N.V. | Postbus 88, 2800 AB Delft<br>Telefoon (015) 66 83 21 | Telefax (015) 61 08 21<br>Tele- <del>fax</del> (015) 66 83 21 | 87-08-04 |       |
|   | GECORR. DRUKVERSCHIL D=-19M-D=-30 R=33M              |   |          | BIJL. |

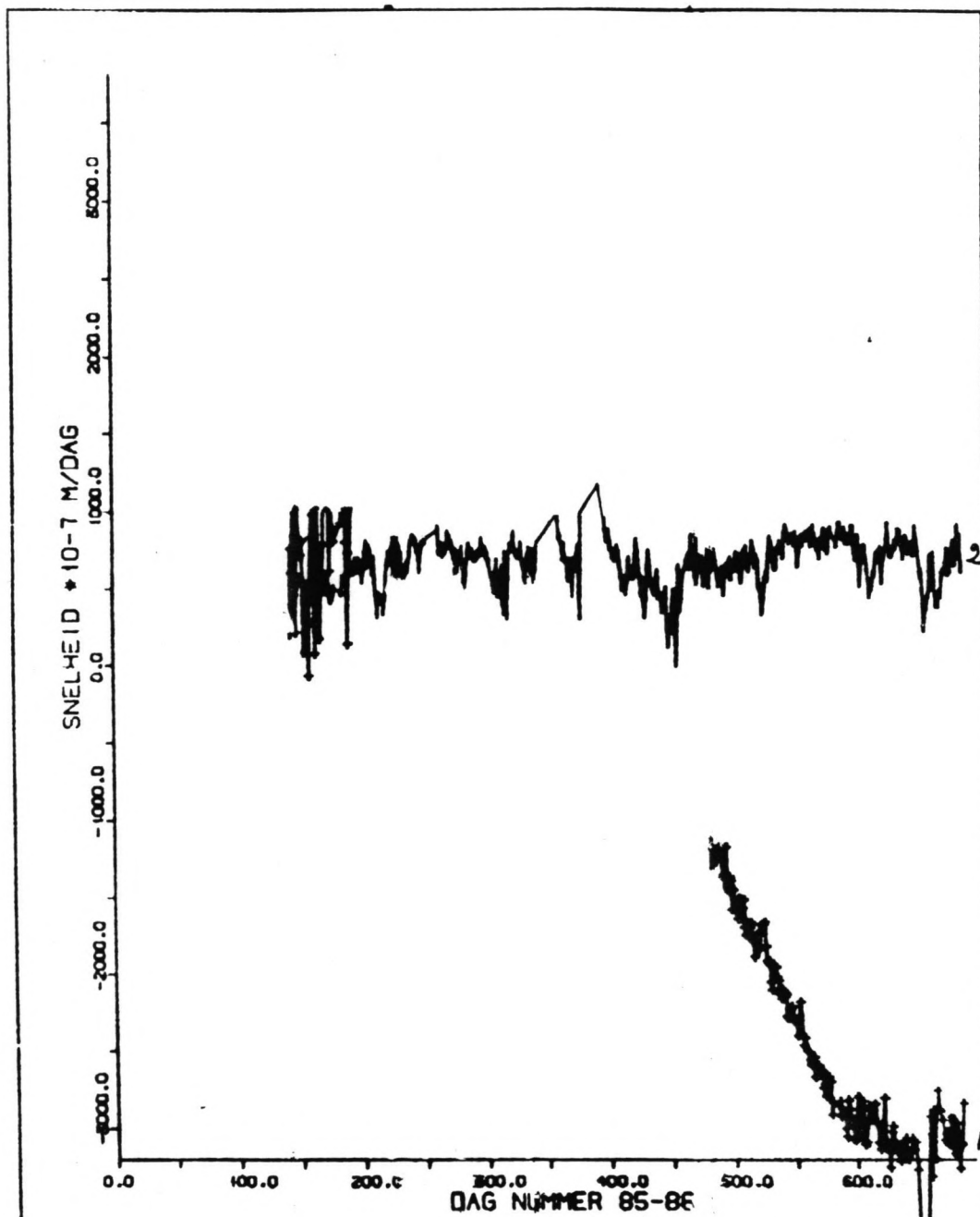





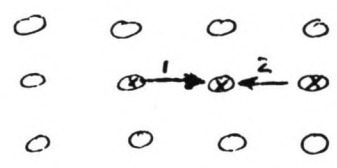
|  |   |          |     |
|--|---|----------|-----|
|  | Postbus 88, 2600 AB Delft, Telf: (015) 81 88 21<br>Telefax (015) 86 82 21             | 87-08-05 |     |
|  | 1 GECORR. PORIESNELHEID R=17.5-R=23M, -9M<br>2 GECORR. PORIESNELHEID R=23M-R=33M, -9M | BIJL. /  | 122 |

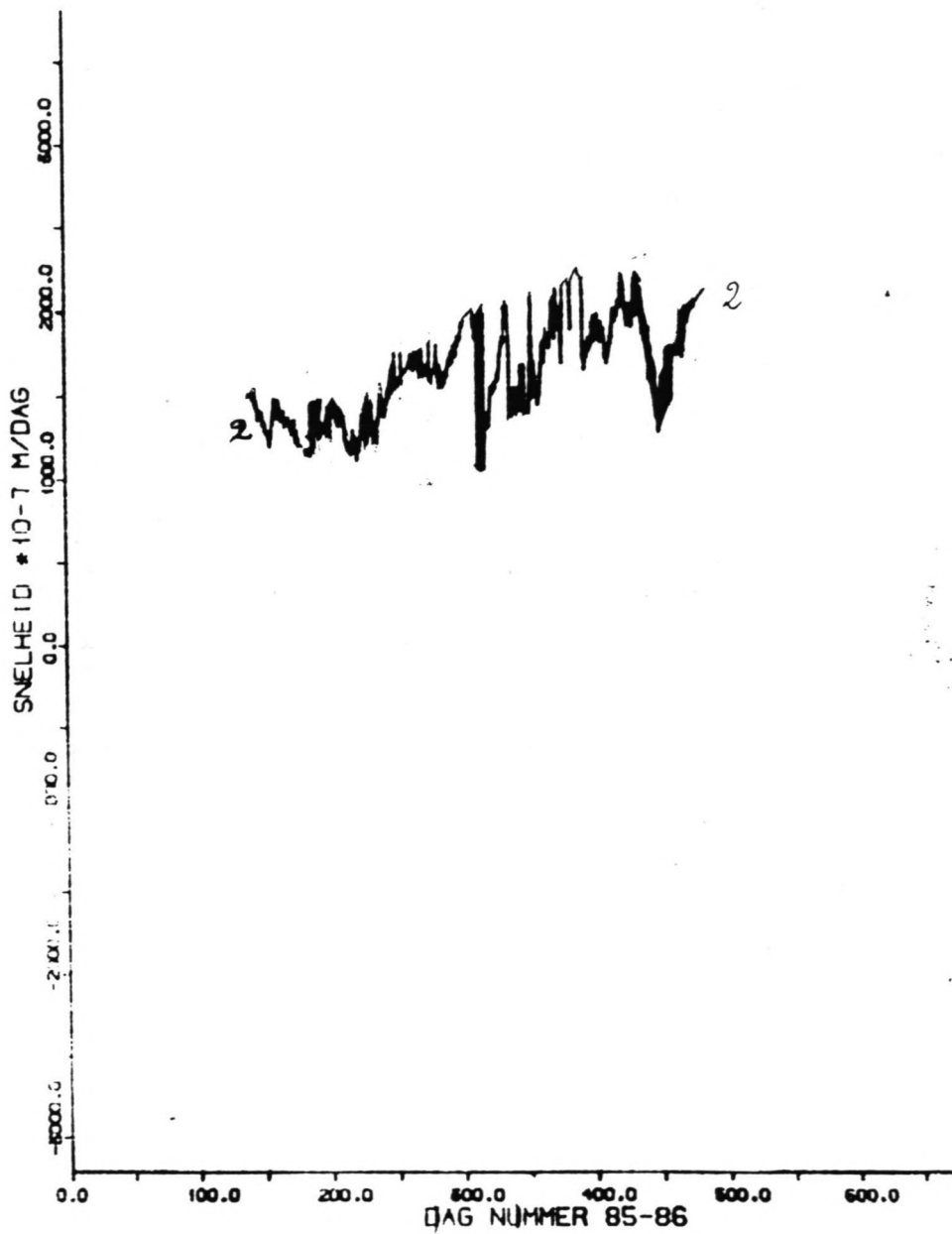




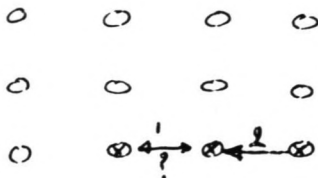


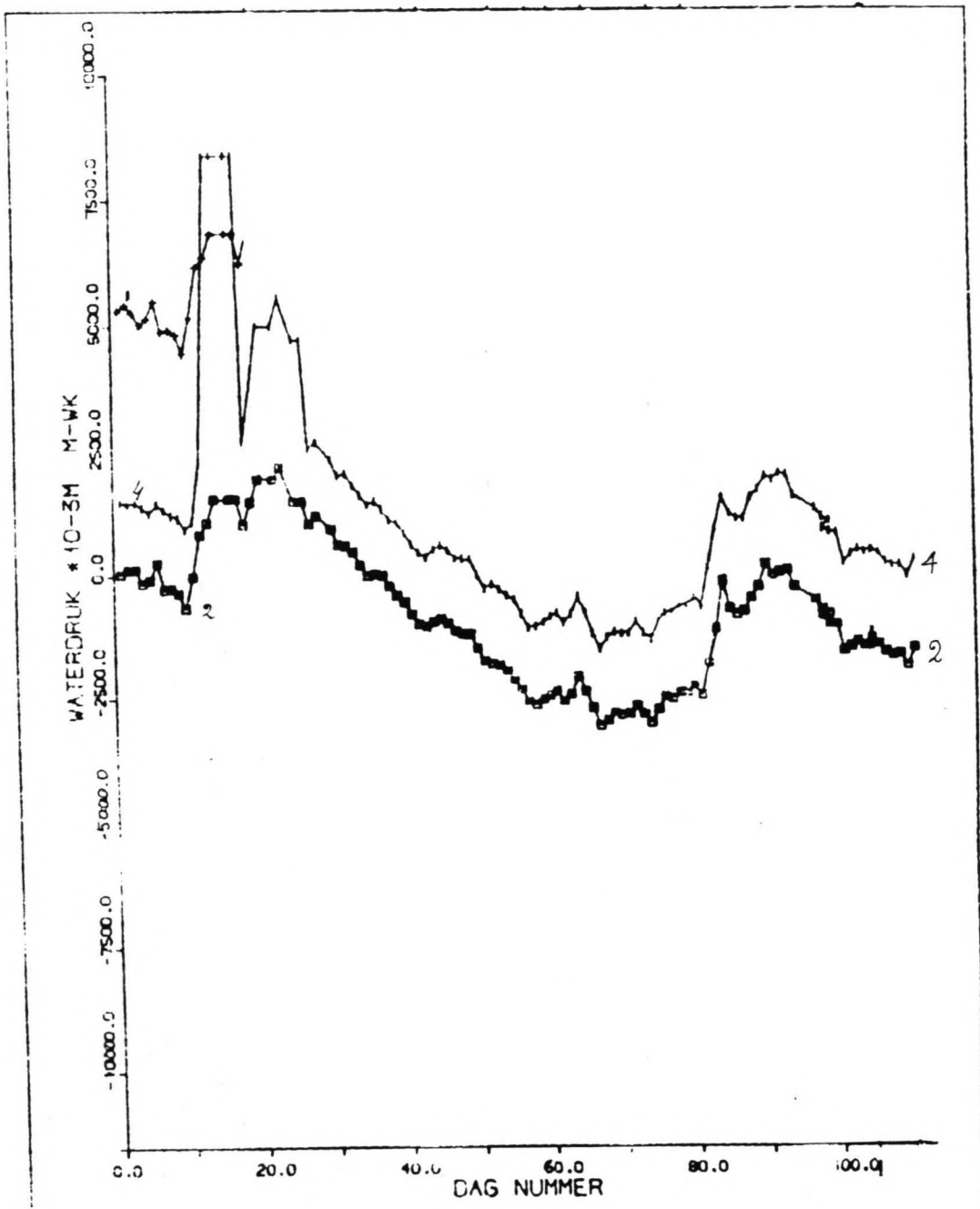
|   |  |  |                 |       |
|---|--|--|-----------------|-------|
|  <b>GRONDMECHANICA<br/>DELFT</b> | Project No. 2000 40 0014<br>Station 10 00: 40 00 21                          | Date: 1987 01 09 21<br>Scale: 1:100000 | <b>B7-08-05</b> |       |
|   | 1 GECORR.SNELHEID R=17.5M-R=23M,-19M +<br>2 GECORR.SNELHEID R=23M-R=33M,-19M |  |                 | BIJL. |





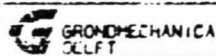
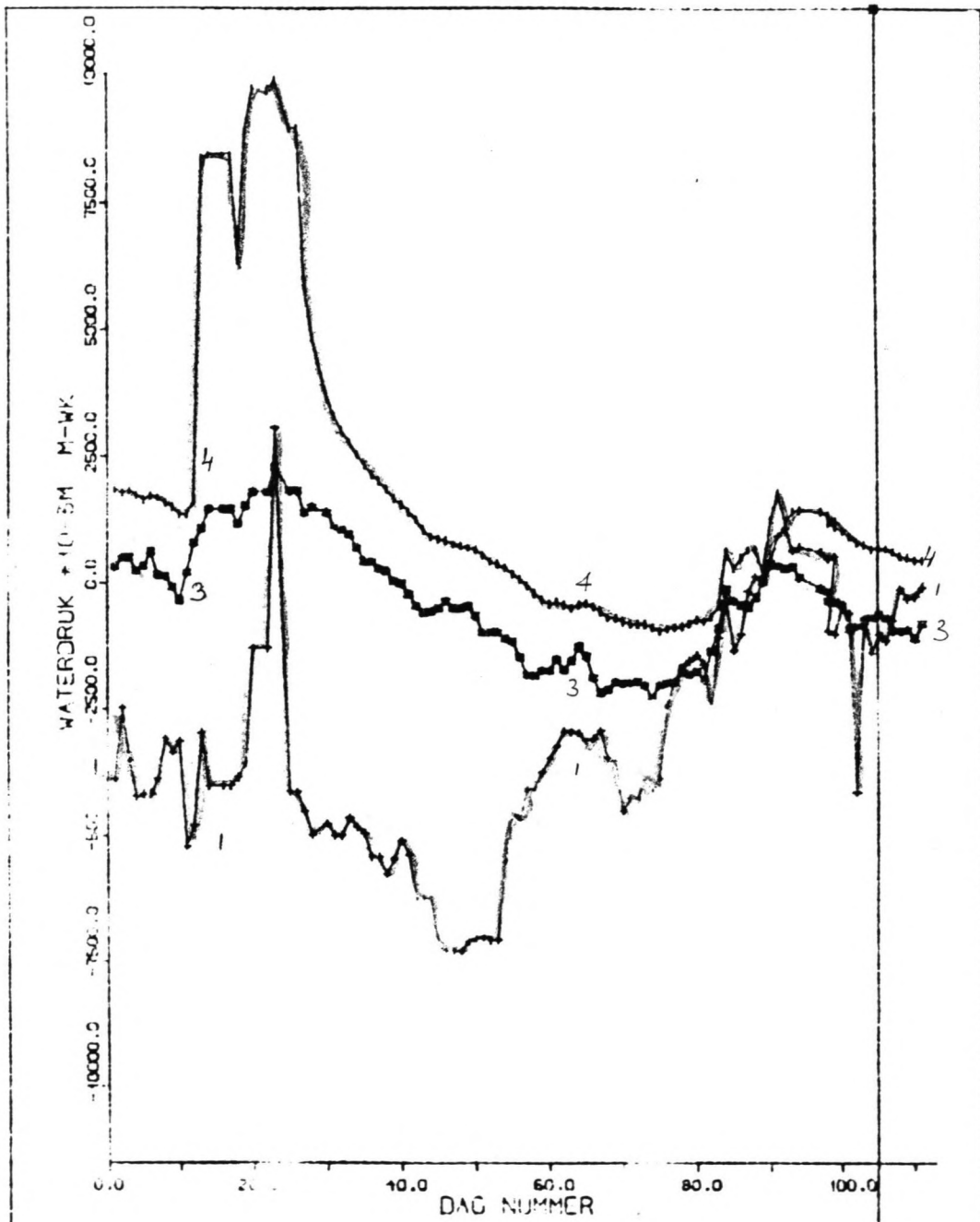
|   |   |          |     |
|---|---|----------|-----|
|  <b>GRONDMECHANICA<br/>DELFT</b> | Postbus 26, 2600 AA Delft, Telefax (015) 81 88 21<br>Telefoon (015) 88 88 26 Tele: 888841 ext. 41 | 87-08-05 |     |
|   | 1 GECORR. PORIESNELHEID R=17.5M-R=23M, -30 +<br>2 GECORR. PORIESNELHEID R=23M-R=33M, -30M         |          |     |
|   |   | Bl. J.L. | /cc |





|           |                   |   |          |          |
|-----------|-------------------|---|----------|----------|
| MECHANICA |                   | Postbus 88, 2800 AB Delft, Telefoon (015) 61 08 21<br>Telefoon (015) 68 82 28, Telefax 68261 0011 |          | 87-07-20 |
| 1         | GECORR. WATERDRUK | R=3M. -9M M.V.  | + DEFECT | 1986     |
| 2         | GECORR. WATERDRUK | R=17.5M. -9m M.V.   | D DEFECT |          |
| 3         | GECORR. WATERDRUK | R=23M. -9M M.V.   | * DEFECT | BIJL. 2a |
| 4         | GECORR. WATERDRUK | R=33M. -9M M.V.   | I        |          |

|         |                 |    |    |   |
|---------|-----------------|----|----|---|
| R= 3    | 17 <sup>5</sup> | 23 | 33 | ○ |
| D= -9 ⊗ | ⊗               | ⊗  | ⊗  | ○ |
| -19 ○   | ○               | ○  | ○  |   |
| -30 ○   | ○               | ○  | ○  |   |



Postbus 88, 2600 AB Delft, Telfoon (015) 81 20 41  
 Telefax (015) 86 82 26 Telfax 88884 ext. 21

87-07-20

- 1 GECORR. WATERDRUK R=3M, -19M M.V. +
- 2 GECORR. WATERDRUK R=17.5M, -19M M.V. DEFECTO
- 3 GECORR. WATERDRUK R=25M, -19M M.V. \*
- 4 GECORR. WATERDRUK R=33M, -19M M.V. †

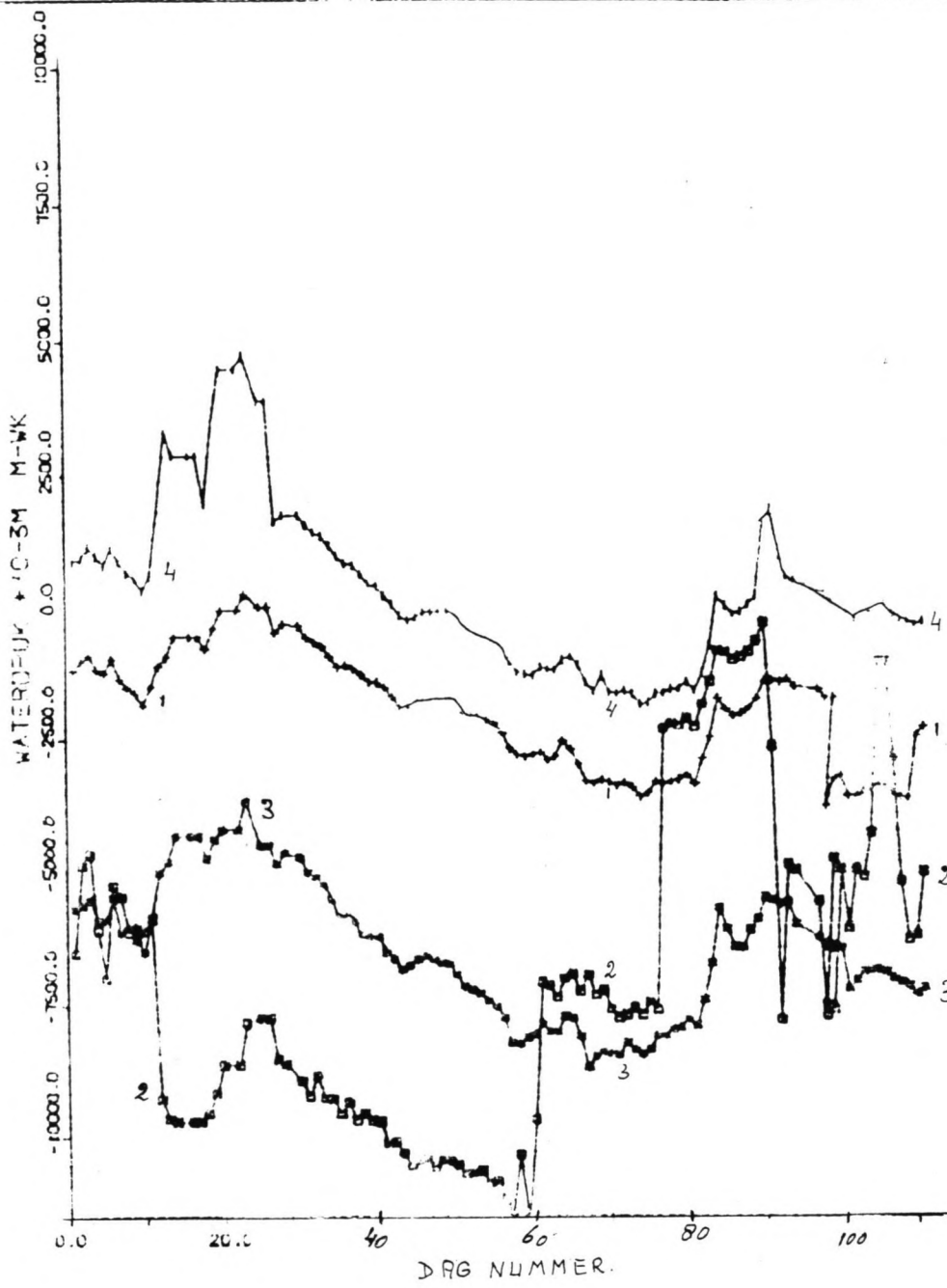
1986

BIJL.

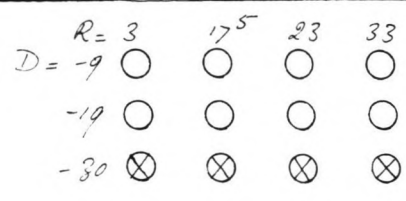
26

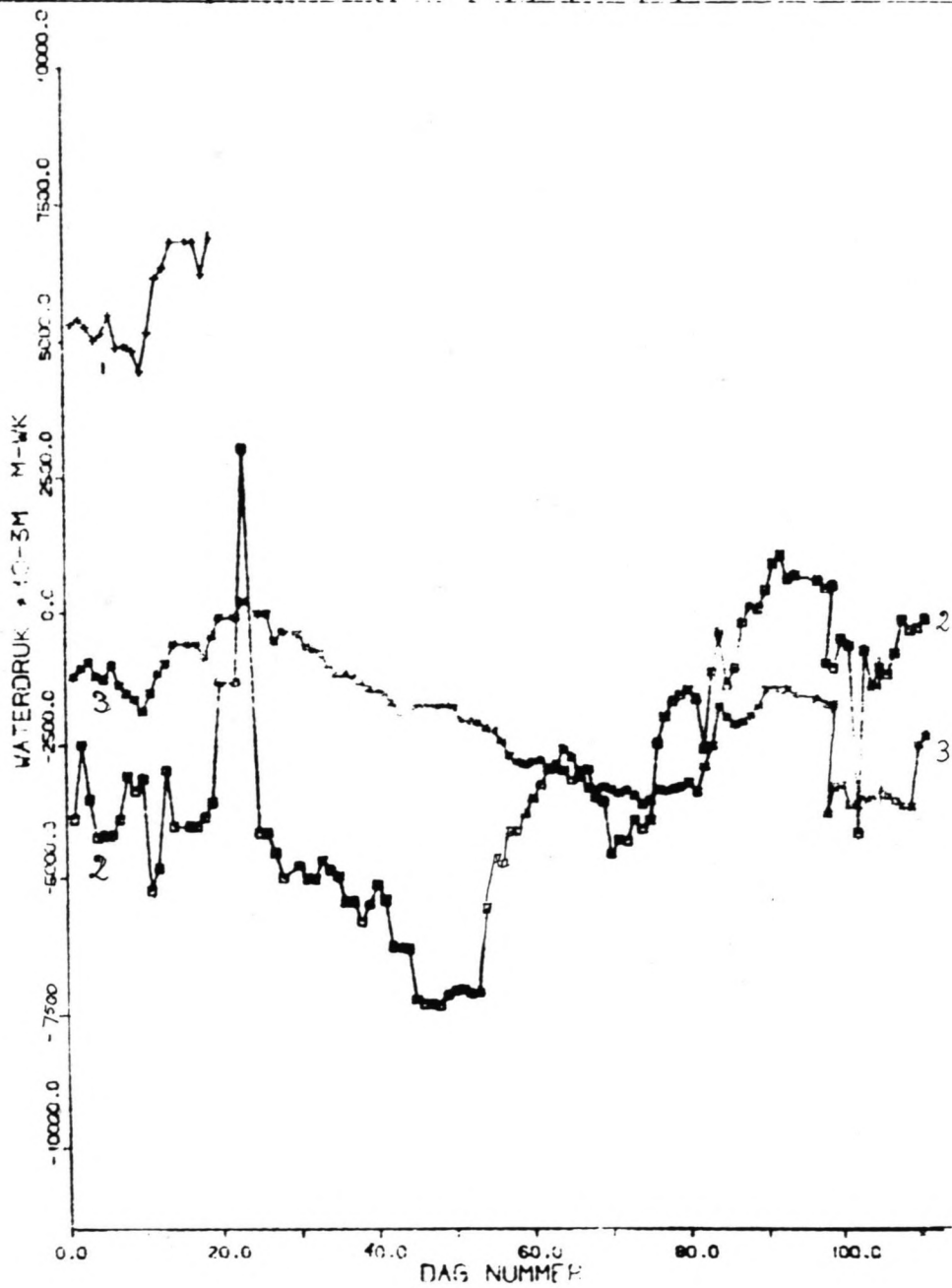
|     |     |                 |    |    |
|-----|-----|-----------------|----|----|
|     | R=3 | 17 <sup>5</sup> | 23 | 33 |
| D=9 | ○   | ○               | ○  | ○  |
| -19 | ⊗   | ⊗               | ⊗  | ⊗  |
| -30 | ○   | ○               | ○  | ○  |






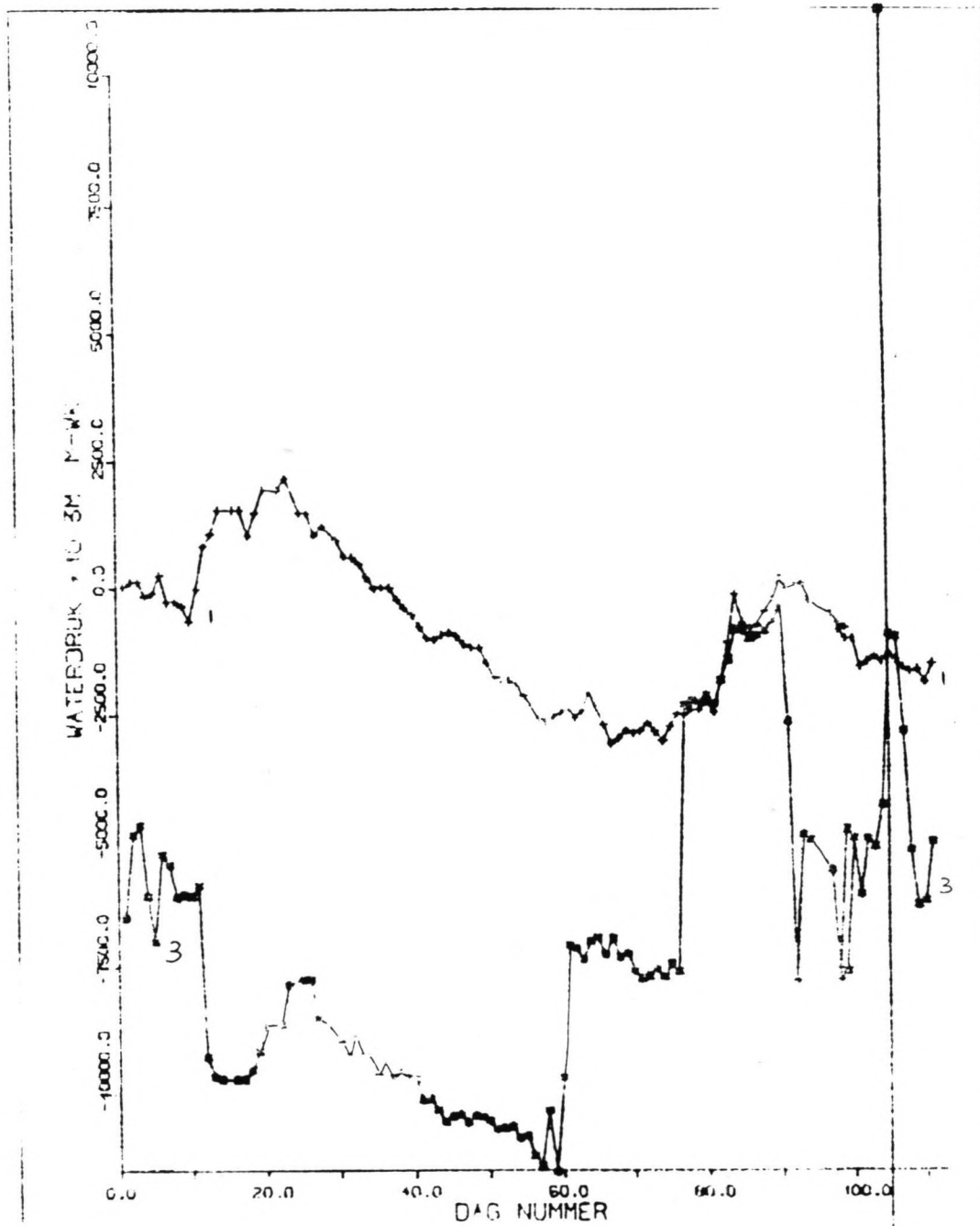
|                         |  |   |  |          |
|-------------------------|--|---|--|----------|
| GRONDMECHANICA<br>TELEF |  | Postbus 28, 2500 AB Delft, Telefoon (015) 61 08 21<br>Telefax (015) 66 32 28 Telex 86261 GML NL |  | 87-07-20 |
| 1                       | GECORR. WATERDRUK R=3M, -30M M.V. +    |   |  | 19 86    |
| 2                       | GECORR. WATERDRUK R=17.5M, -30M M.V. □ |   |  |          |
| 3                       | GECORR. WATERDRUK R=23M, -30M M.V. *   |   |  |          |
| 4                       | GECORR. WATERDRUK R=33M, -30M M.V.     |   |  | BIJL. 20 |





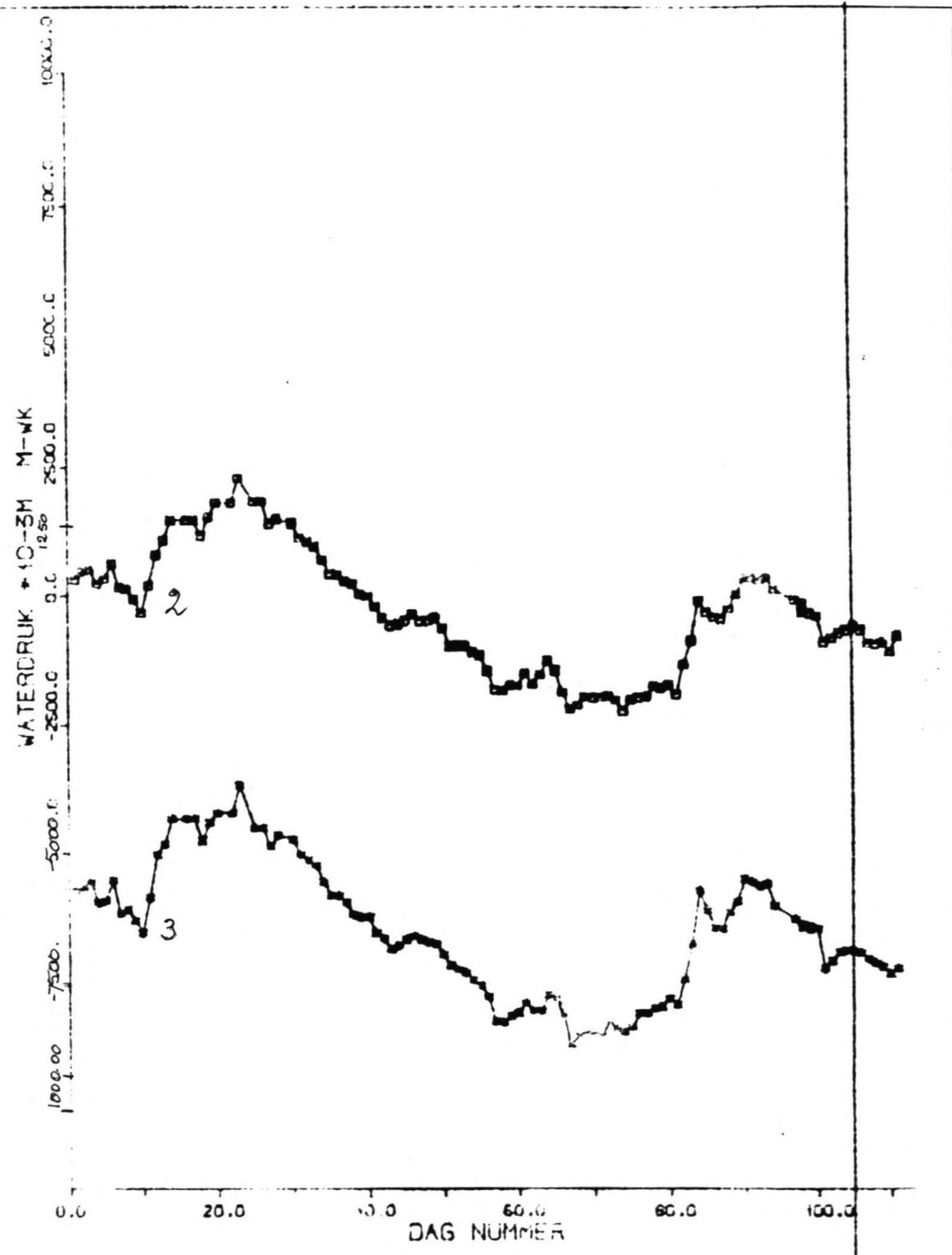
|  |   |  |      |  |
|--|---|--|------|--|
|  <b>GRONDMECHANICA</b><br>(R) PT. | Pontikus 88, 2600 AB Delft. Telefoon (015) 61 16 21<br>Telefoon (015) 64 92 28. Tele- 88884 ext. 10 | 87-07-25                                   |      |  |
|  |   | 1. GECORR. WATERDRUK R=3M, -9M M.V. DEFECT | 1986 |  |
|  |   | 2. GECORR. WATERDRUK R=3M, -19M M.V.       |      |  |
| 3. GECORR. WATERDRUK R=3M, -30M M.V.   |   | BIJL.                                      | 2d   |  |


|                  |                 |    |    |
|------------------|-----------------|----|----|
| R=3              | 17 <sup>5</sup> | 23 | 33 |
| D=- <del>9</del> | ○               | ○  | ○  |
| -19              | ○               | ○  | ○  |
| -30              | ○               | ○  | ○  |

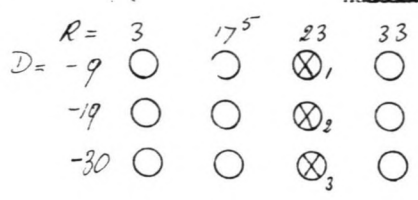


|  |  |                            |    |
|--|--|----------------------------|----|
| GECORR. WATERDRUK R=17,5M, -9M M.V.<br>GECORR. WATERDRUK R=17,5M, -19M M.V. DEFEKT<br>GECORR. WATERDRUK R=17,5M, -30M M.V. |  | 87-07-20<br>1986<br>E.J.L. | 20 |
|--|--|----------------------------|----|

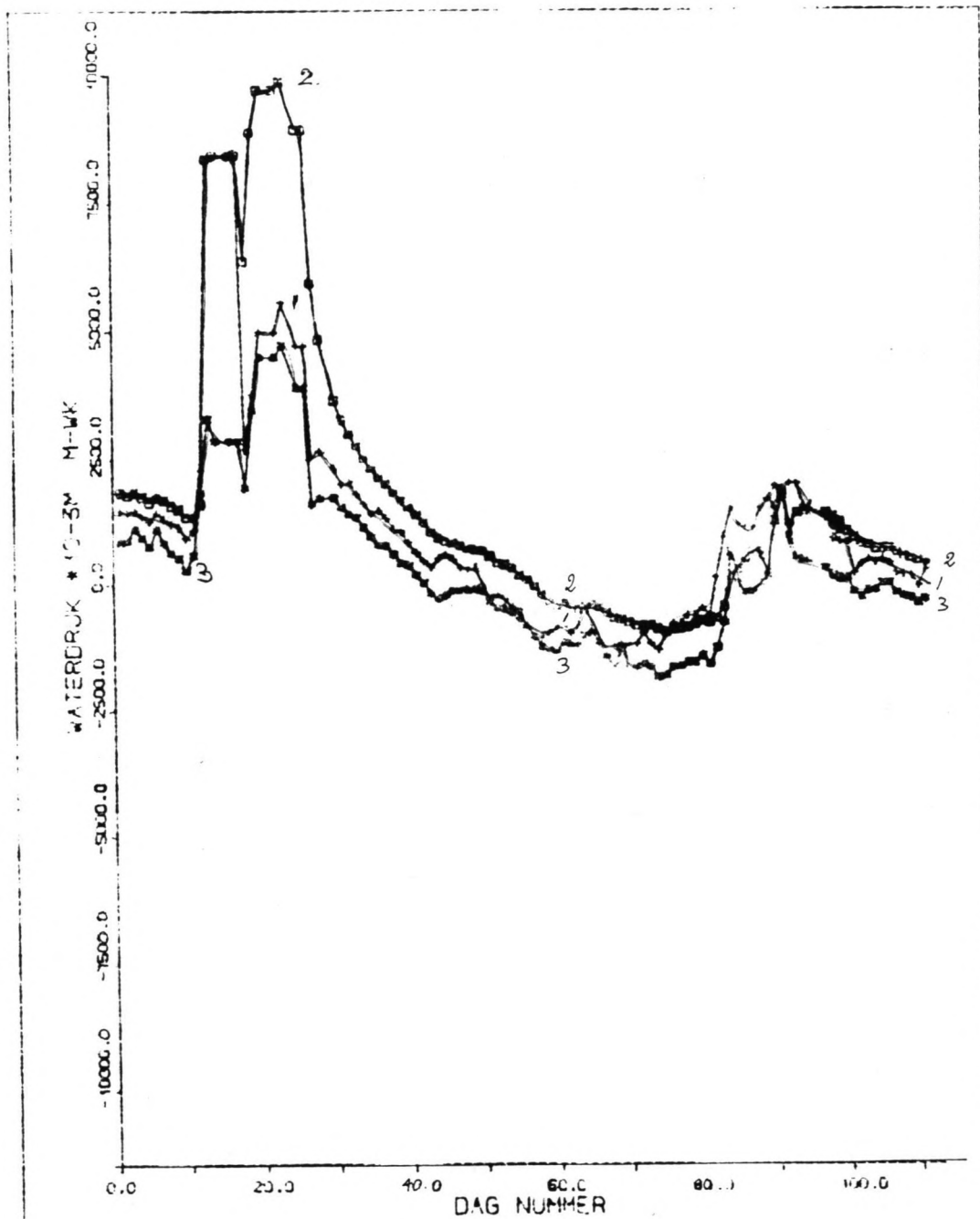
|        |                 |    |    |
|--------|-----------------|----|----|
| R=3    | 17 <sup>5</sup> | 23 | 33 |
| D=-9 ○ | ⊗               | ○  | ○  |
| -19 ○  | ⊗               | ○  | ○  |
| -30 ○  | ⊗               | ○  | ○  |




|   |                                     |   |  |          |  |
|---|-------------------------------------|---|--|----------|--|
|  <b>GEOMECHANICA</b><br>B.V. |                                     | Postbus 48, 2600 AB Delft, Telefoon (015) 81 08 31<br>Telefoon (015) 88 82 28, Telefax 0880 0011 m. |  | 81-07-20 |  |
| 1   | GE CORR. WATERDRUK R=23M, -9M M.V.  | DEFEKT  |  | 1986     |  |
| 2   | GE CORR. WATERDRUK R=23M, -19M M.V. |   |  | BIJL.    |  |
| 3   | GE CORR. WATERDRUK R=23M, -30M M.V. |   |  | 27       |  |

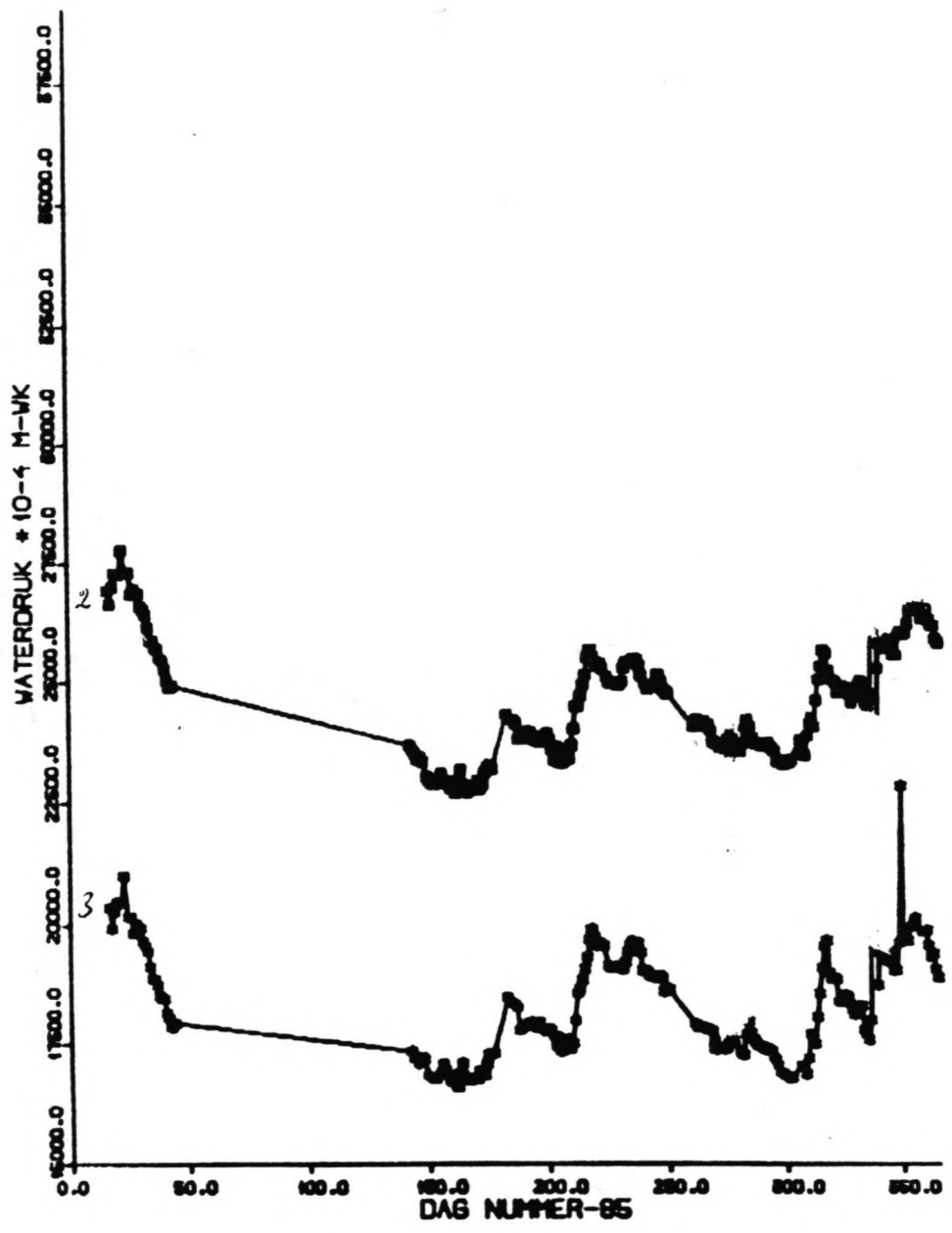






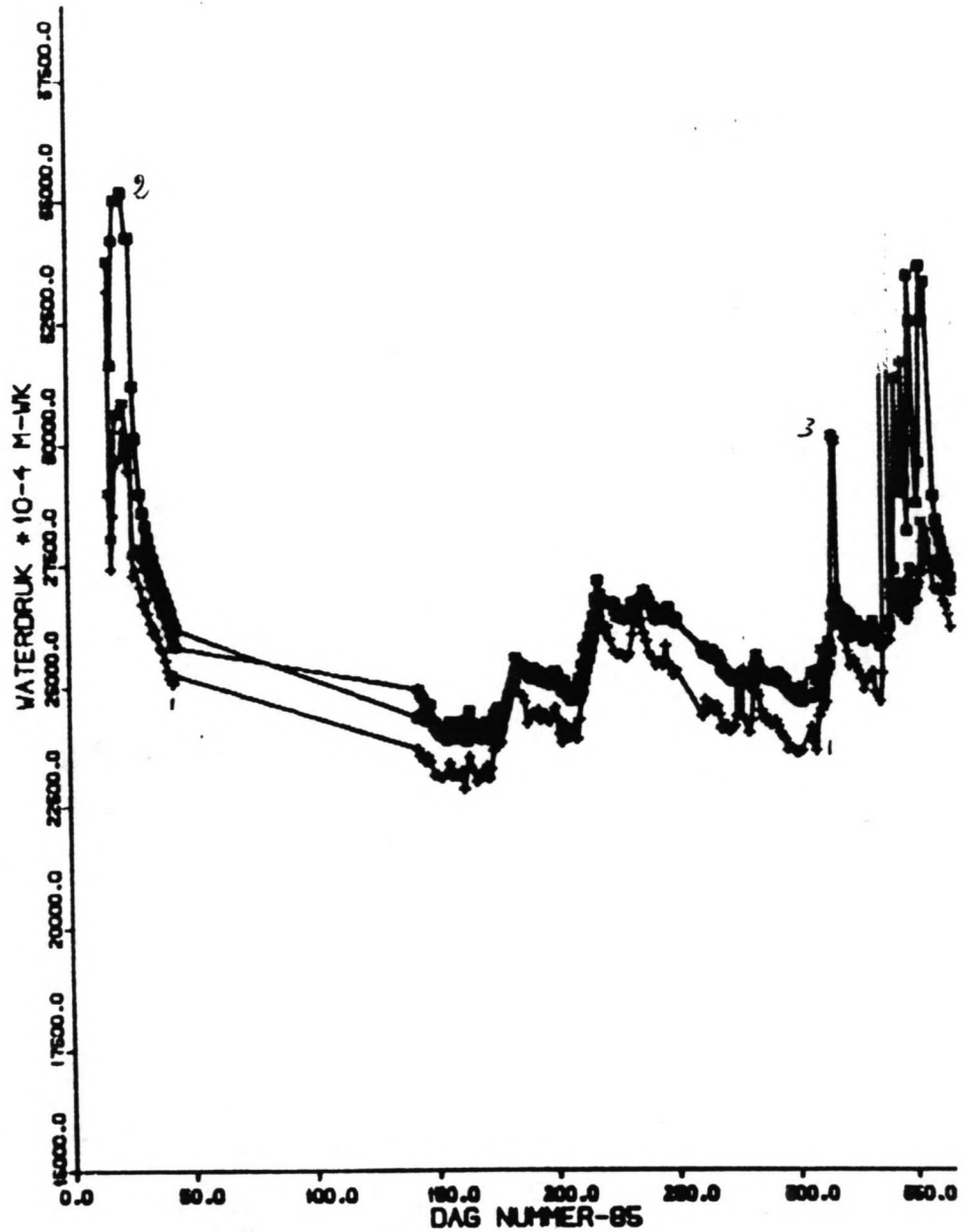
|   |   |          |    |  |
|---|---|----------|----|--|
|  GRONDMECHANICA<br>DELFT | Postbus 88, 2600 AB Delft    Telefax 10 61 81 00 21<br>Telefoon 10 61 82 82 28    Telefax 8834 Delft NL                   | 87-07-20 |    |  |
|   | 1. GE CORR. WATERDRUK R=33M, -9M M.V.<br>2. GE CORR. WATERDRUK R=33M, -19M M.V.<br>3. GE CORR. WATERDRUK R=33M, -30M M.V. | 1986     |    |  |
|   |   | BIJL.    | 29 |  |

|       |      |                 |    |    |
|-------|------|-----------------|----|----|
|       | R= 3 | 17 <sup>5</sup> | 23 | 33 |
| D= -9 | ○    | ○               | ○  | ⊗  |
| -19   | ○    | ○               | ○  | ⊗  |
| -30   | ○    | ○               | ○  | ⊗  |



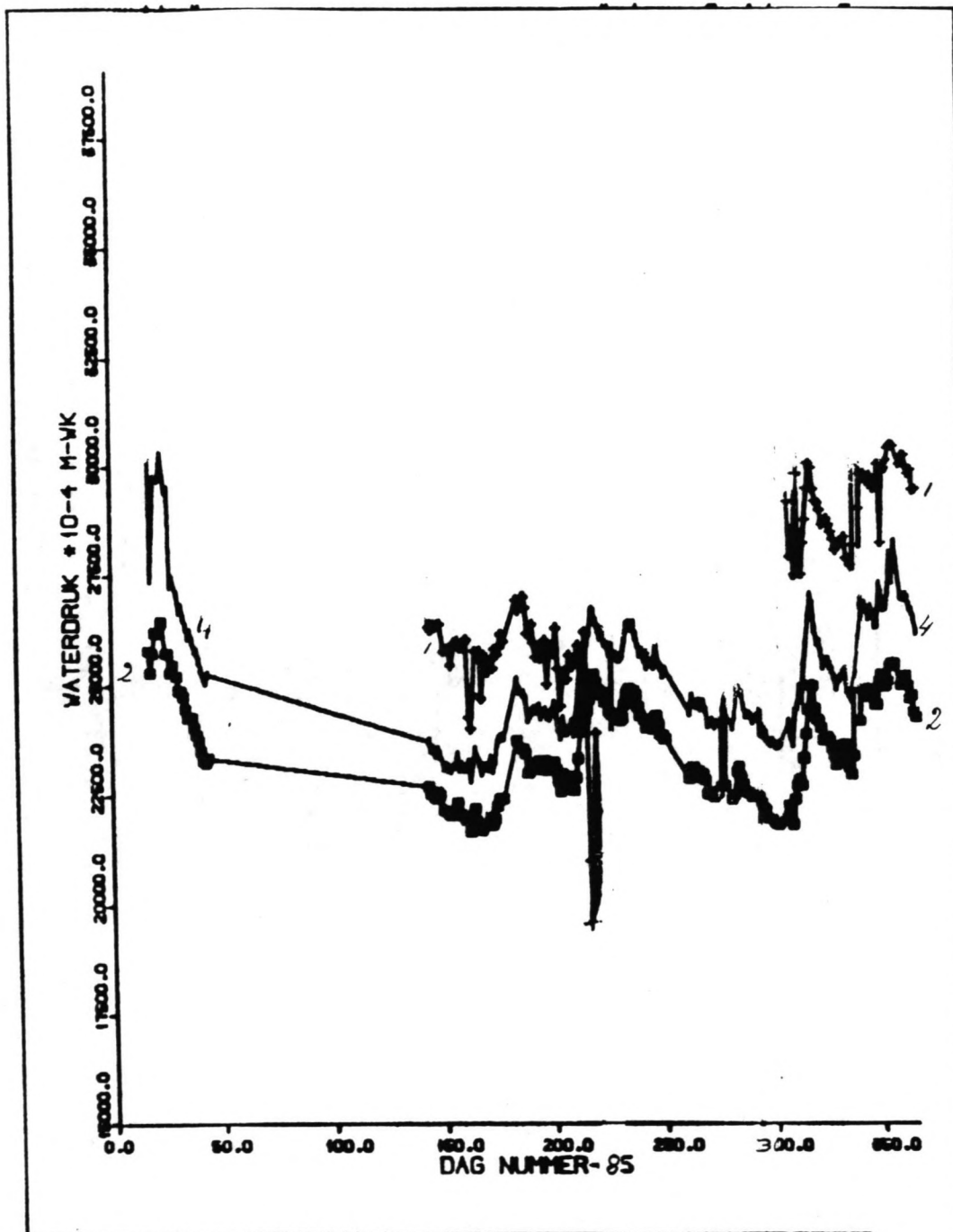
|             |   |                 |  |
|-------------|---|-----------------|--|
| 1<br>2<br>3 | <b>GECORR. WATERDRUK R=25M, -9M M.V. DEFEXT</b><br><b>GECORR. WATERDRUK R=25M, -19M M.V.</b><br><b>GECORR. WATERDRUK R=25M, -30M M.V.</b> | <b>87-07-21</b> |  |
|             |   | <b>BIJL.</b>    |  |
|             |   | 2/              |  |

R=3      17<sup>5</sup>      23      33  
 D=-9    ○      ○      ⊗      ○  
           -19    ○      ○      ⊗      ○  
           -30    ○      ○      ⊗      ○



|             |   |  |          |    |
|-------------|---|--|----------|----|
| 1<br>2<br>3 | <b>G</b> GRONDMECHANICA<br>DELFT  | Postbus 60, 2000 AB Delft, Telefax (06) 01 00 01<br>Telefoon (06) 00 00 00, Telew. (06) 00 00 00 | 87-07-21 |    |
|             | GECORR. WATERDRUK R=33M, -9M M.V.<br>GECORR. WATERDRUK R=33M, -19M M.V.<br>GECORR. WATERDRUK R=33M, -30M M.V. |  |          |    |
|             |   |  | BIJL.    | 26 |

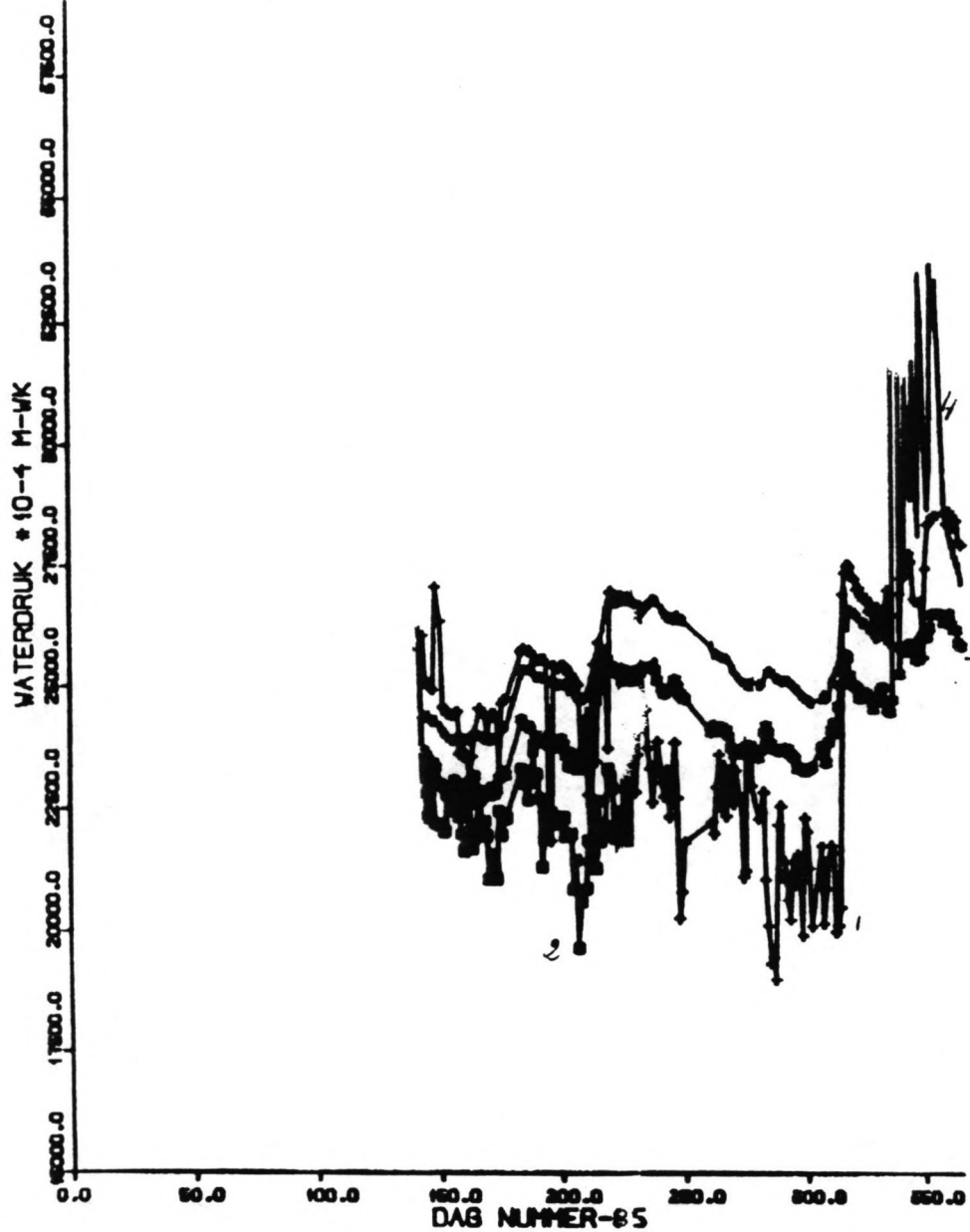
|        |     |                 |    |    |   |
|--------|-----|-----------------|----|----|---|
|        | R=3 | 17 <sup>5</sup> | 23 | 33 |   |
| D = -9 | ○   | ○               | ○  | ⊗  | 1 |
| -19    | ○   | ○               | ○  | ⊗  | 2 |
| -30    | ○   | ○               | ○  | ⊗  | 3 |



|                                   |  |   |          |    |
|-----------------------------------|--|---|----------|----|
| 1<br>2<br>3<br>4                  | <b>G</b> <b>GRONDMECHANICA</b><br>DELFT    | Postbus 65, 2600 AB Delft    Telefoon (015) 61 61 61<br>Telefoon (015) 61 61 61    Telefax (015) 61 61 61 | 87-07-22 |    |
|                                   | GECORR. WATERDRUK R=3M, -9M M.V. +         |   |          |    |
|                                   | GECORR. WATERDRUK R=17.5M, -9M M.V. □      |   |          |    |
|                                   | GECORR. WATERDRUK R=28M, -9M M.V. DEFECT ☆ |   | BIJL.    | 2J |
| GECORR. WATERDRUK R=83M, -9M M.V. |  |   |          |    |

$D = \begin{matrix} R = 3 & 17.5 & 23 & 33 \\ -9 & \otimes & \otimes & \otimes \\ -19 & \circ & \circ & \circ \\ -30 & \circ & \circ & \circ \end{matrix}$





**G** GEOMECHANICA  
DELFT

Postbus 26, 2600 AA Delft, Telefax (015) 61 0901  
Telefoon (015) 66 02 00 Tele 020 620 001 ext.

87-07-22

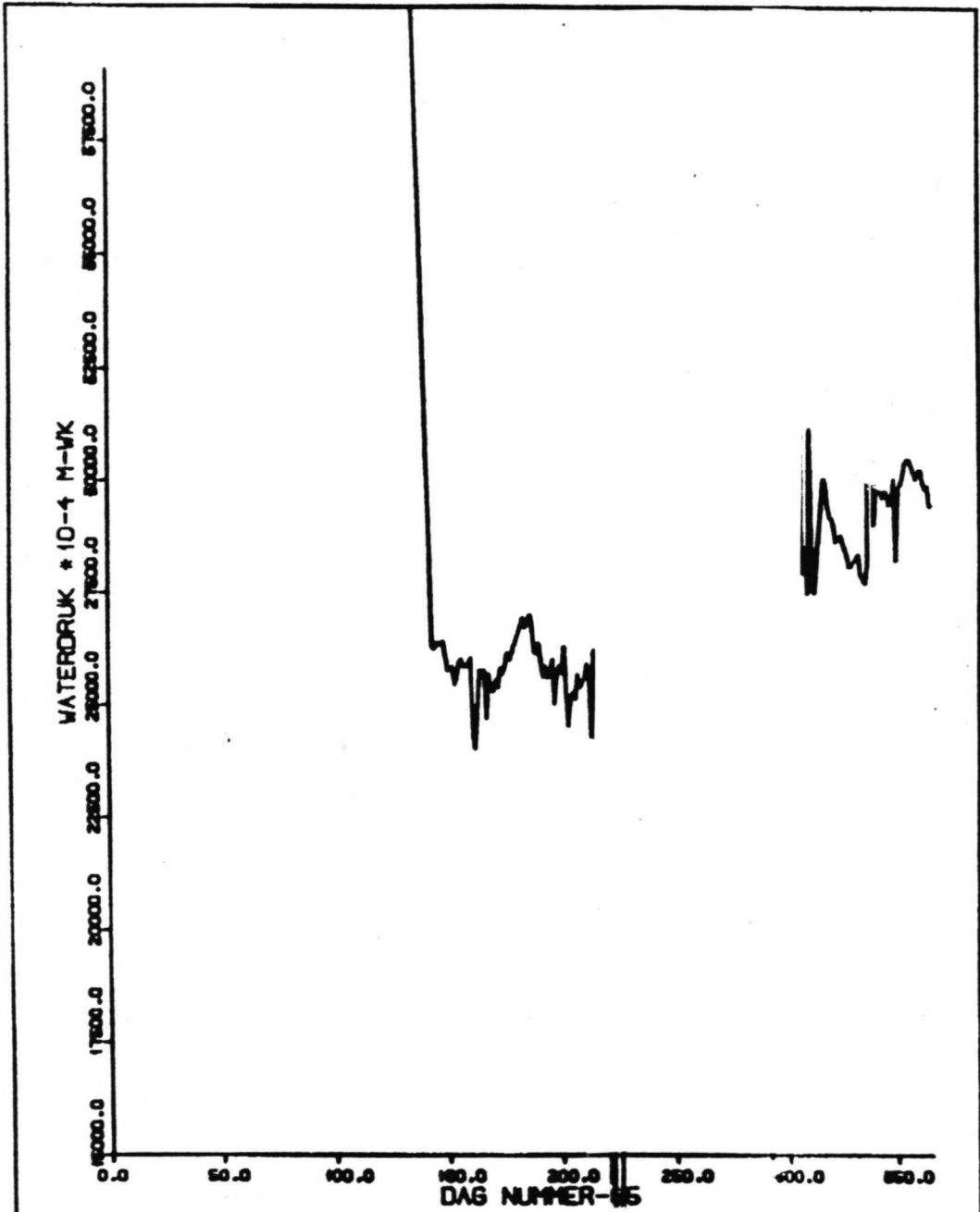
1  
2  
3  
4


GECORR. WATERDRUK R=3M, -19M M.V. +  
 GECORR. WATERDRUK R=17.5M, -19M M.V. DEFECT □  
 GECORR. WATERDRUK R=23M, -19M M.V. ☆  
 GECORR. WATERDRUK R=33M, -19M M.V. |

BIJL.

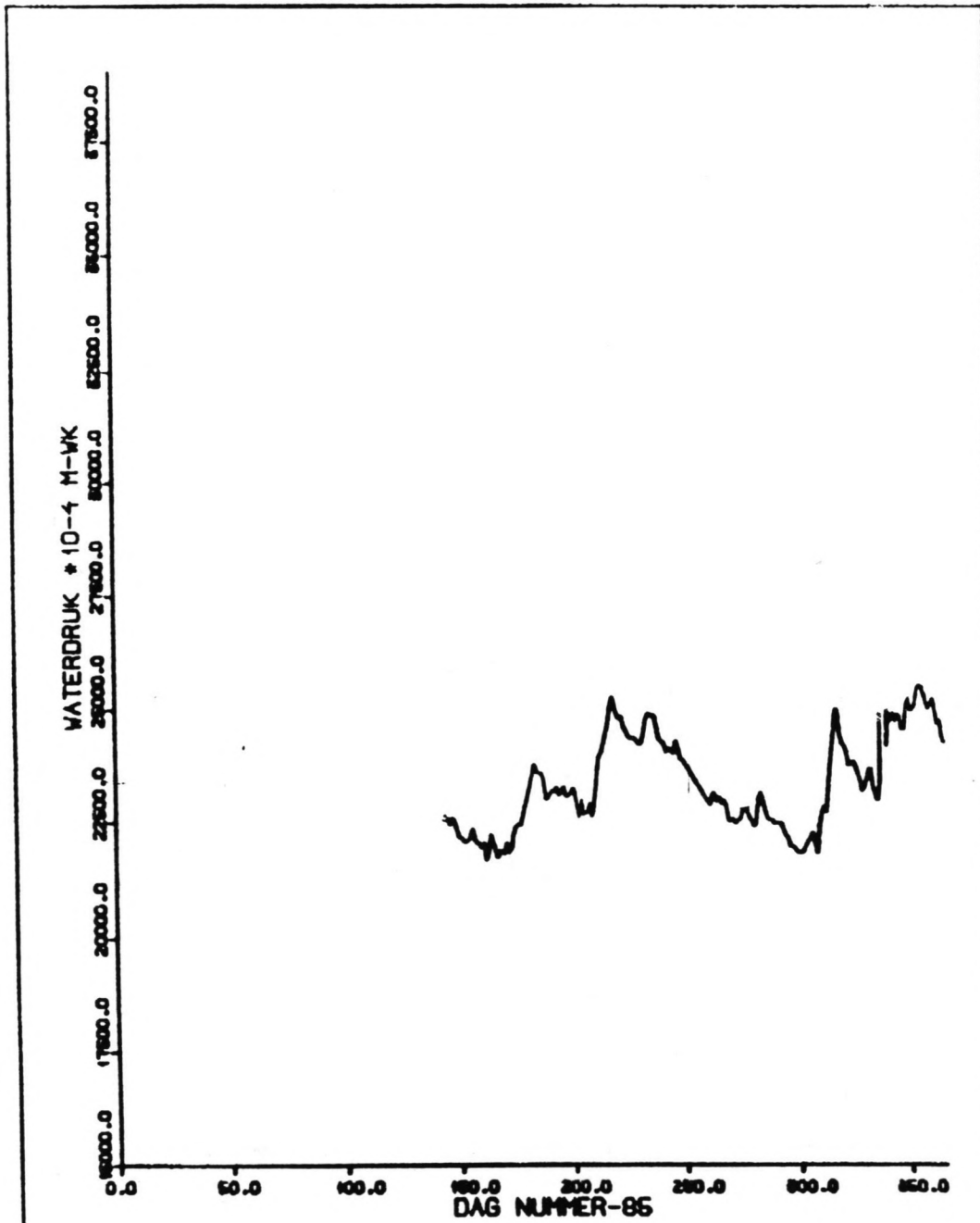
2k


$R = \begin{matrix} 3 & 17.5 & 23 & 33 \\ D = \begin{matrix} -9 & \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc \\ -19 & \otimes & \otimes & \otimes \\ -30 & \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc \end{matrix} \end{matrix}$



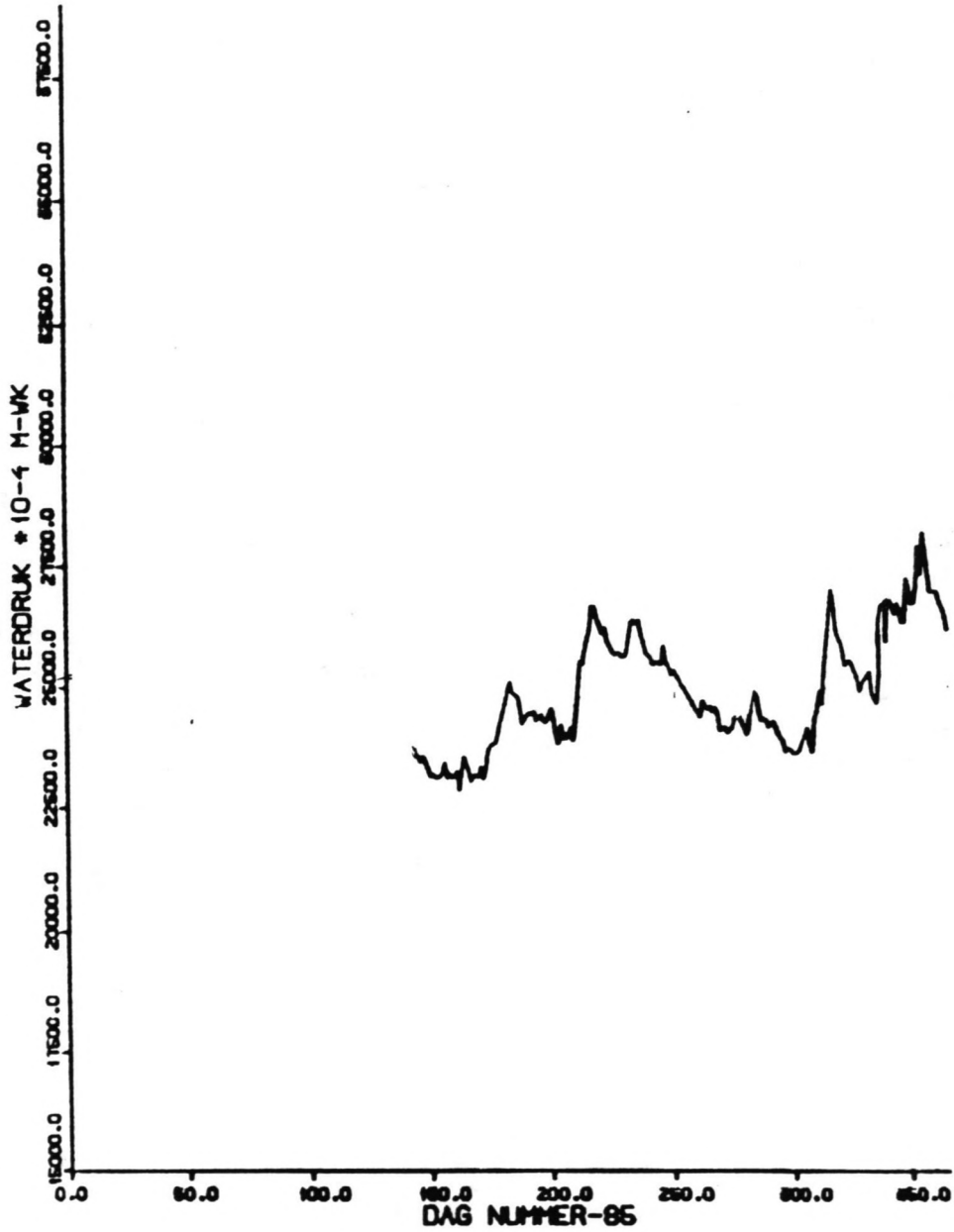
|   |  |   |                                       |    |
|---|--|---|---------------------------------------|----|
|  <b>GECORR</b><br>GEOMEDANICA<br>DELFT | Postbus 99, 2009 AB Rotterdam<br>Telefoon (010) 43 62 62<br>Telefax (010) 43 62 63 | Telefoon (010) 41 6 20<br>Telefax (010) 41 6 21 | 87-07-22                              |    |
|   |  |   | <b>GECORR.WATERDRUK R=5M,-5M H.V.</b> |    |
|   |  |   | <b>BIJL.</b>                          | 21 |


R= 3      17<sup>5</sup>      23      33  
 D= -9 ⊗    ○      ○      ○  
      -19 ○    ○      ○      ○  
      -30 ○    ○      ○      ○



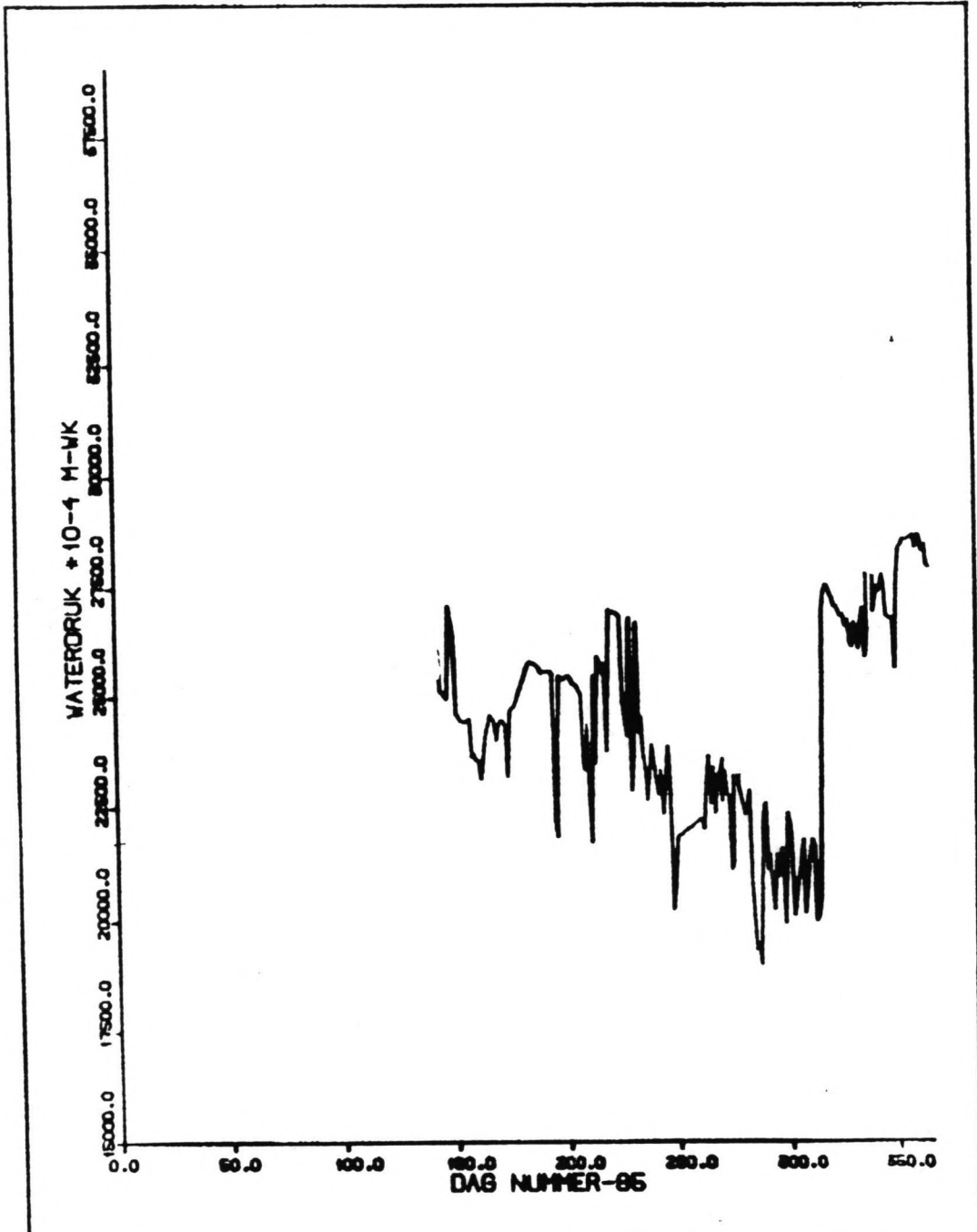
|  |  |  |    |  |
|--|--|--|----|--|
|  <b>GEOTECHNICA<br/>DELFT</b> | Postbus 26, 2600 AA Delft. Telefoon (015) 81 81 81<br>Telefax (015) 82 82 82. Tele (015) 811 11. | 87-07-22                                 |    |  |
|  |  | <b>GECORR.WATERDRUK R=17.5M,-9M M.V.</b> |    |  |
|  |  | <b>BIJL.</b>                             | 2m |  |


|         |                 |    |    |
|---------|-----------------|----|----|
| R= 3    | 17 <sup>5</sup> | 23 | 33 |
| D= -9 ○ | ⊗               | ○  | ○  |
| -19 ○   | ○               | ○  | ○  |
| -30 ○   | ○               | ○  | ○  |



|  |  |    |
|--|--|----|
|  <b>GEOTECHNICA DELFT</b><br>Postbus 26, 2600 AA Delft    Telefax 14 451 81 82 81<br>Telefoon 14 451 82 82 82    Tele 02234 4411-11 | 87-07-22                                 |    |
|  | <b>GECORR. WATERDRUK R=83M, -9M M.V.</b> |    |
|  | BIJL.                                    | 27 |

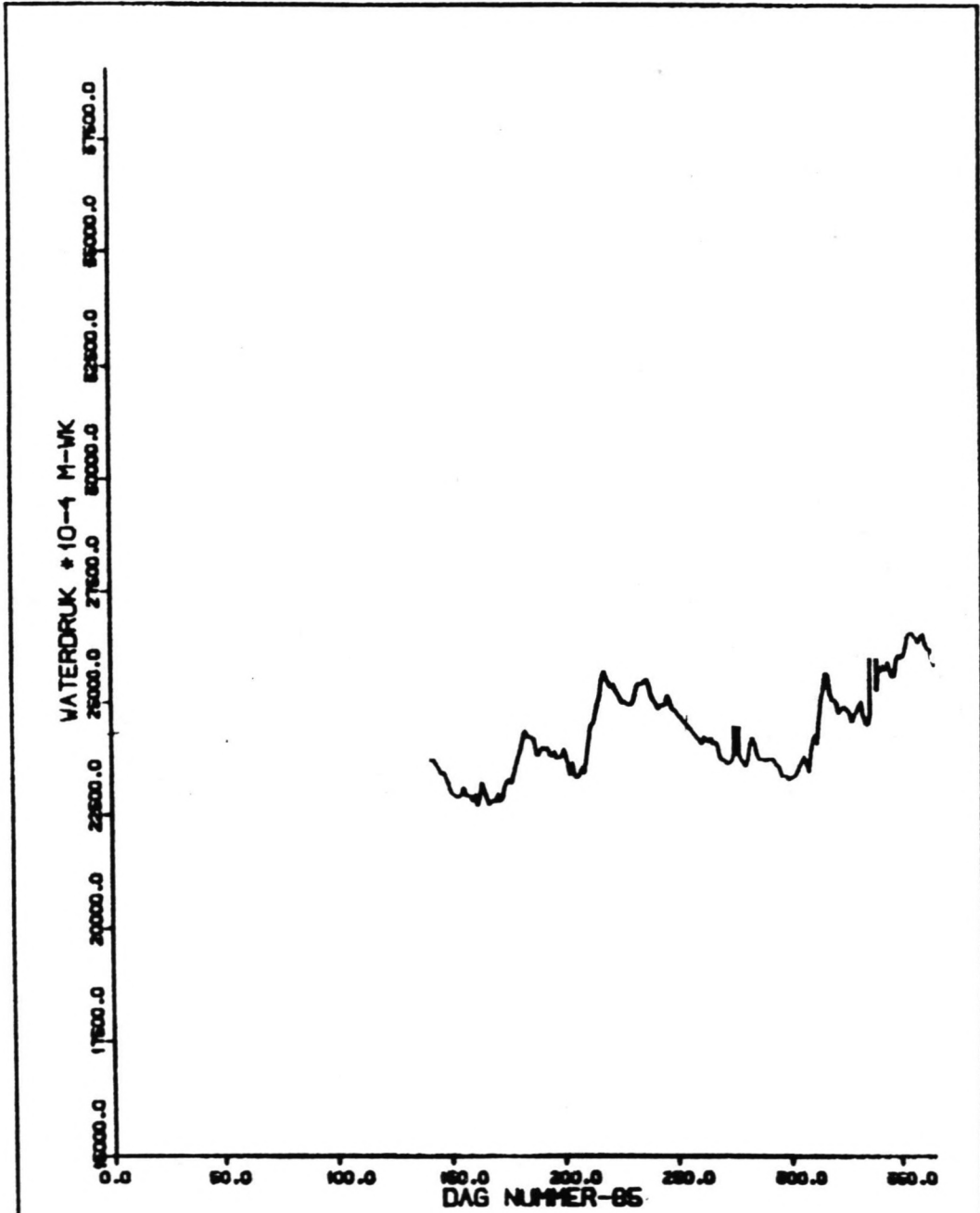
$R = 3$     17<sup>5</sup>    23    33  
 $D = -9$     ○    ○    ○    ⊗  
           -19    ○    ○    ○    ○  
           -30    ○    ○    ○    ○




|   |   |  |    |
|---|---|--|----|
|  <b>GRONDMECHANICA<br/>DELFT</b> | Postbus 26. 2600 AA Delft. Telefoon (015) 81 89 81<br>Telefax (015) 89 89 89. Tele 26000 ext. 24. | 87-07-22                                 |    |
|   |   | <b>GECORR. WATERDRUK R=3M, -19M M.V.</b> |    |
|   |   | BIJL.                                    | 20 |

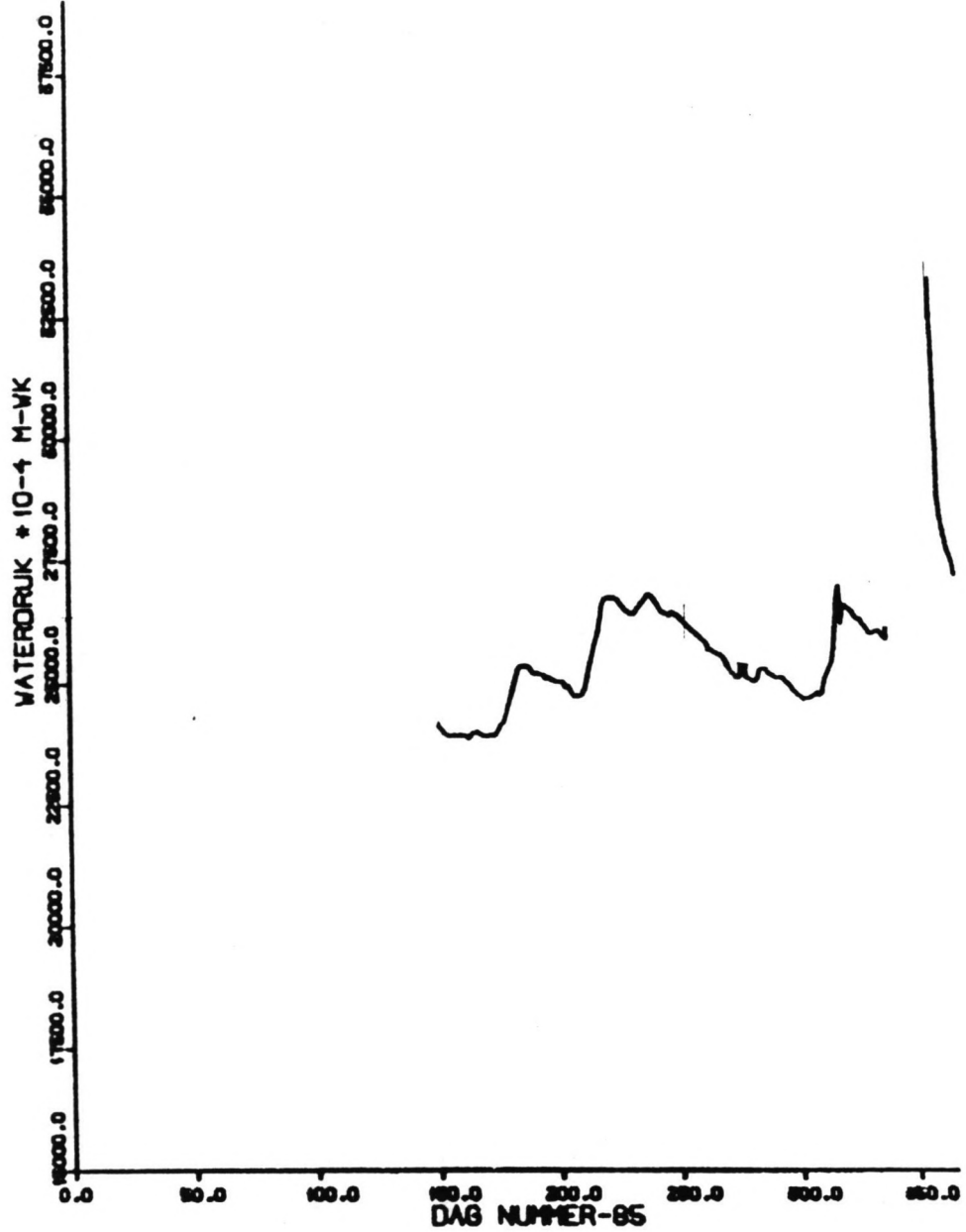
$R = 3$       17<sup>5</sup>      23      33  
 $D = -9$     ○      ○      ○      ○  
              -19    ⊗      ○      ○      ○  
              -30    ○      ○      ○      ○





|  |   |                                  |    |
|--|---|----------------------------------|----|
|  <b>GECORR</b><br>GEOMECHANICA<br>DELFT | Postbus 65, 2600 AB Delft, Telefoon (015) 64 66 21<br>Telefax (015) 65 66 26 Tele 26590 ext. 45 | 87-07-22                         |    |
|  |   | GECORR.WATERDRUK R=23M,-19M M.V. |    |
|  |   | BIJL.                            | 2P |

$R = 3$        $17^5$       23      33  
 $D = -9$       ○      ○      ○  
                  -19 ○      ○      ⊗      ○  
                  -30 ○      ○      ○      ○



**G** GEOTECHNIEKA  
DELFT

Postbus 26, 2600 AA Delft Telefax 0651 61 62 21  
Telefoon 0651 62 62 22 Tele 020 454 41 41

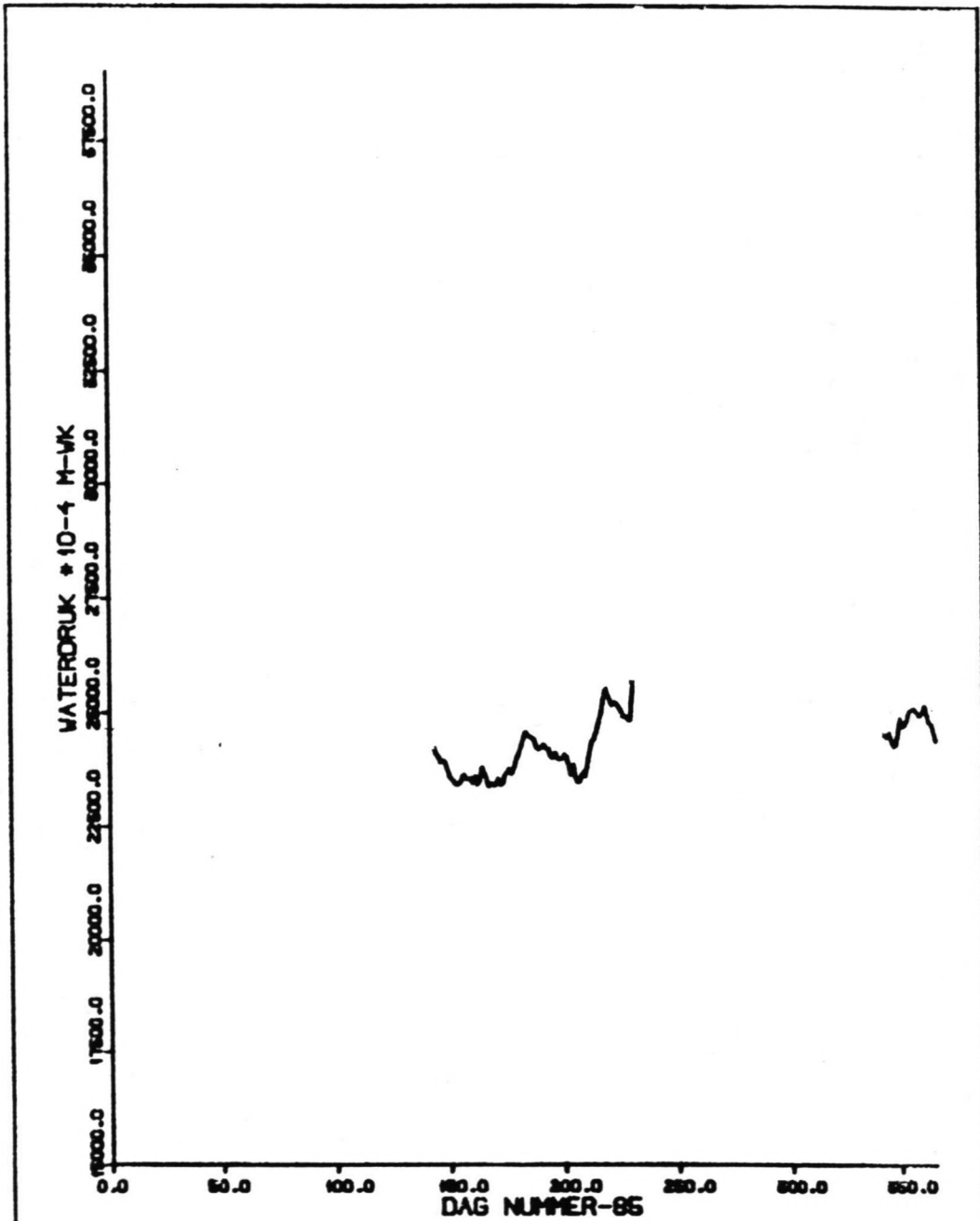
87-07-22


GE CORR. WATERDRUK R=33M, -19M M.V.

BIJL.

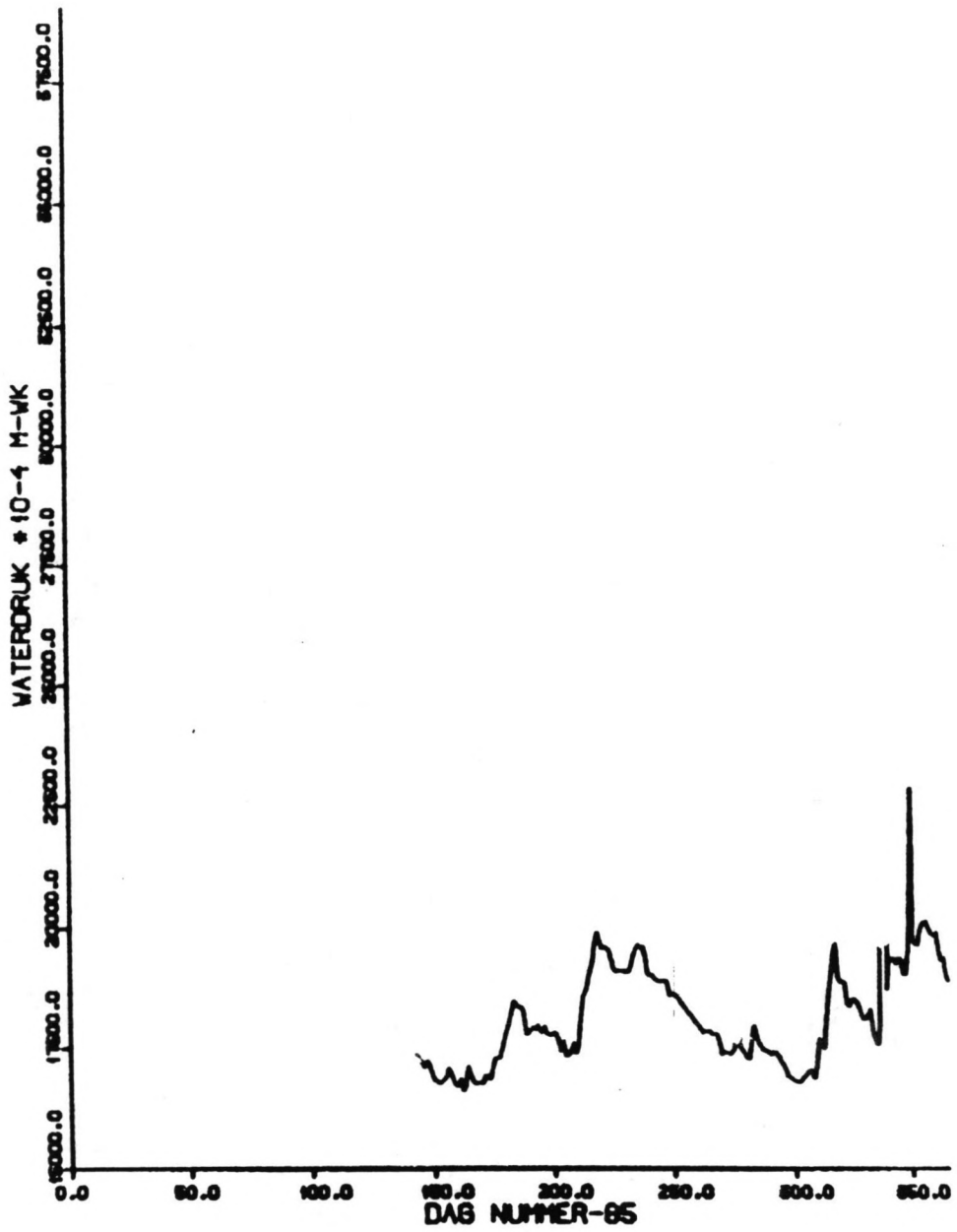
20

|          |                 |    |    |
|----------|-----------------|----|----|
| R = 3    | 17 <sup>5</sup> | 23 | 33 |
| D = -9 ○ | ○               | ○  | ○  |
| -19 ○    | ○               | ○  | ⊗  |
| -30 ○    | ○               | ○  | ○  |



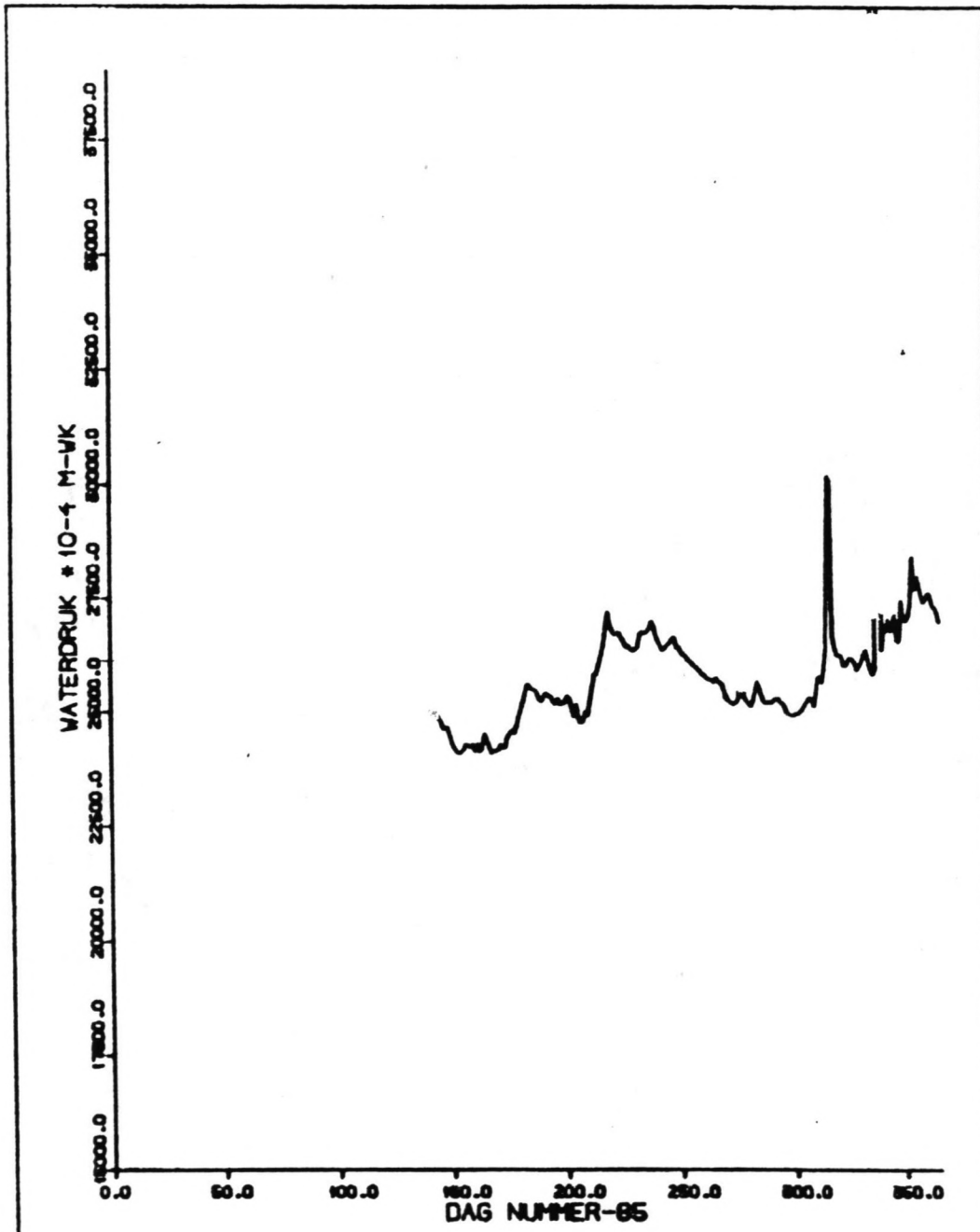
|  |   |          |       |
|--|---|----------|-------|
|  <b>GEOMEDIANICA</b><br>DELFT | Postbus 99, 2600 AB Delft. Telefoon (06) 61 66 01<br>Telefax (06) 66 66 66. Tele (020) 6161 66. | 87-07-22 |       |
|  | <b>GECORR. WATERDRUK R=3M, -30M M.V.</b>  |          | BIJL. |


$D = \begin{matrix} R=3 & 175 & 23 & 33 \\ -9 & \circ & \circ & \circ \\ -19 & \circ & \circ & \circ \\ -30 & \otimes & \circ & \circ \end{matrix}$



|   |                                    |    |
|---|------------------------------------|----|
| <b>G</b> GRONDMECHANICA<br>DELFT<br>Postbus 65, 2000 AB Delft. Telefoon (015) 01 00 01<br>Telefax (015) 00 00 20. Tele. 2000 Delft n.l. | 87-07-22                           |    |
|   | GECORR. WATERDRUK R=23M, -30M M.V. |    |
|   | BIJL.                              | 25 |

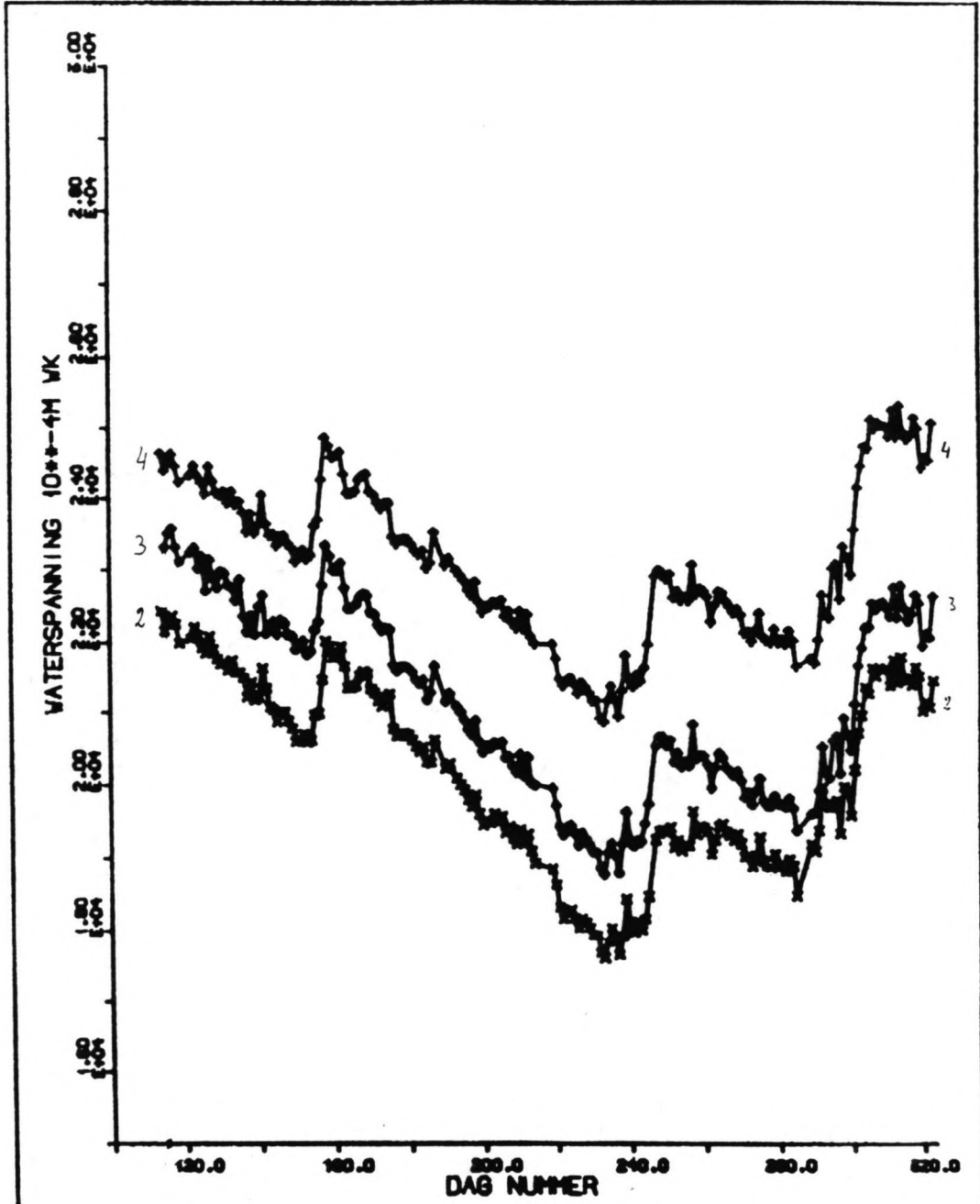
$R = 3 \quad 17^5 \quad 23 \quad 33$   
 $D = -9 \quad \circ \quad \circ \quad \circ \quad \circ$   
 $-19 \quad \circ \quad \circ \quad \circ \quad \circ$   
 $-30 \quad \circ \quad \circ \quad \otimes \quad \circ$




|  |   |                                  |    |
|--|---|----------------------------------|----|
|  <b>GECORR</b><br>GEOTECHNIECA<br>DELFT | Postbus 65, 2000 AB Delft. Telefoon (015) 61 62 21<br>Telefax (015) 62 62 22. Tele (0223) 444 44. | 87-07-22                         |    |
|  |   | GECORR.WATERDRUK R=33M,-30M M.V. |    |
|  |   | BIJL.                            | 2t |

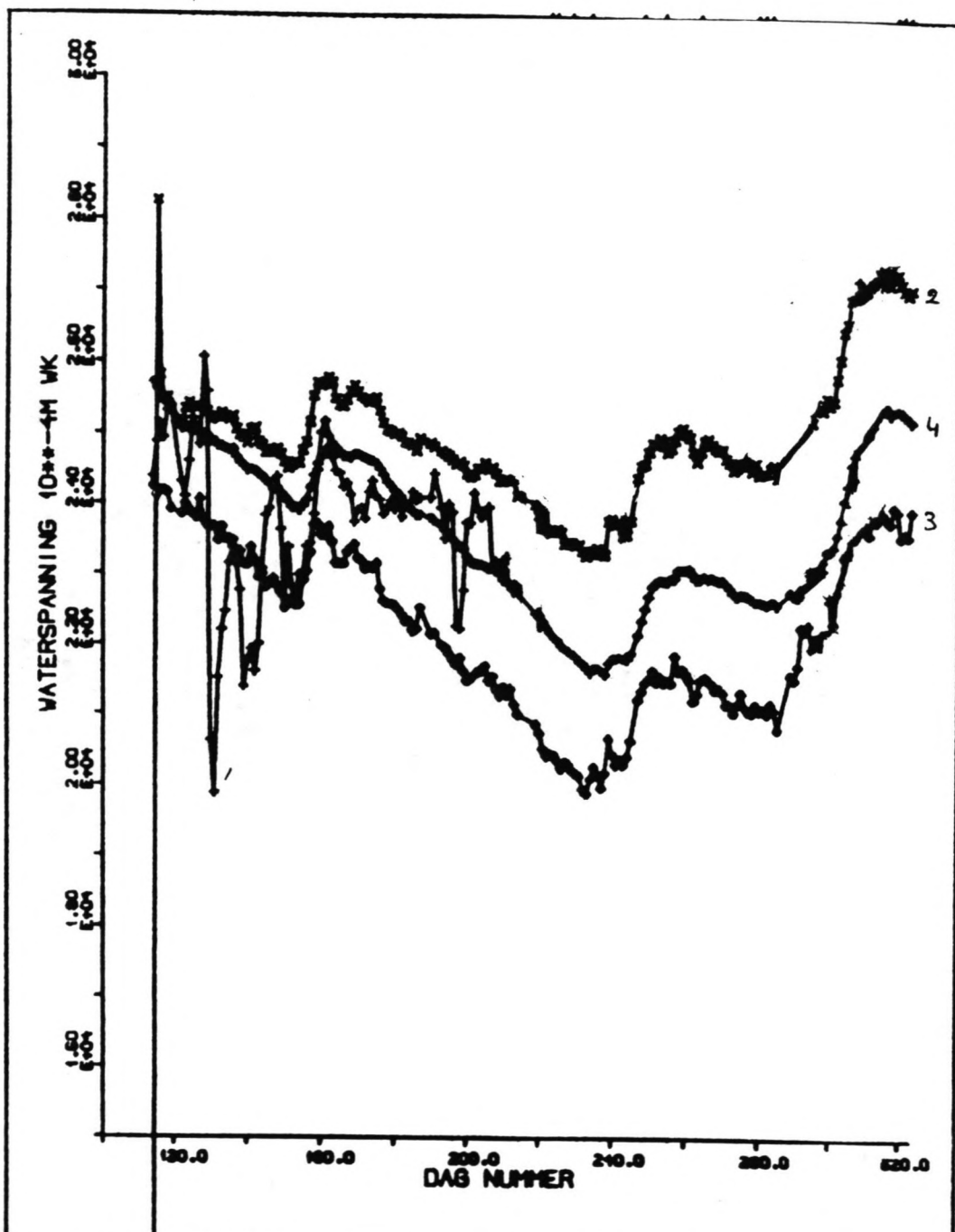
$R = 3$       17<sup>5</sup>      23      33  
 $D = -9$  ○      ○      ○      ○  
           -19 ○      ○      ○      ○  
           -30 ○      ○      ○      ⊗






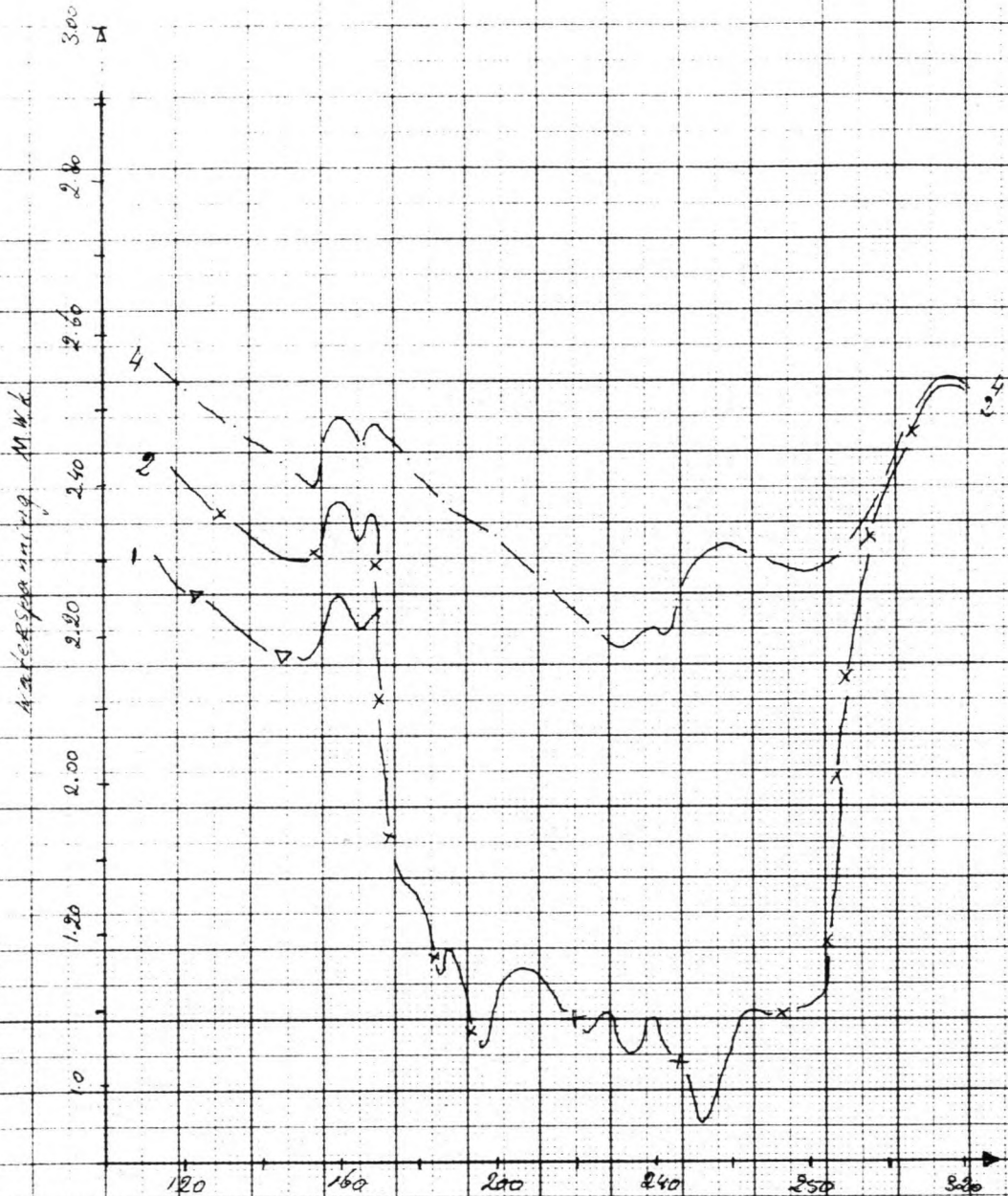
|  |  |      |          |       |
|--|--|------|----------|-------|
|  <b>G. TECHNICA</b><br>B.V. | Postbus 62, 2200 AB Zaaij. Telefoon 0432 04 02 01<br>Telefax 0432 02 02 02 Tele 0220 0011 02   |      | 87-06-26 |       |
|  | METER DEFEKT R=3M, -9M M.V. <span style="float: right;">1</span><br>CORWATERDR R=17.5M, -9M M.V., 10**--4M WK X <span style="float: right;">2</span><br>CORWATERDR R=23M, -9M M.V., 10**--4M WK + <span style="float: right;">3</span><br>CORWATERDR R=33M, -9M M.V., 10**--4M WK Δ <span style="float: right;">4</span> | 1986 |          | BIJL. |

|                 |                 |    |    |
|-----------------|-----------------|----|----|
| R=3             | 17 <sup>5</sup> | 23 | 33 |
| D= <del>9</del> | ⊗               | ⊗  | ⊗  |
| -19             | ○               | ○  | ○  |
| -30             | ○               | ○  | ○  |



|   |   |                |    |
|---|---|----------------|----|
|  <b>BRONKHORST</b><br><b>DELFT</b> | Postbus 65, 2200 AB Delft, Telefoon (06) 51 02 01<br>Telefax (06) 51 02 02, Tele (06) 51 02 03  | 87-06-26       |    |
|   | CORWATERDR R=5M, -19M H.V., 10**4M WK + 1<br>CORWATERDR R=17.5M, -19M H.V., 10**4M WK 2<br>CORWATERDR R=25M, -19M H.V., 10**4M WK 3<br>CORWATERDR R=35M, -19M H.V., 10**4M WK 4 | 1986<br>B.I.J. | 2V |

$R=3$       17.5      23      33  
 $D=-9$  ○      ○      ○      ○  
 -19 ⊗      ⊗      ⊗      ⊗  
 -30 ○      ○      ○      ○



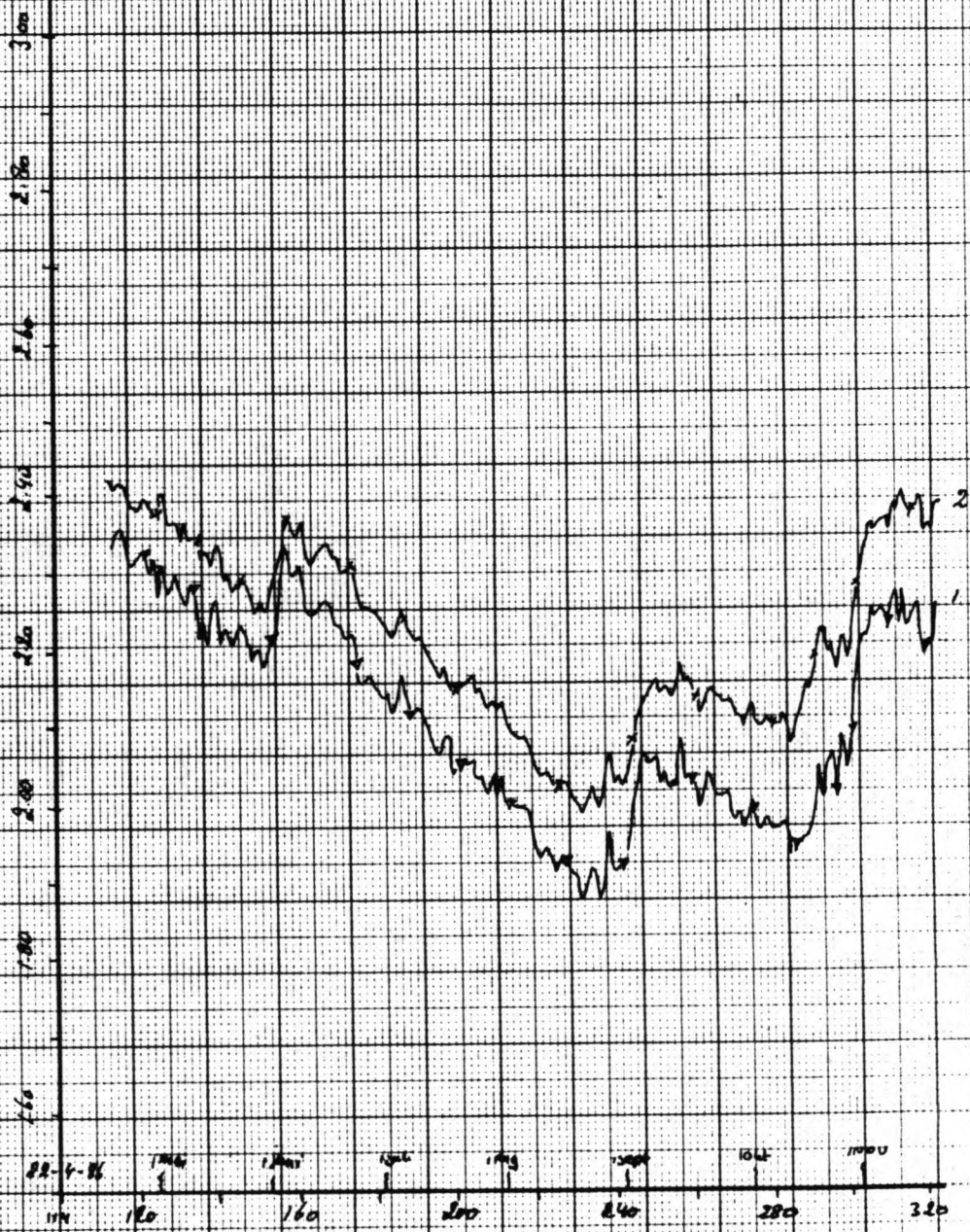
|                    | 120               | 160    | 200 | 240             | 250 | 320 |
|--------------------|-------------------|--------|-----|-----------------|-----|-----|
| Dipole - 30 m m.u. |                   |        |     |                 |     |     |
| 1                  | R=3               | -▽-    | R=3 | 17 <sup>5</sup> | 23  | 33  |
| 2                  | R=17 <sup>5</sup> | -x-    | D=9 | ○               | ○   | ○   |
| 3                  | R=33              | Defect | -19 | ○               | ○   | ○   |
| 4                  | R=33              | -.-    | -30 | ⊗               | ⊗   | ⊗   |

Bylage 2 W





geschnittene Elektrospannung mV

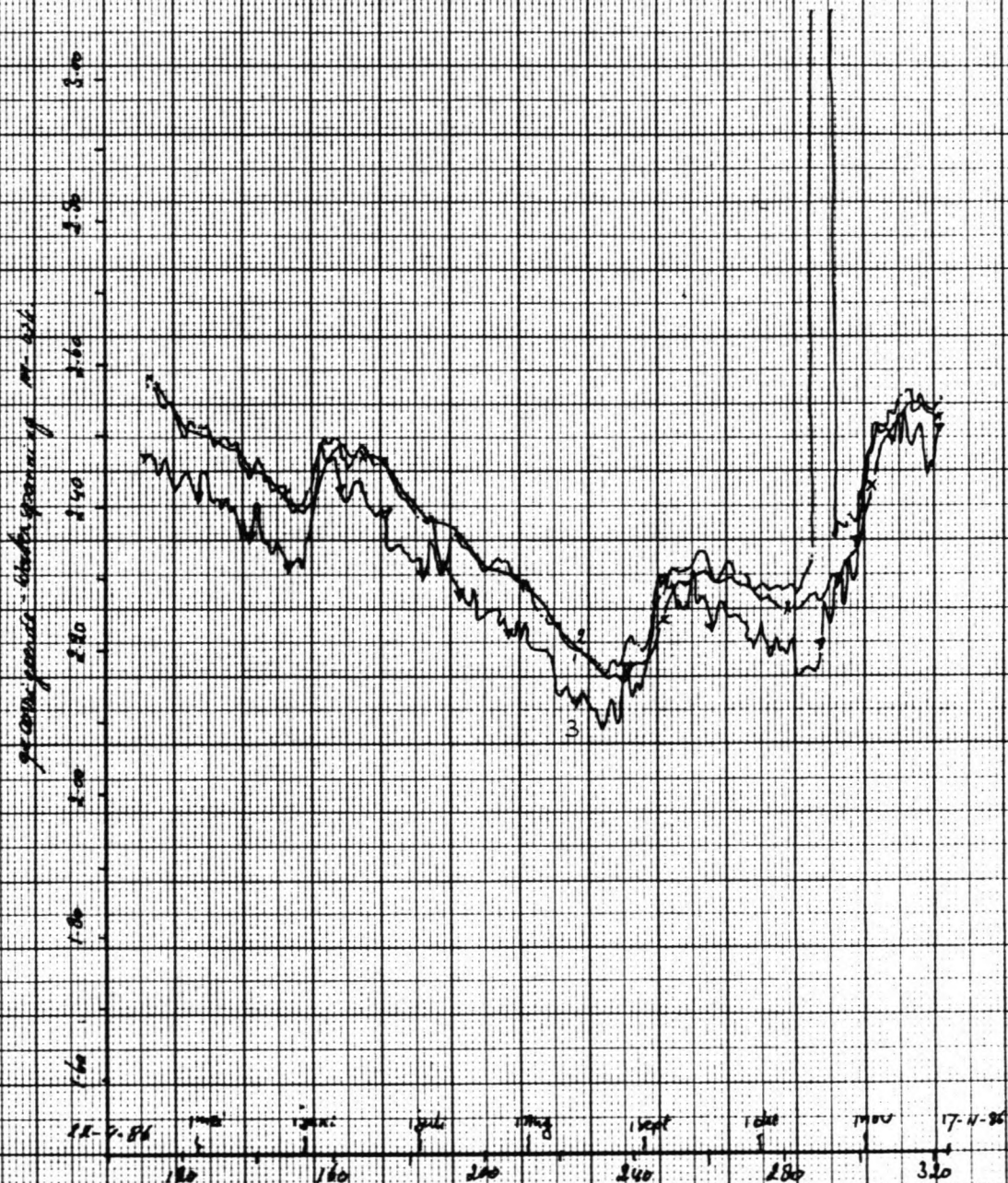


114 120 160 200 240 280 320 1986

|             |         |            |          |        |                 |    |    |   |
|-------------|---------|------------|----------|--------|-----------------|----|----|---|
| R = 2.2 mm. |         | DAG NUMMER |          | R = 3  | 17 <sup>5</sup> | 23 | 33 |   |
| abgepr.     | - 9 mm  | - 0 -      | 1        | D = -9 | ○               | ○  | ⊗  | ○ |
|             | - 19 mm | - X -      | 2        | - 19   | ○               | ○  | ⊗  | ○ |
|             | - 30 mm | - - -      | Defekt 3 | - 30   | ○               | ○  | ⊗  | ○ |

Bil. Lage 24





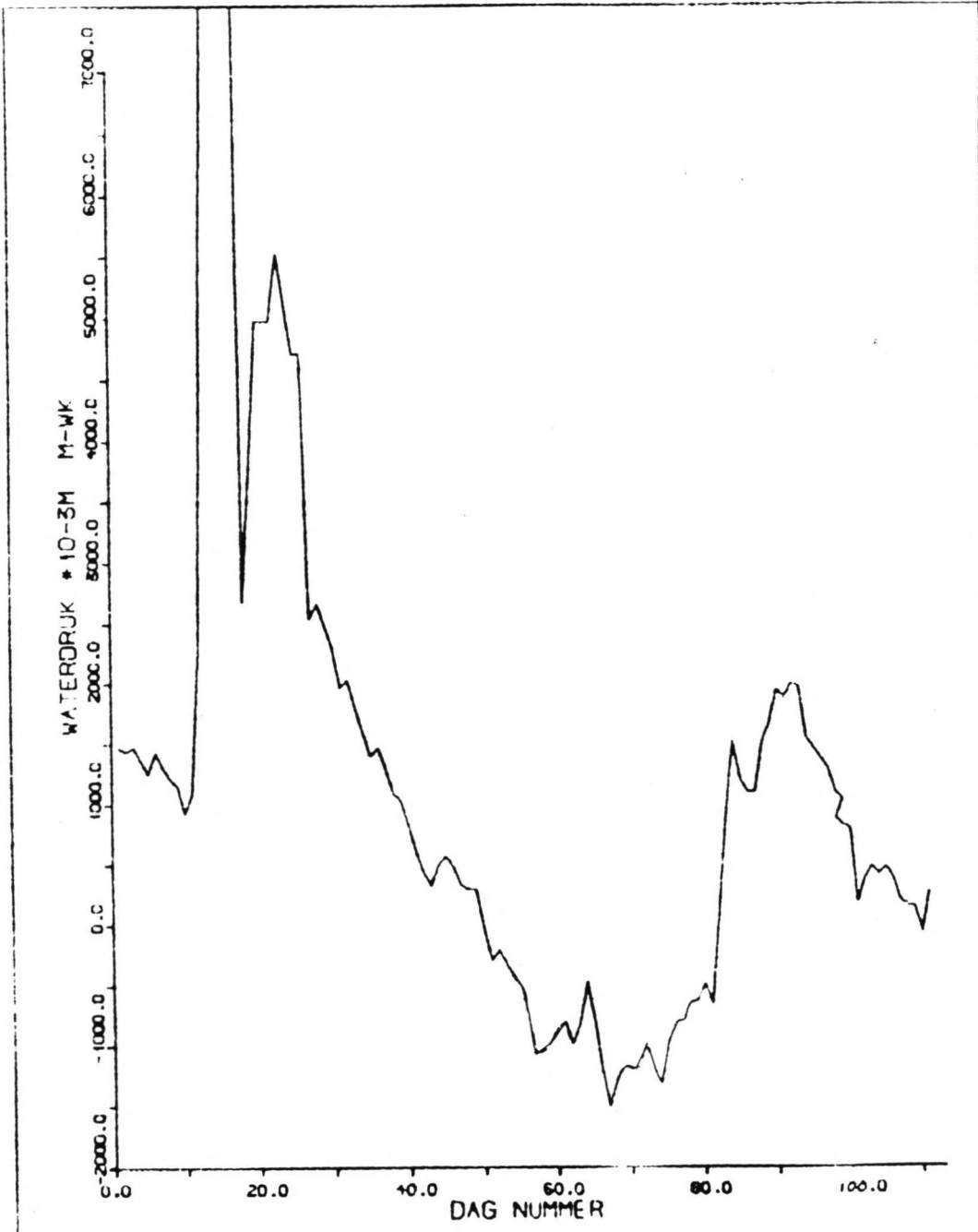
DRP NUMBER 1986


R = 28 m

depth = -9 m - ▽ - 1  
 -19 m - X - 2  
 -30 m - . - 3

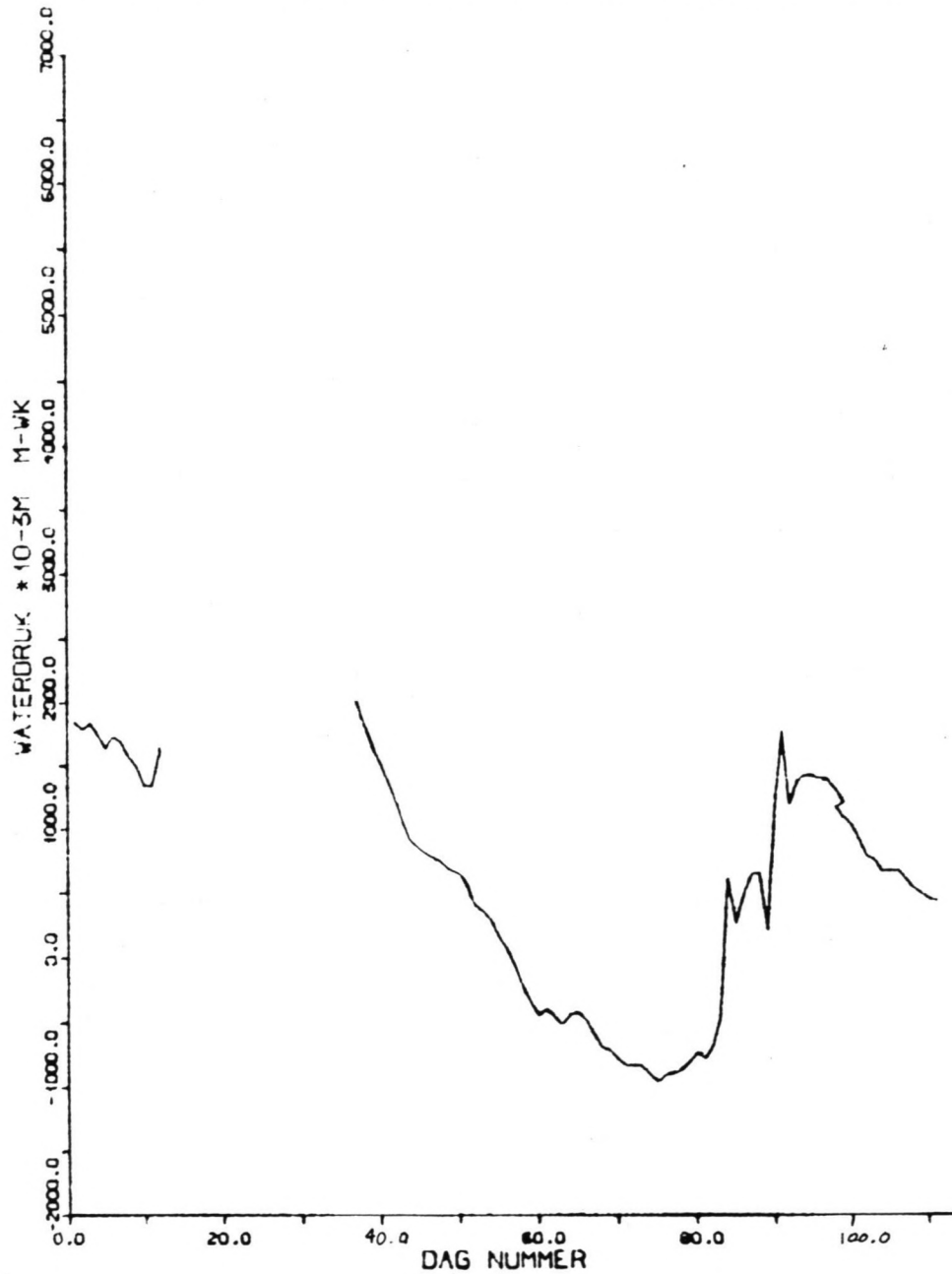
|       |                 |    |    |
|-------|-----------------|----|----|
| R = 3 | 17 <sup>5</sup> | 23 | 33 |
| D = 9 | ○               | ○  | ⊗  |
| -19   | ○               | ○  | ⊗  |
| -30   | ○               | ○  | ⊗  |


Bylage 2 Z



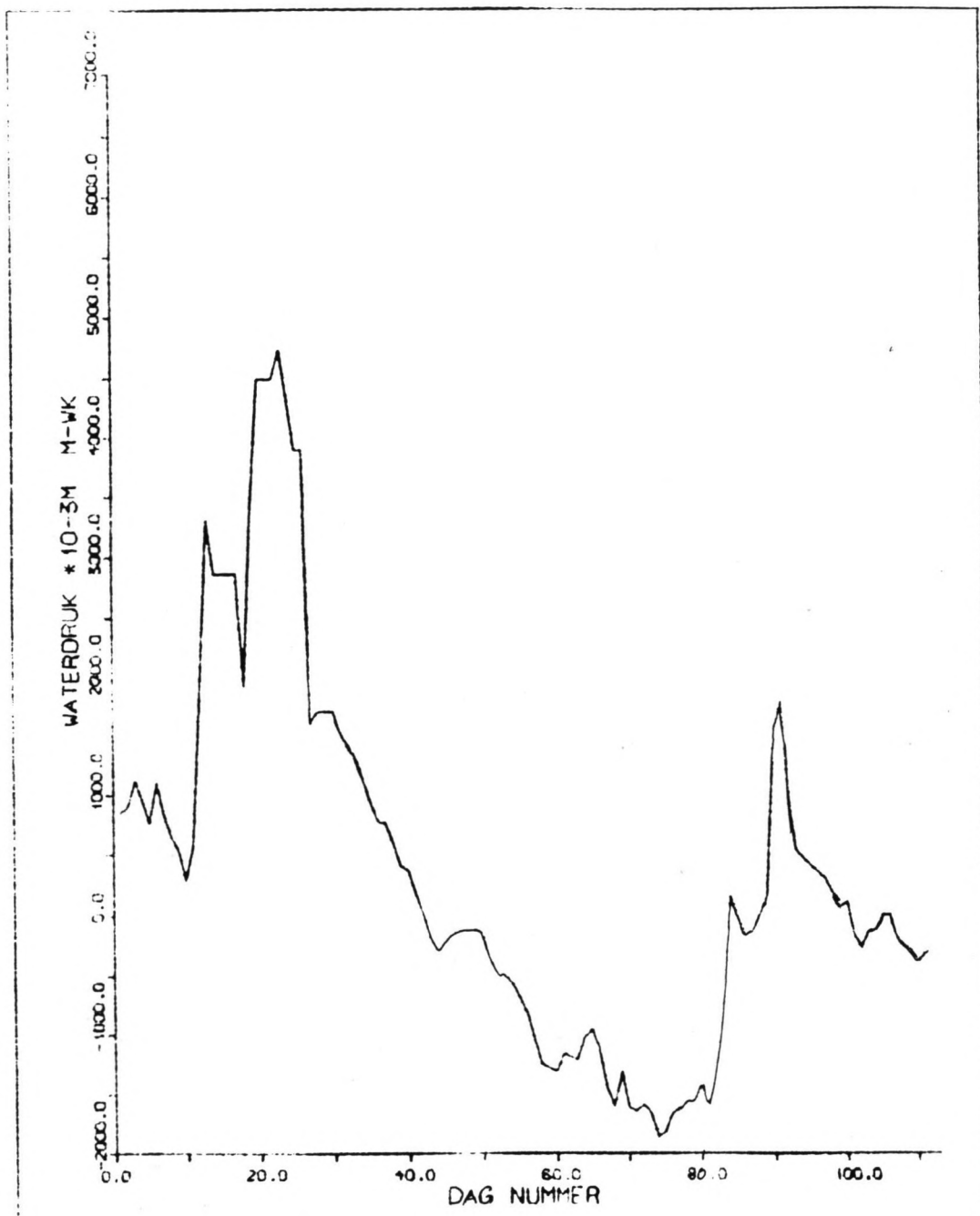
|  |  |   |          |     |
|--|--|---|----------|-----|
|  GRONDMECHANICA<br>DELFT<br>GECO. WATERDRUK R=33M, -9M M.V. | Postbus 66, 2600 AB Delft<br>Telefoon 10161 96 92 28 | Telefoon 10161 81 08 21<br>Telefax 10161 81 08 21 | 87-07-20 |     |
|  |  |   | 19 86    |     |
|  |  |   | Bijl.    | 2aa |


R=3      17<sup>5</sup>      23      33  
 D=-9 ○      ○      ○      ⊗  
       -19 ○      ○      ○      ○  
       -30 ○      ○      ○      ○



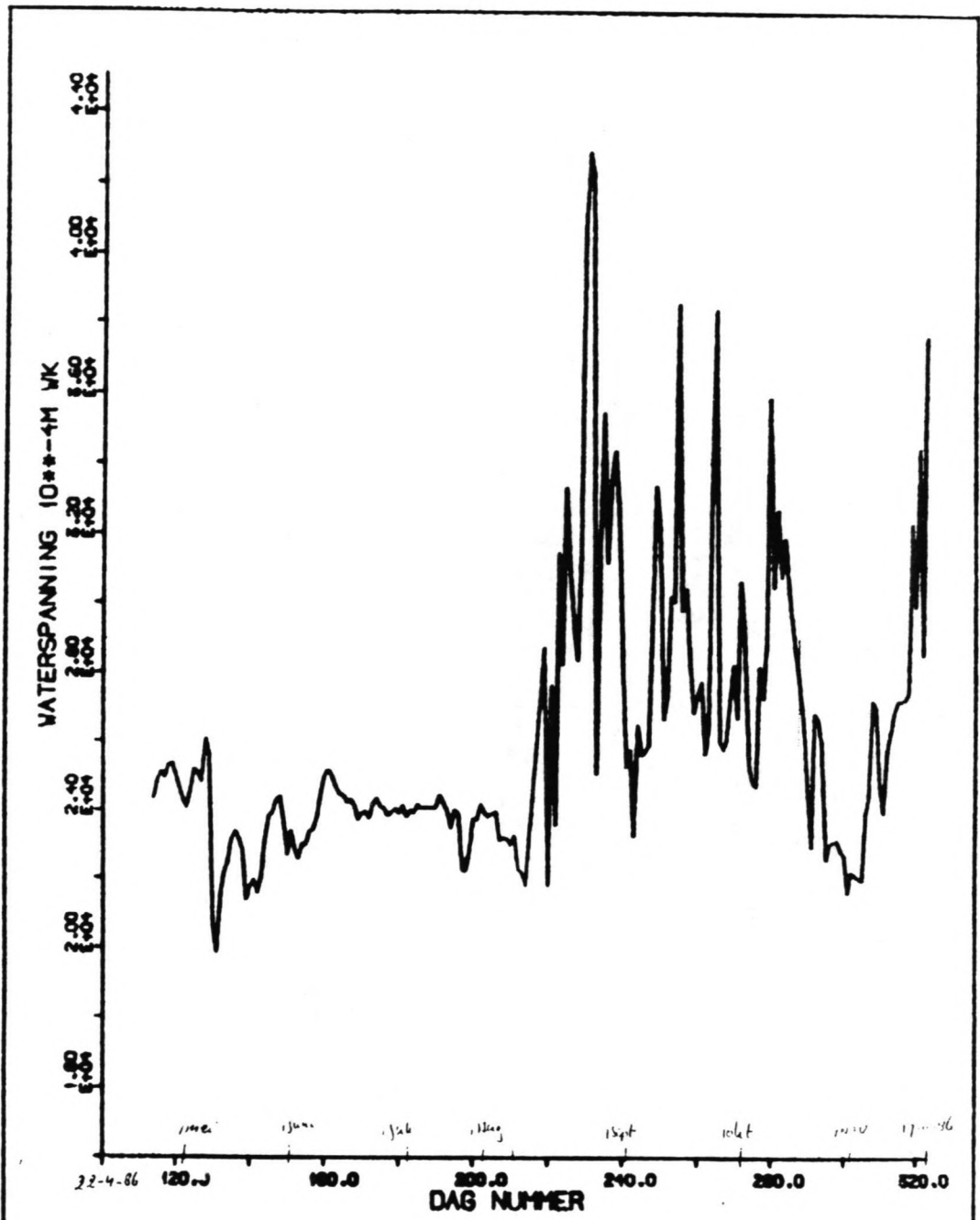
|   |  |          |       |     |
|---|--|----------|-------|-----|
|  <b>G. GROOTENBOER TECHNICA</b><br>DELFT | Postbus 88, 264 A Delft. Telefax (015) 81 08 21<br>Telefoon (015) 82 28. Tele 98284 omk. ml. | 87-07-20 |       |     |
|   | GE CORR. WATERDRUK R=33M, -19M M.V.  |          | 1986  |     |
|   |  |          | BIJL. | 266 |

R = 3      17<sup>5</sup>    23    38  
 D = -9 ○    ○    ○    ○  
      -19 ○    ○    ○    ⊗  
      -30 ○    ○    ○    ○



|   |   |          |       |
|---|---|----------|-------|
|  GRONOMECHANICA<br>DELFT | <small>Postbus 26, 2800 AB Delft. Telefoon (015) 81 00 21<br/>Telefax (015) 84 82 26 Televisie 0884 Delft, NL</small> | 87-07-20 |       |
|   | GE CORR. WATERDRUK R=33M, -30M M.V.   |          | 1986  |
|   |   |          | BIJL. |

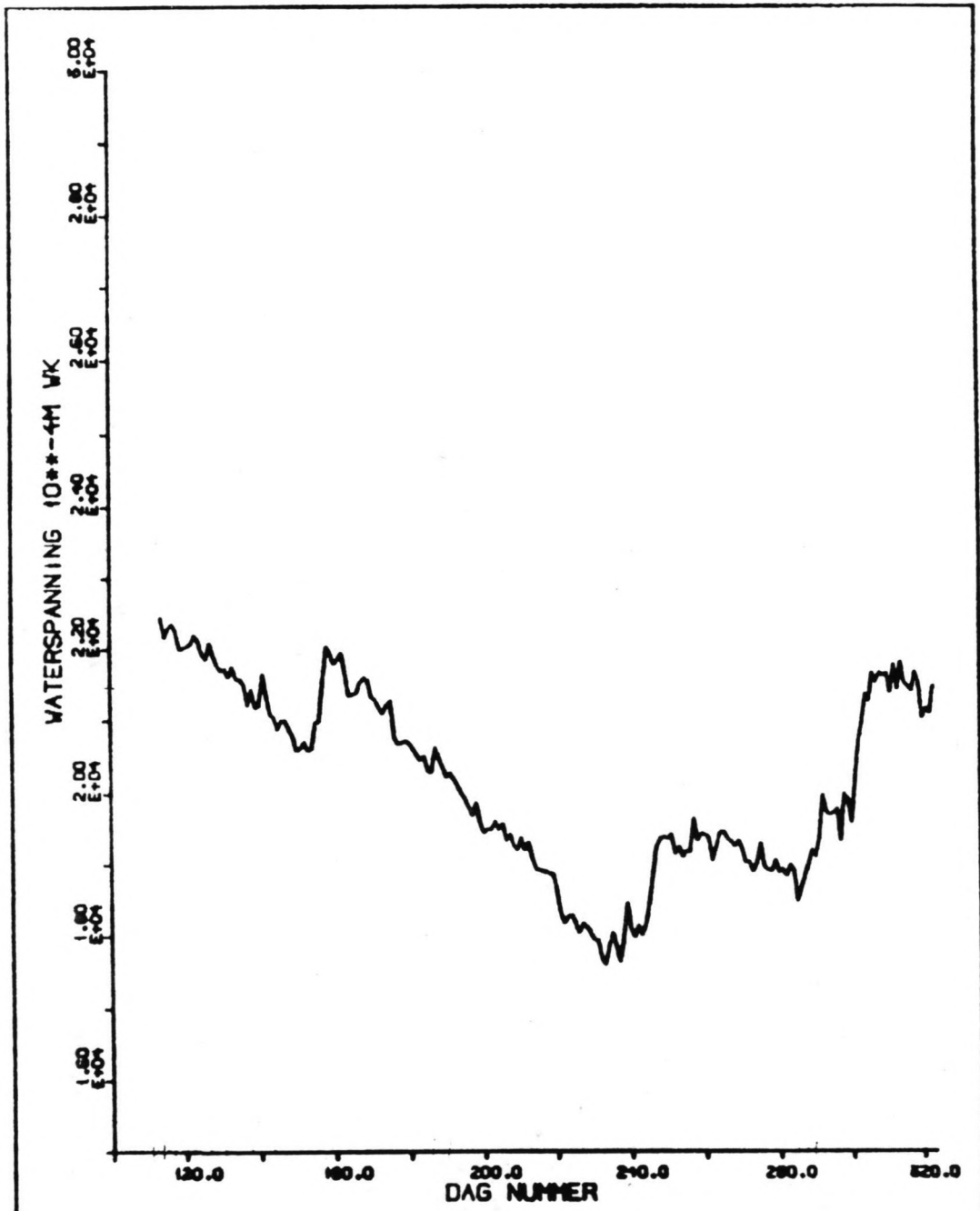
|          |                 |    |    |
|----------|-----------------|----|----|
| R = 3    | 17 <sup>5</sup> | 23 | 33 |
| D = -9 ○ | ○               | ○  | ○  |
| -19 ○    | ○               | ○  | ○  |
| -30 ○    | ○               | ○  | ⊗  |



|  |  |          |     |
|--|--|----------|-----|
|  | Postbus 26, 2600 AA Delft. Telefoon (015) 61 62 21<br>Telefoon (015) 61 62 22. Telefax (015) 61 62 23. | 87-06-23 |     |
|  | CORWATERDR R=5M, -19M M.V., 10**-4M WK   | 1986     |     |
|  |  | BIJL.    | 2dd |

$R=3$       175      23      33  
 $D=-9$  ○      ○      ○      ○  
 -19 ⊗      ○      ○      ○  
 -30 ○      ○      ○      ○





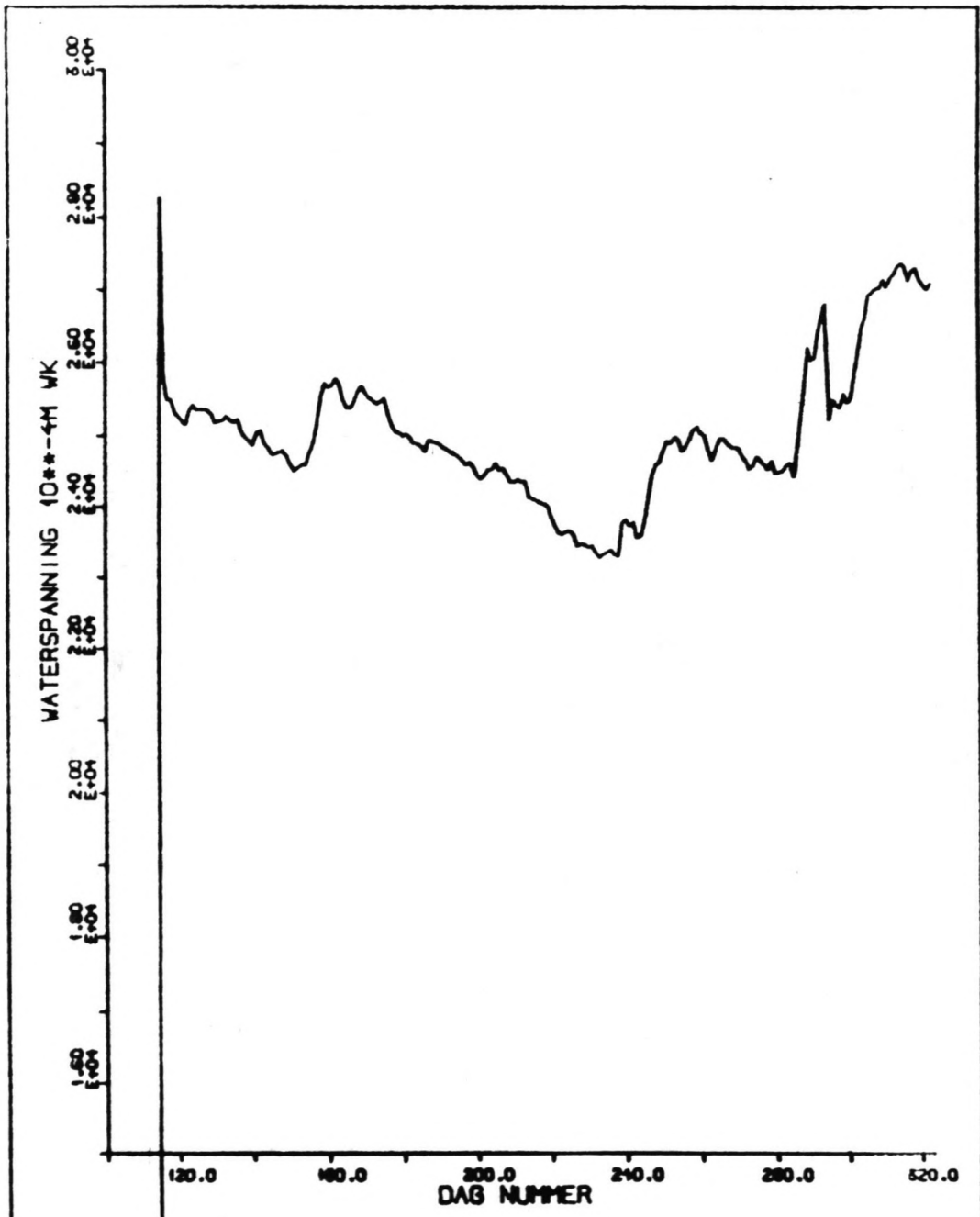
**G** GEOMECHANICA  
DELFT


Postbus 26, 2200 AE Delft. Telefoon (06) 24 00 01  
Telefax (06) 24 00 05 Tele (020) 624 41

|          |     |
|----------|-----|
| 87-06-25 |     |
| 1986     |     |
| BIJL.    | 2cc |

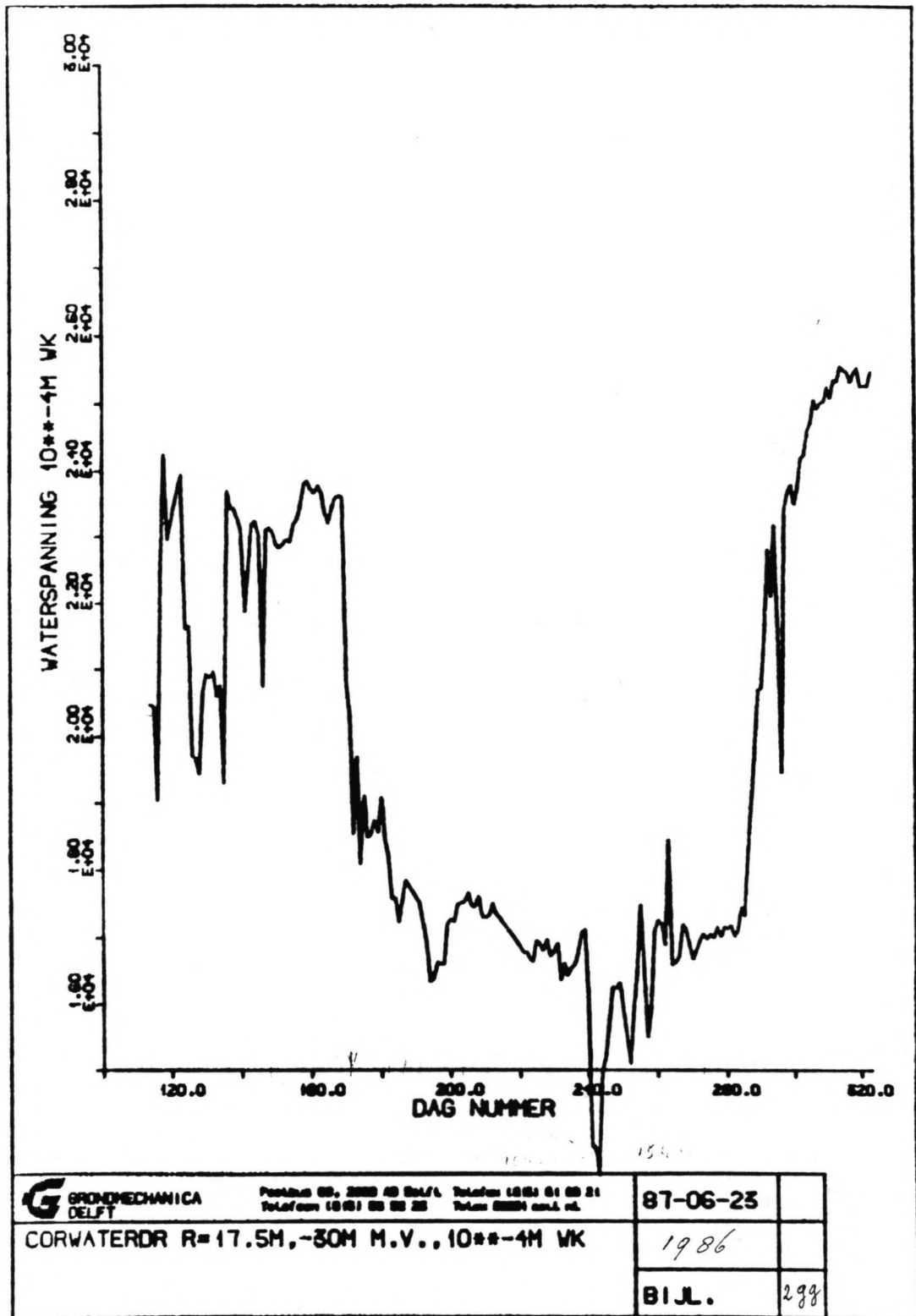
CORWATERDR R=17.5M, -9M M.V., 10\*\*-4M WK

R=3    17<sup>5</sup>    23    33  
 D=-9 ○    ⊗    ○    ○  
 -19 ○    ○    ○    ○  
 -30 ○    ○    ○    ○

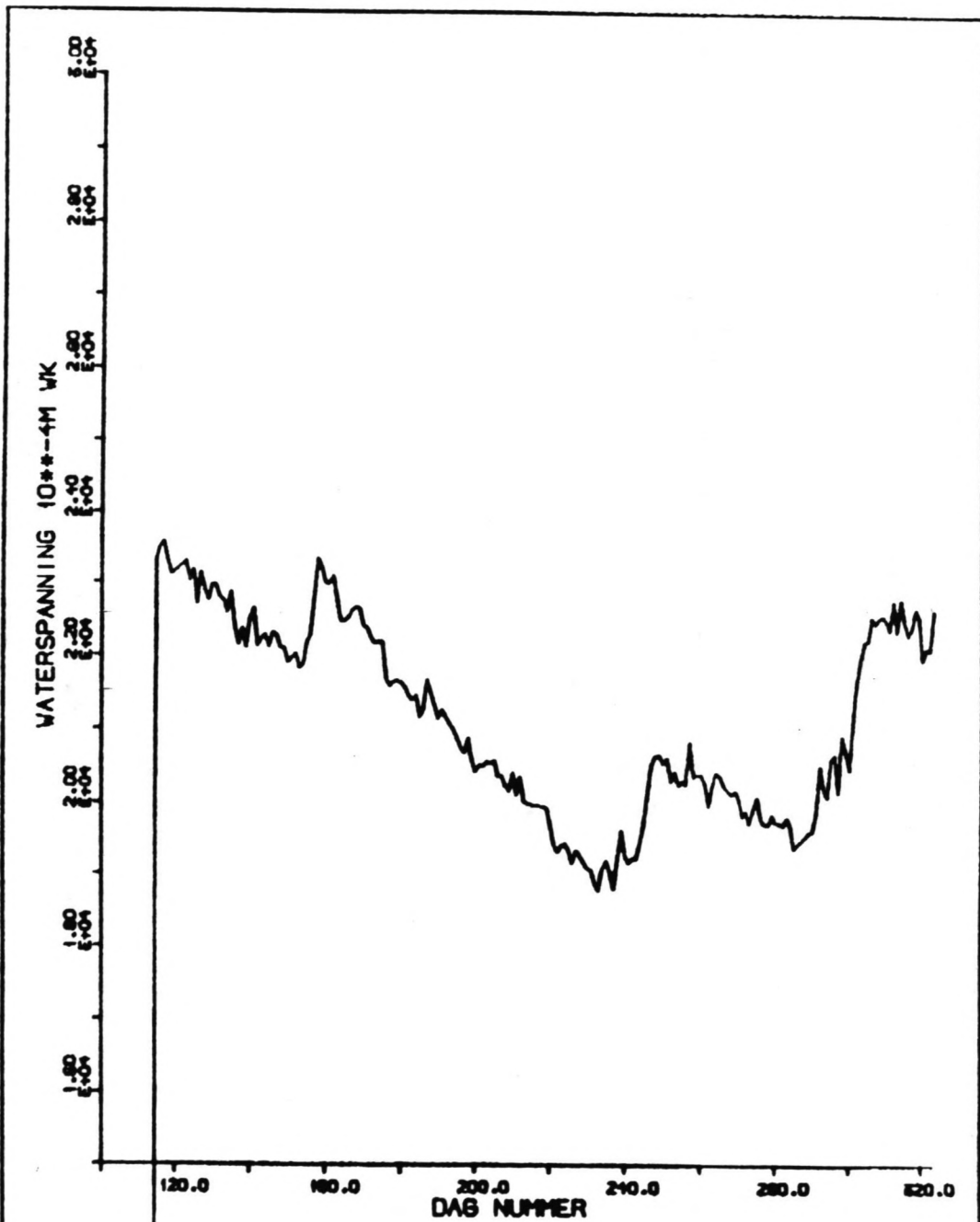


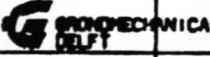
|  |   |          |      |
|--|---|----------|------|
|  <b>SPINMECHANICA</b><br>ROTARY | Postbus 65, 2000 AB ROTTERDAM<br>Telefoon (010) 53 53 53 Telefax (010) 51 53 51 | 87-06-28 |      |
|  | CORWATERDR R=17.5M, -19M N.V., 10**--4M WK                                      |          | 1986 |
|  |   | BIJL.    | 244  |

R= 3    17<sup>5</sup>    23    33  
 D=-9 ○    ○    ○    ○  
       -19 ○    ⊗    ○    ○  
       -30 ○    ○    ○    ○

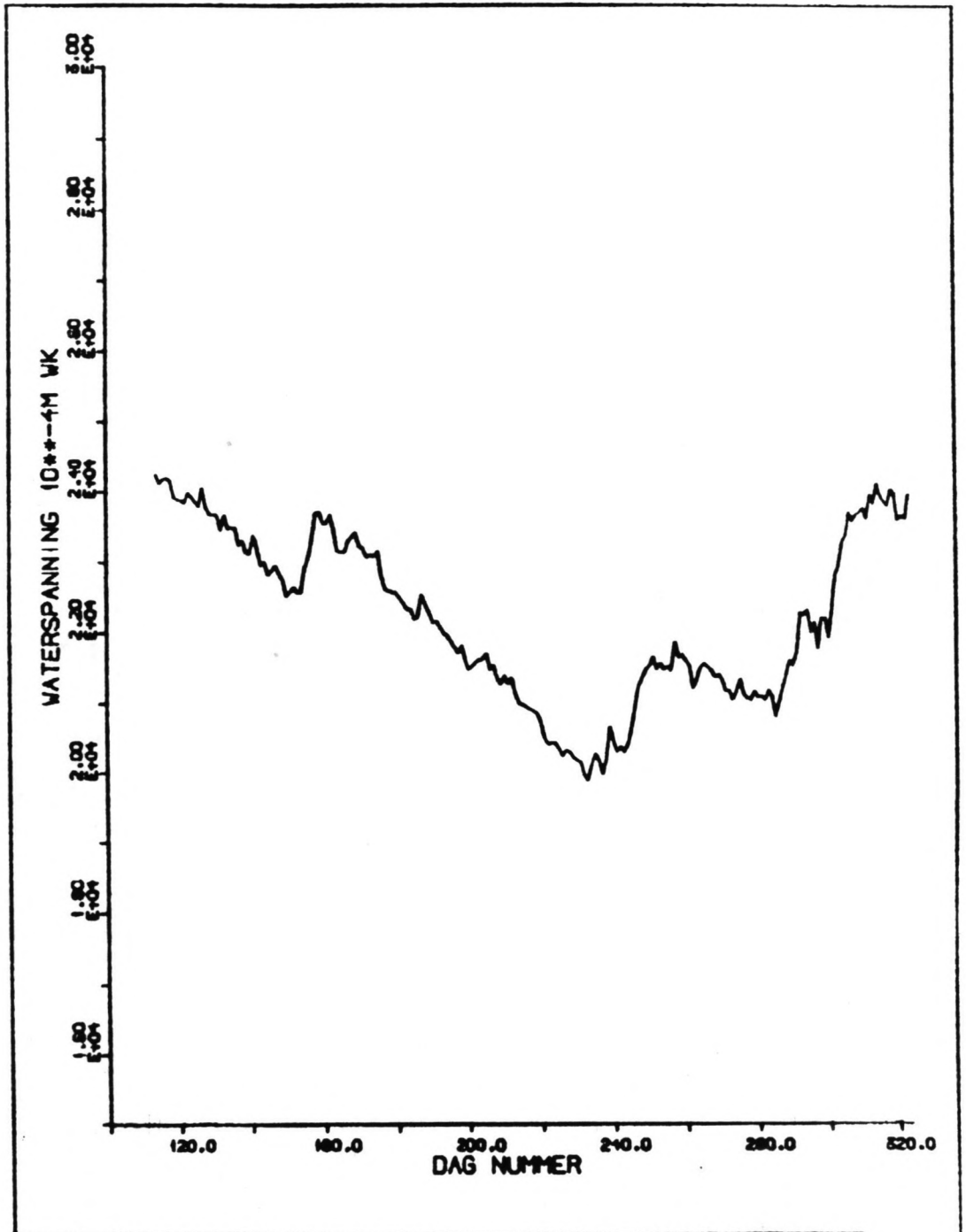


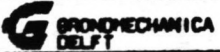
$R = 3$     175    23    33  
 $D = -9$  ○    ○    ○    ○  
           -19 ○    ○    ○    ○  
           -30 ○    ⊗    ○    ○



|   |   |          |     |
|---|---|----------|-----|
|  | Postbus 26, 2600 AA Delft. Telefax (015) 61 00 21<br>Telefoon (015) 66 02 20. Telex 62221 GOLL NL | 87-06-25 |     |
|   | CORWATERDR R=25M, -9M M.V., 10**-4M WK  | 1986     |     |
|   |   | BIJL.    | 222 |

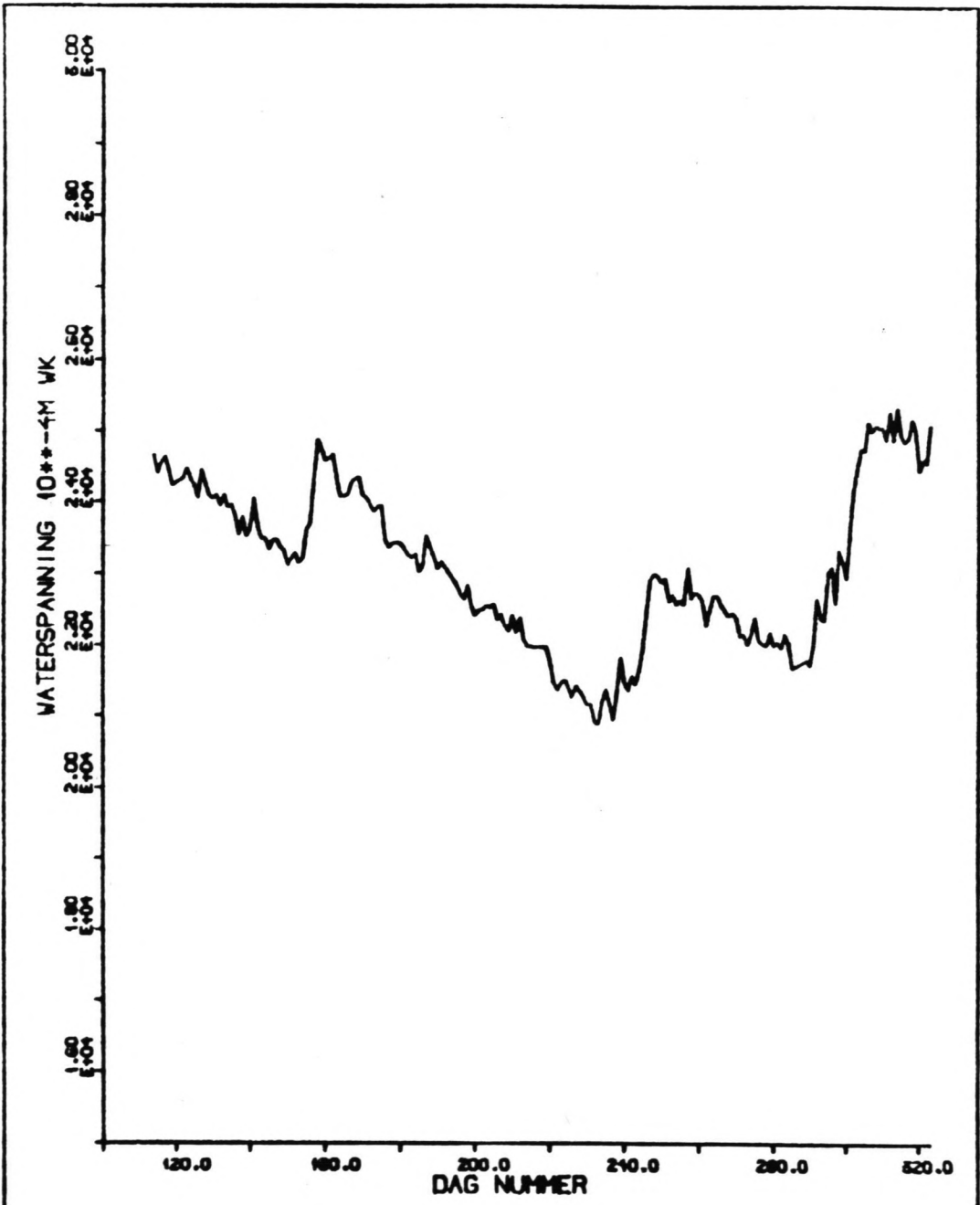
R=3      17<sup>5</sup>      23      33  
 D=-9 ○      ○      ⊗      ○  
       -19 ○      ○      ○      ○  
       -30 ○      ○      ○      ○




|  |          |     |
|--|----------|-----|
|  GBRONMECHANICA<br>DELFT<br>Postbus 26, 2600 AA Delft Telefax (06) 51 52 21<br>Telefoon (06) 52 52 22 Tele (06) 5251 23 | 87-06-23 |     |
|  | 1986     |     |
|  | BIJL.    | 2ii |

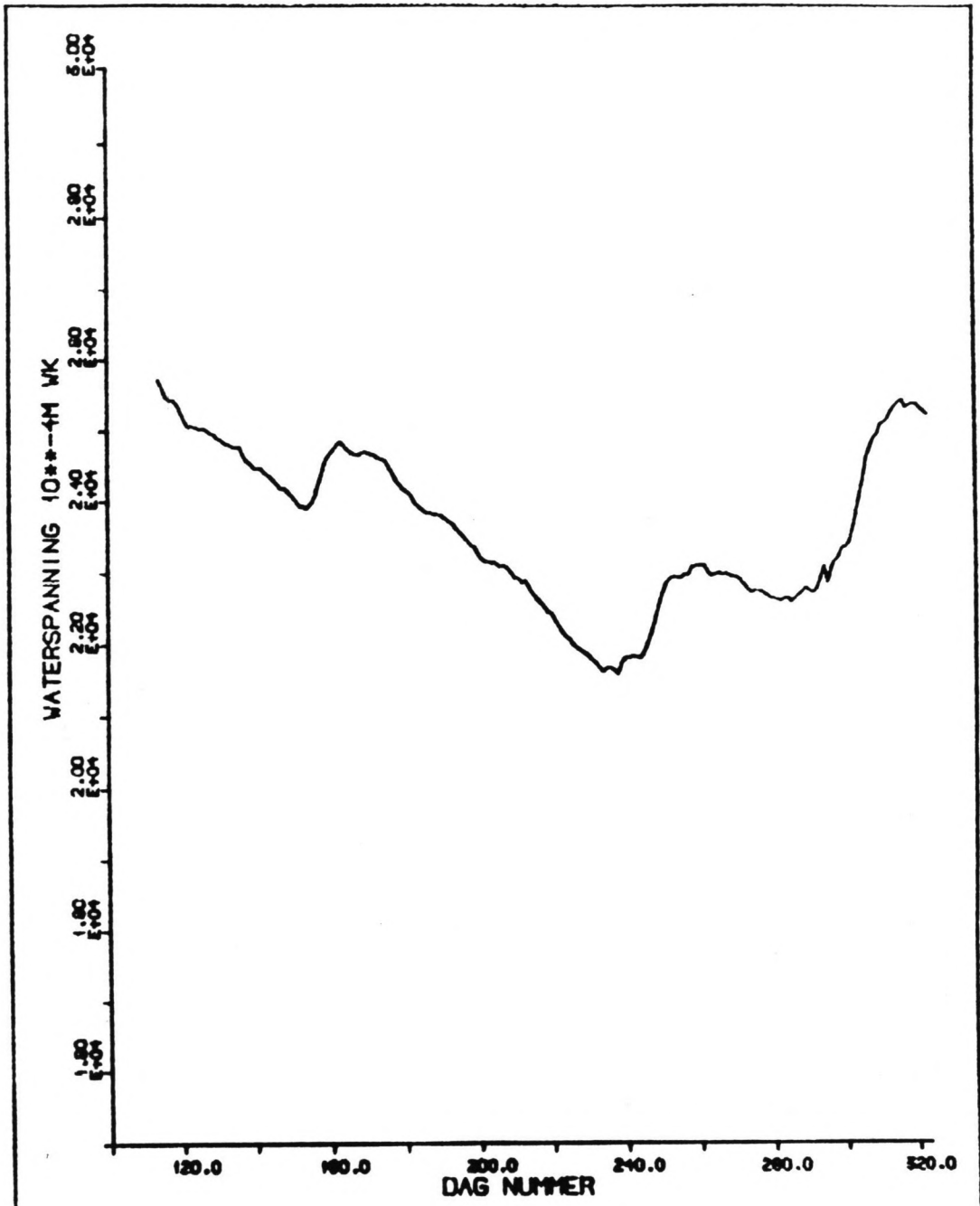
|     |       |                 |    |    |
|-----|-------|-----------------|----|----|
|     | R=3   | 17 <sup>5</sup> | 23 | 33 |
| D = | -9 ○  | ○               | ○  | ○  |
|     | -19 ○ | ○               | ⊗  | ○  |
|     | -30 ○ | ○               | ○  | ○  |






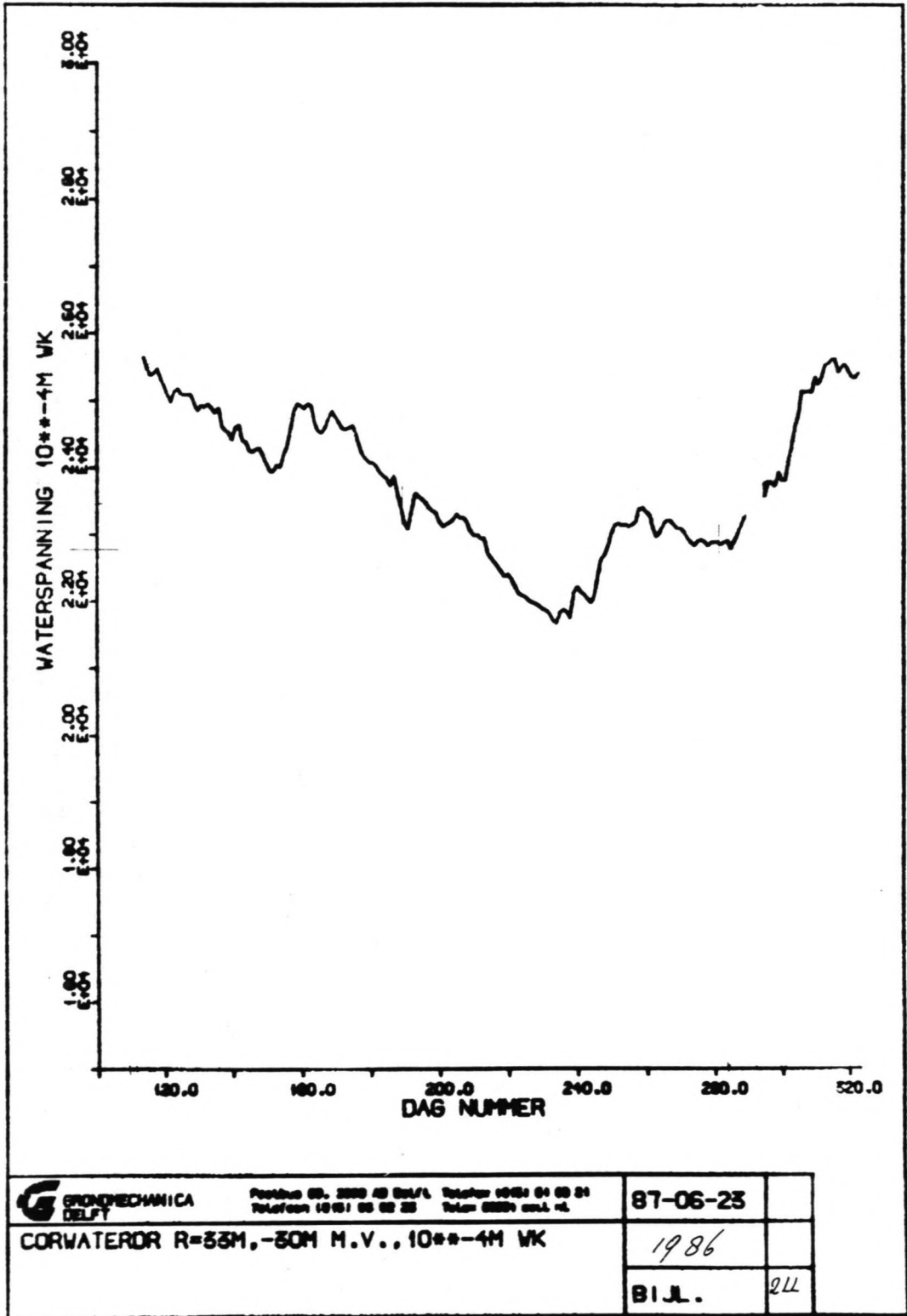
|  |          |     |
|--|----------|-----|
|  <b>G. BRONMECHANICA B.V.</b><br>Postbus 60, 2000 AB GOLF. Telefax (045) 61 00 01<br>Telefoon (045) 60 00 00 Telefax (020) 6000 0000 n.v. | 87-06-23 |     |
|  | 1986     |     |
|  | BIJL.    | 233 |
| CORWATERDR R=33M, -9M H.V., 10**--4M WK  |          |     |

R= 3      17<sup>5</sup>    23    33  
 D= -9 ○    ○    ○    ⊗  
      -19 ○    ○    ○    ○  
      -30 ○    ○    ○    ○

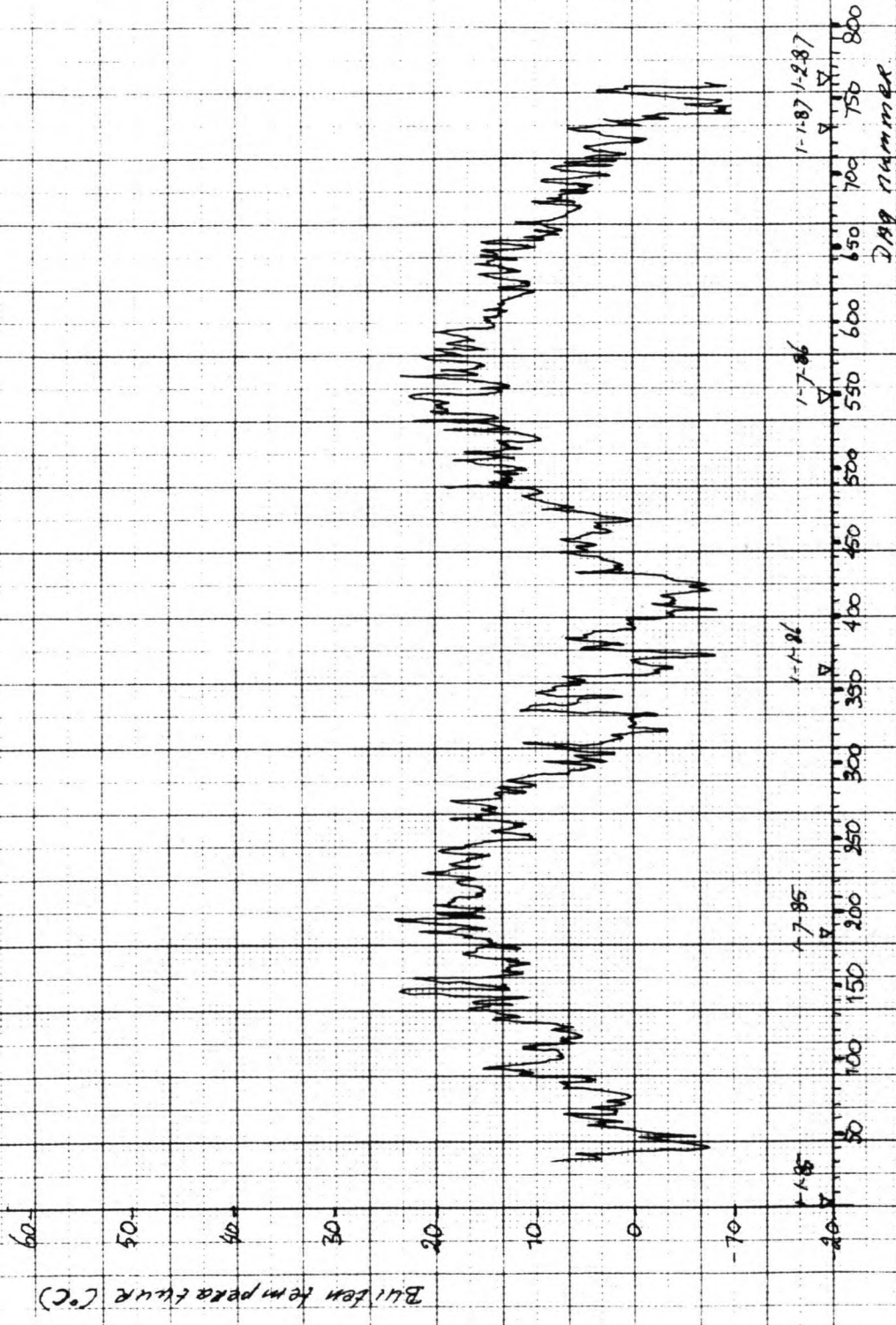


|  |   |          |       |     |
|--|---|----------|-------|-----|
|  <b>BRONCKHORST</b><br><b>DELFT</b> | Postbus 25, 2200 AG Delft    Telefax (06) 61 00 21<br>Telefoon (06) 60 00 20    Tele 020 61 00 21 | 87-06-23 |       |     |
|  | <b>CORWATERDR R=33M, -19M M.V., 10**--4M WK</b>   |          | 1986  |     |
|  |   |          | BIJL. | 266 |

R=3    17<sup>5</sup>    23    33  
 D=-90    ○    ○    ○  
       -19    ○    ○    ⊗  
       -30    ○    ○    ○



$D = \begin{matrix} R=3 & 17^5 & 23 & 33 \\ -9 & \circ & \circ & \circ \\ -19 & \circ & \circ & \circ \\ -30 & \circ & \circ & \otimes \end{matrix}$



Buiten temperatuur / Feb 1985 - 31 Jan 1987

Bijlage 3a

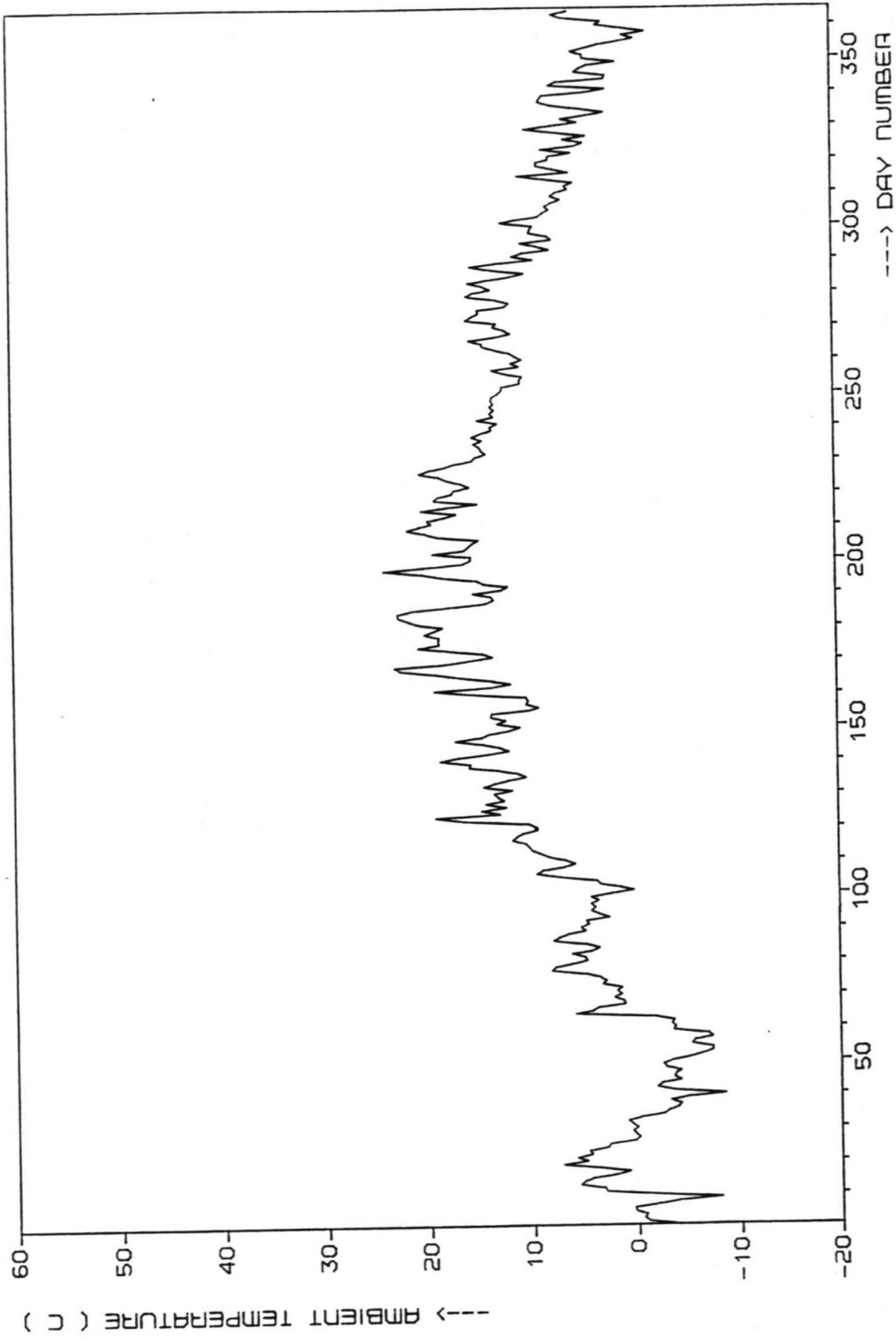


FIG : AMBIENT TEMPERATURE - YEAR 1986



*Bylage 3.6*



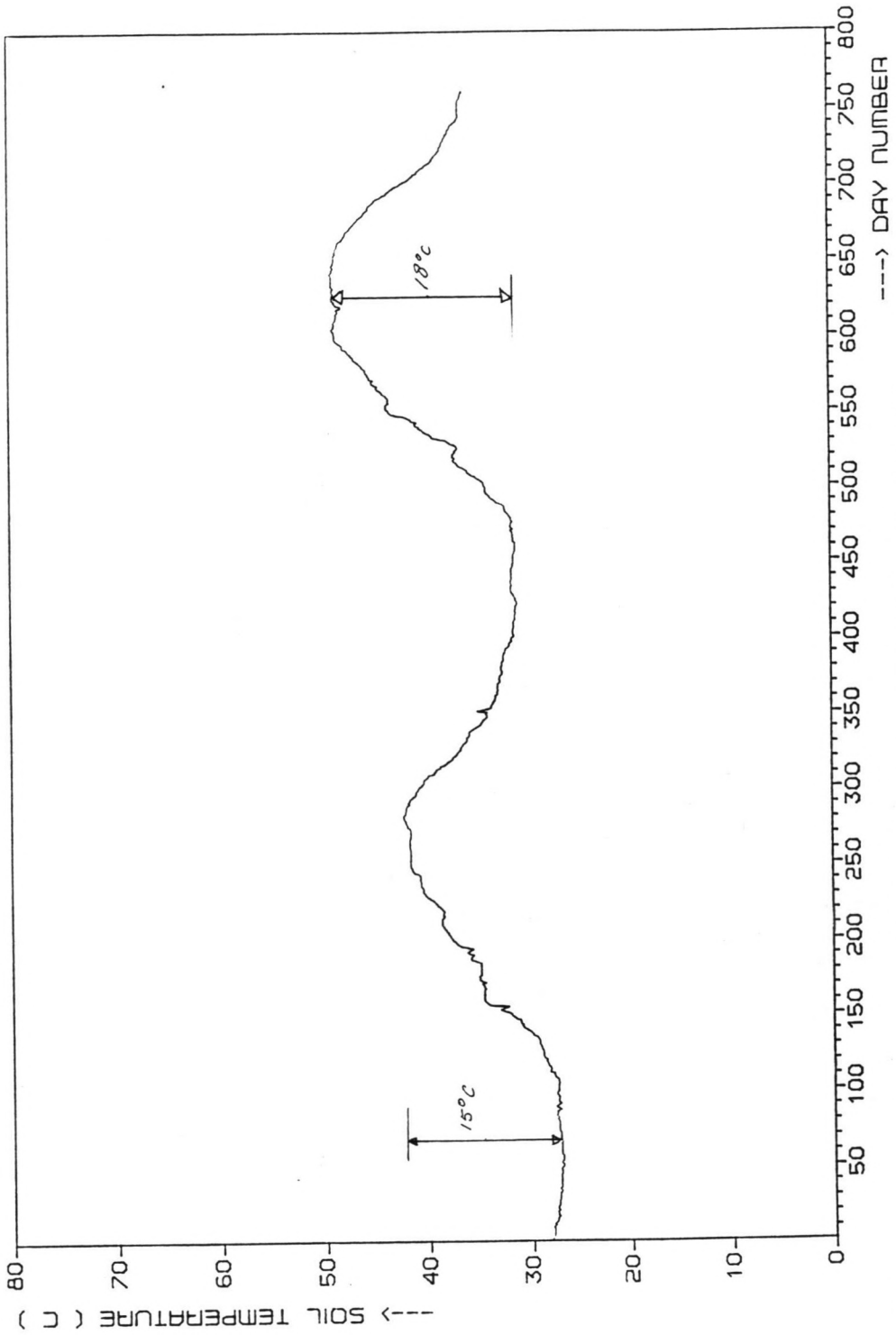


FIG : MEAN SOIL TEMPERATURE - 1 FEB.1985 - 31 JAN.1987

*Björge 3.c*



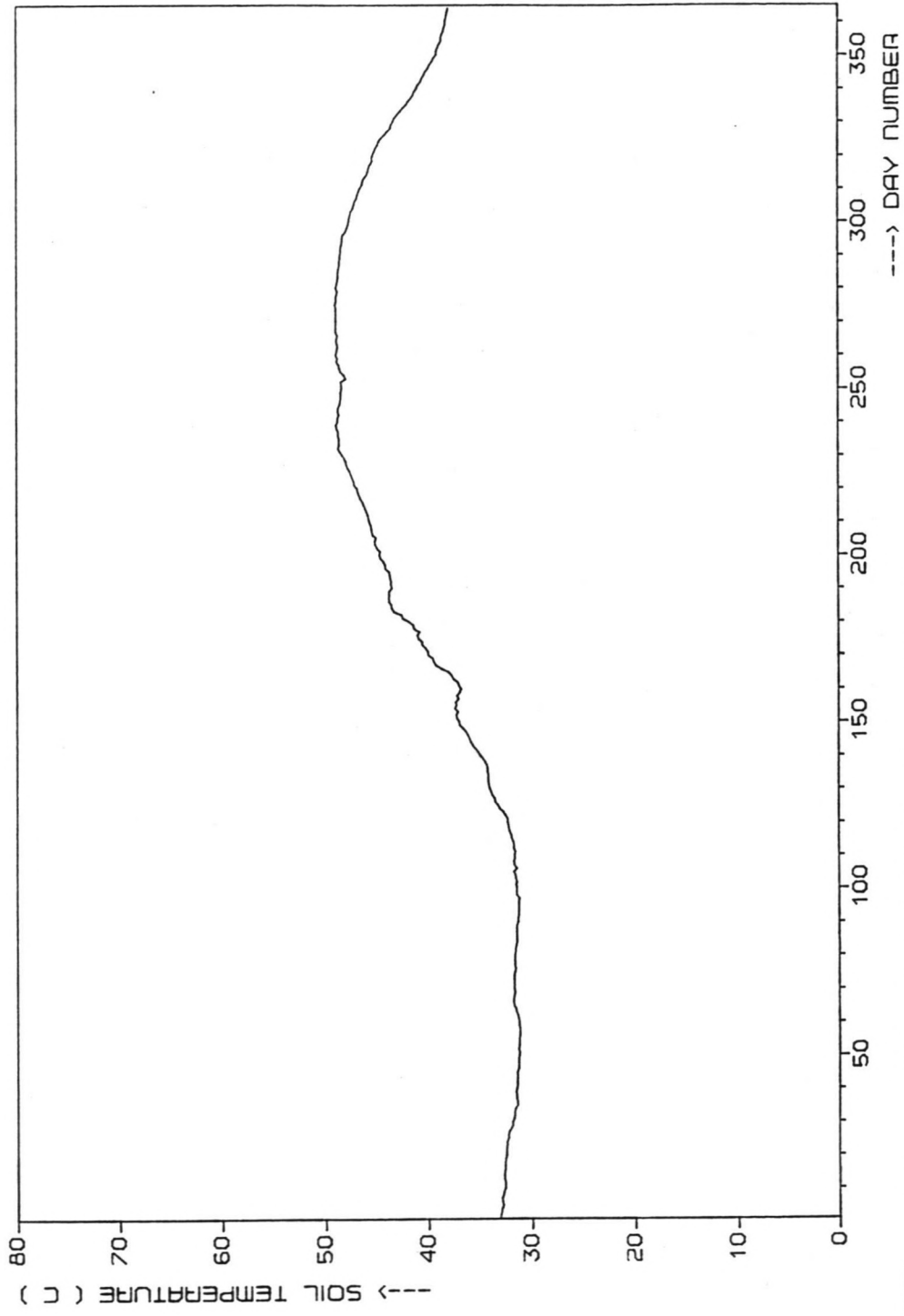


FIG : MEAN SOIL TEMPERATURE - YEAR 1986

TP

*Bylage 3.e*

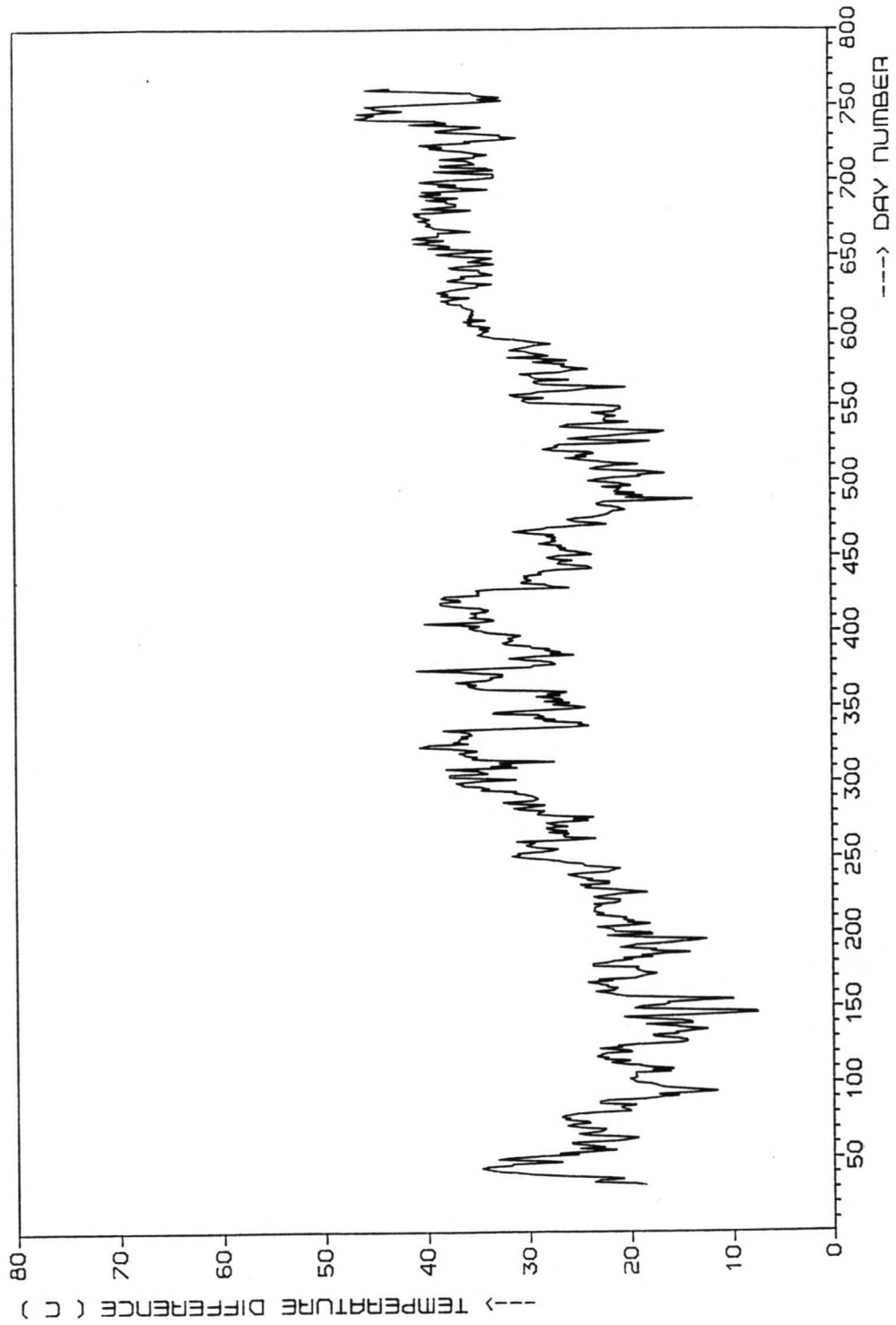


FIG : TEMPERATURE DIFFERENCE BETWEEN SOIL AND AMBIENT

*Bijlage 3.f*



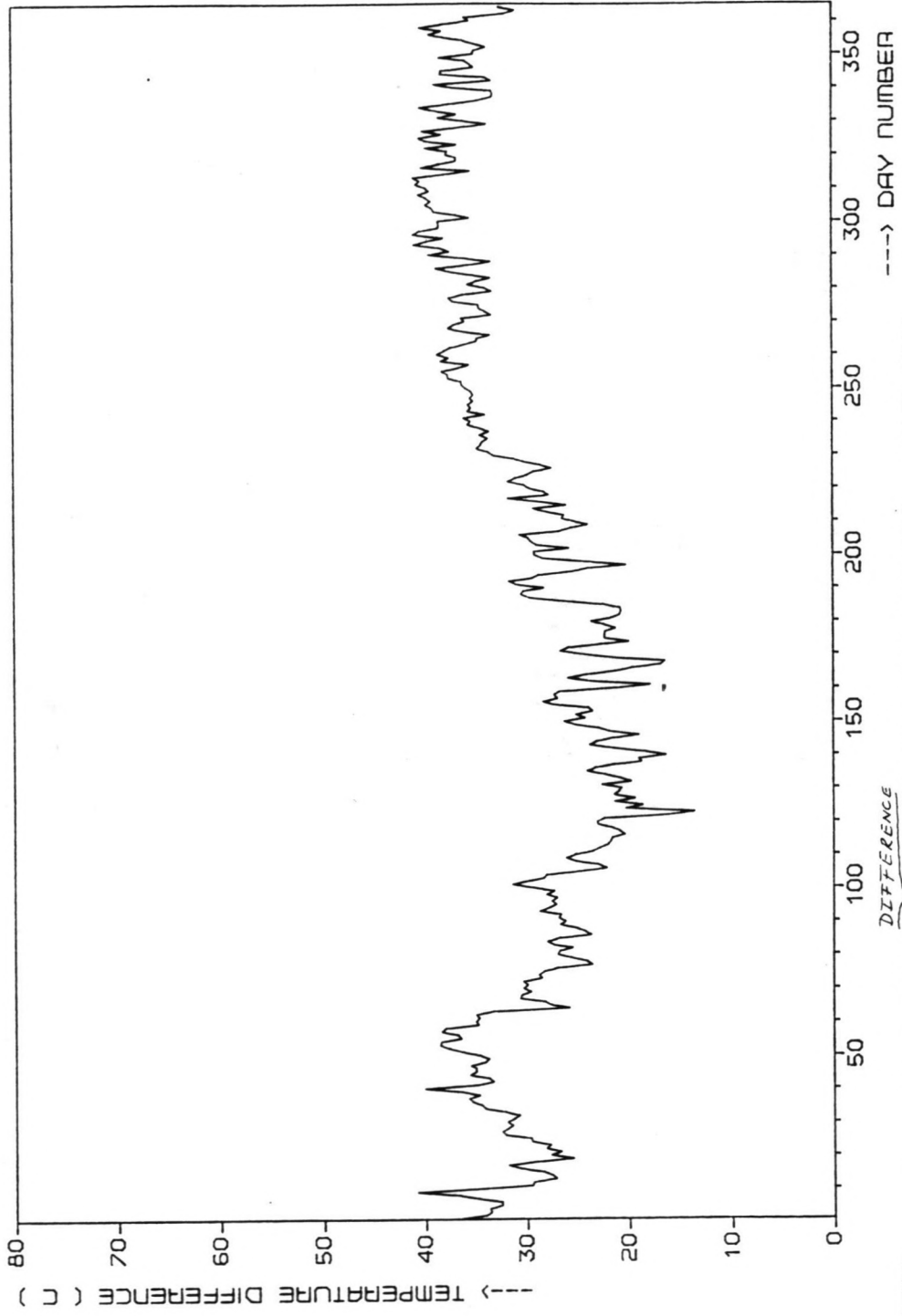
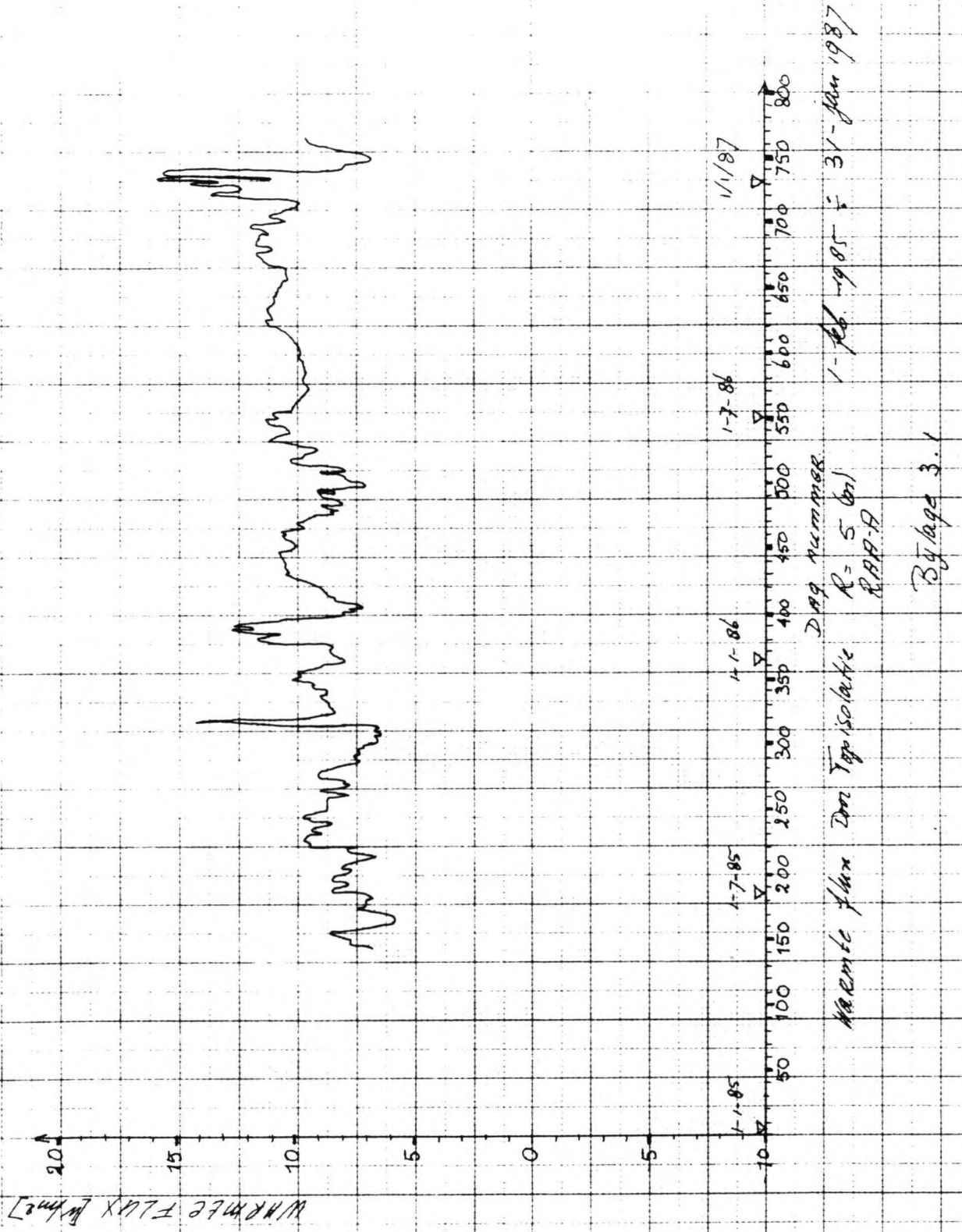


FIG : TEMPERATURE BETWEEN SOIL AND AMBIENT - YEAR 1986

TP

*Bylage 3.g*





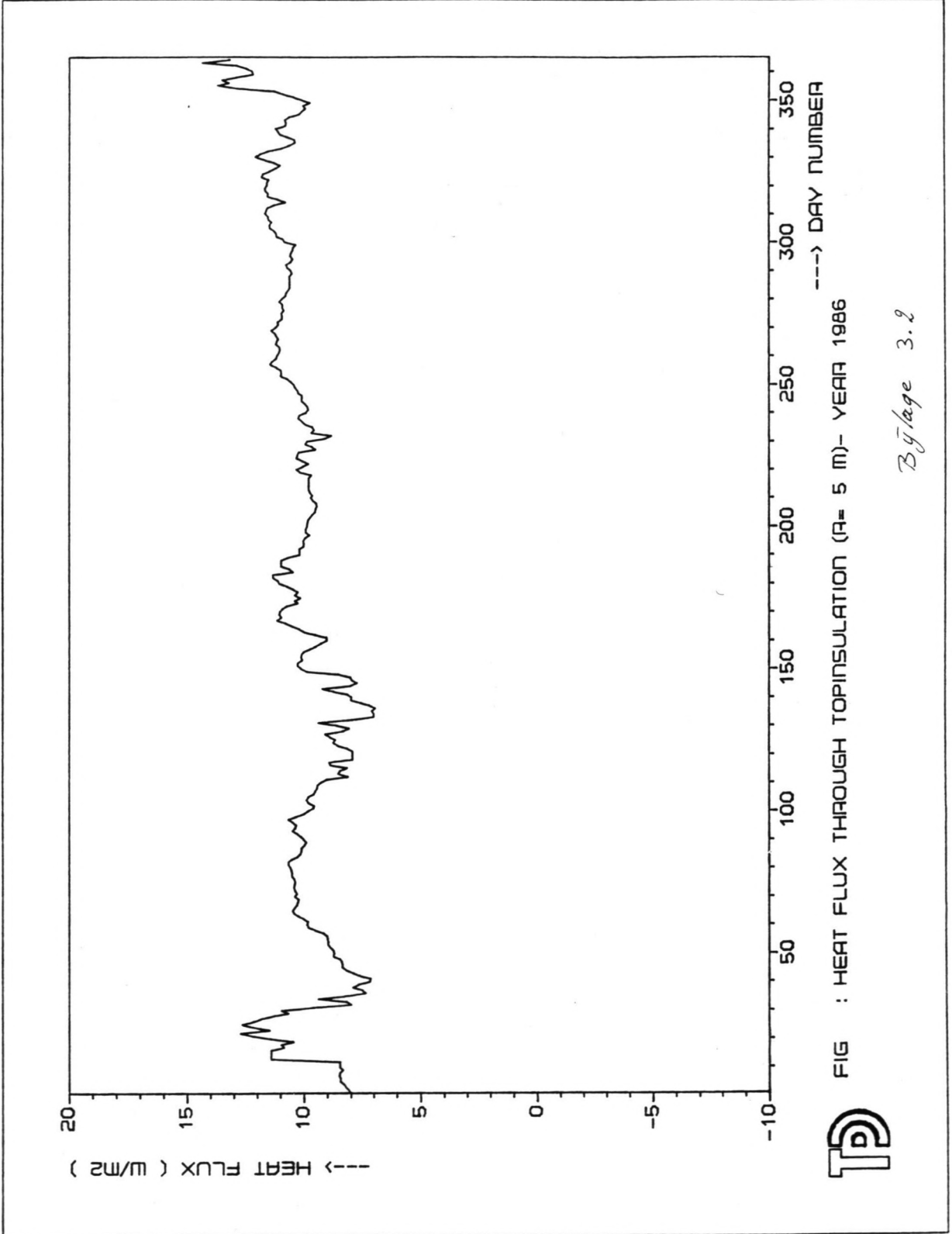


FIG : HEAT FLUX THROUGH TOPINSULATION (R= 5 m)- YEAR 1986

*Bylage 3.2*

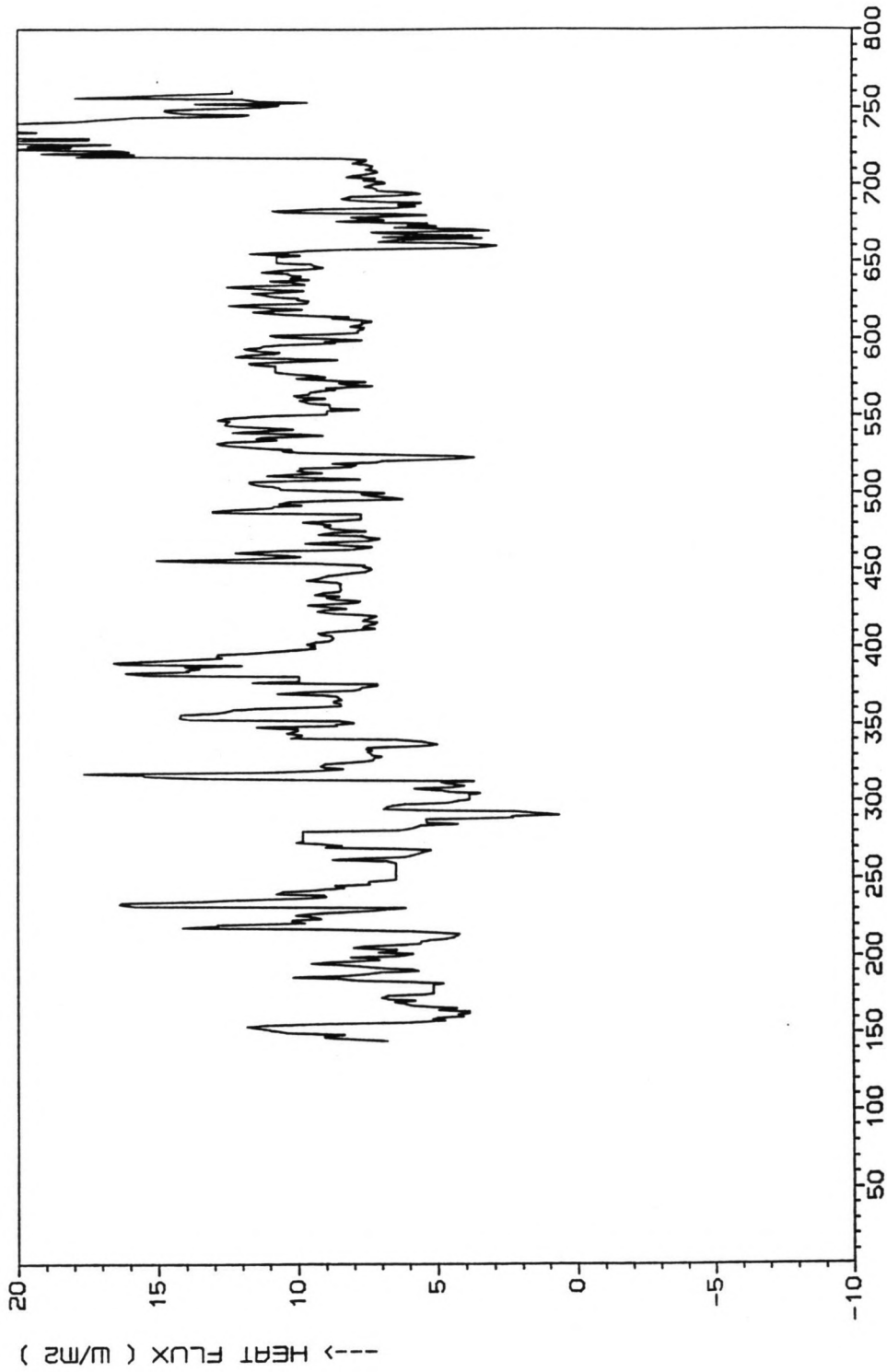


FIG : HEAT FLUX THROUGH TOPINSULATION (R=15 M)- 1 FEB.1985 -31 JAN.1987



*Bylage 3.3*

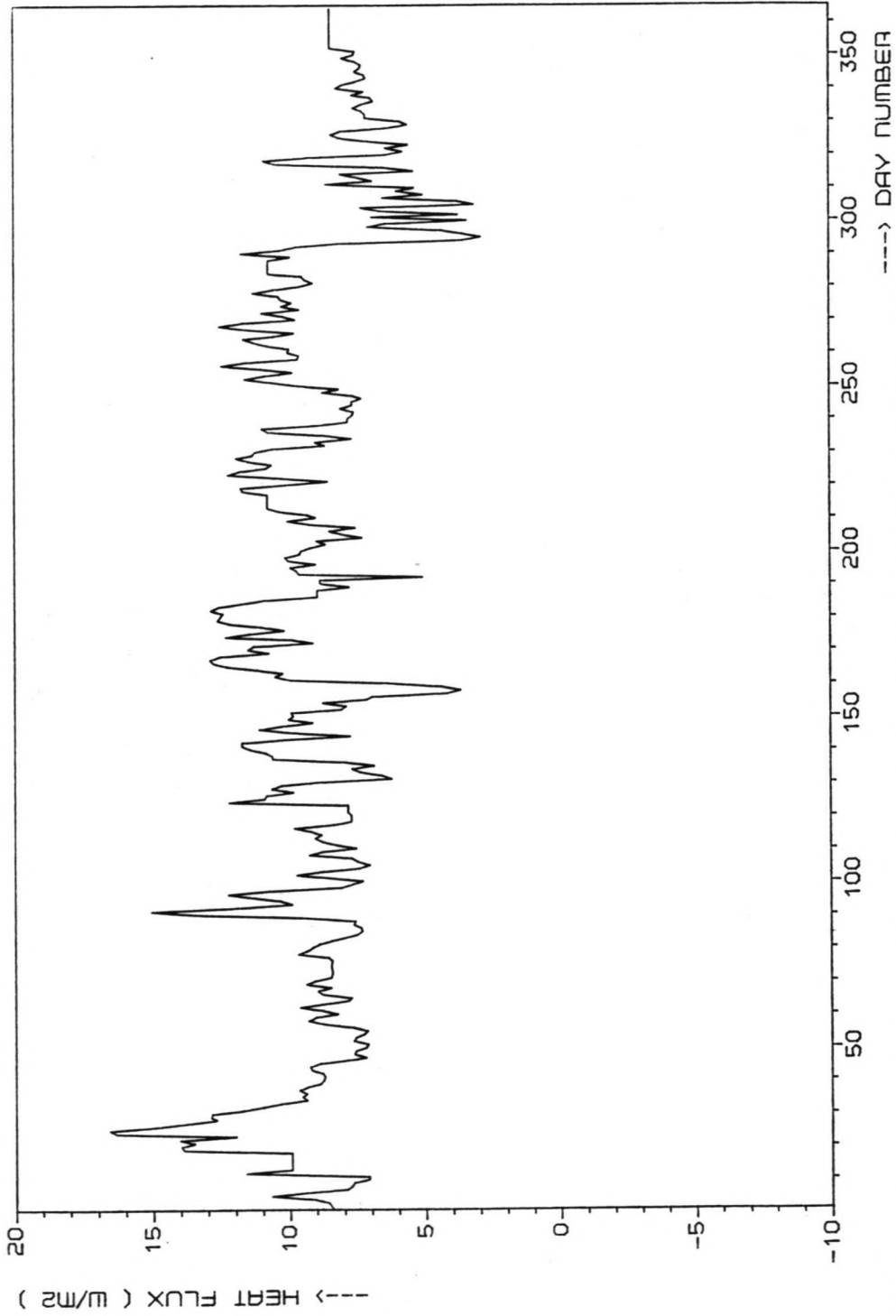


FIG : HEAT FLUX THROUGH TOPINSULATION (R=15 M)- YEAR 1986

*Bylage 3.4*



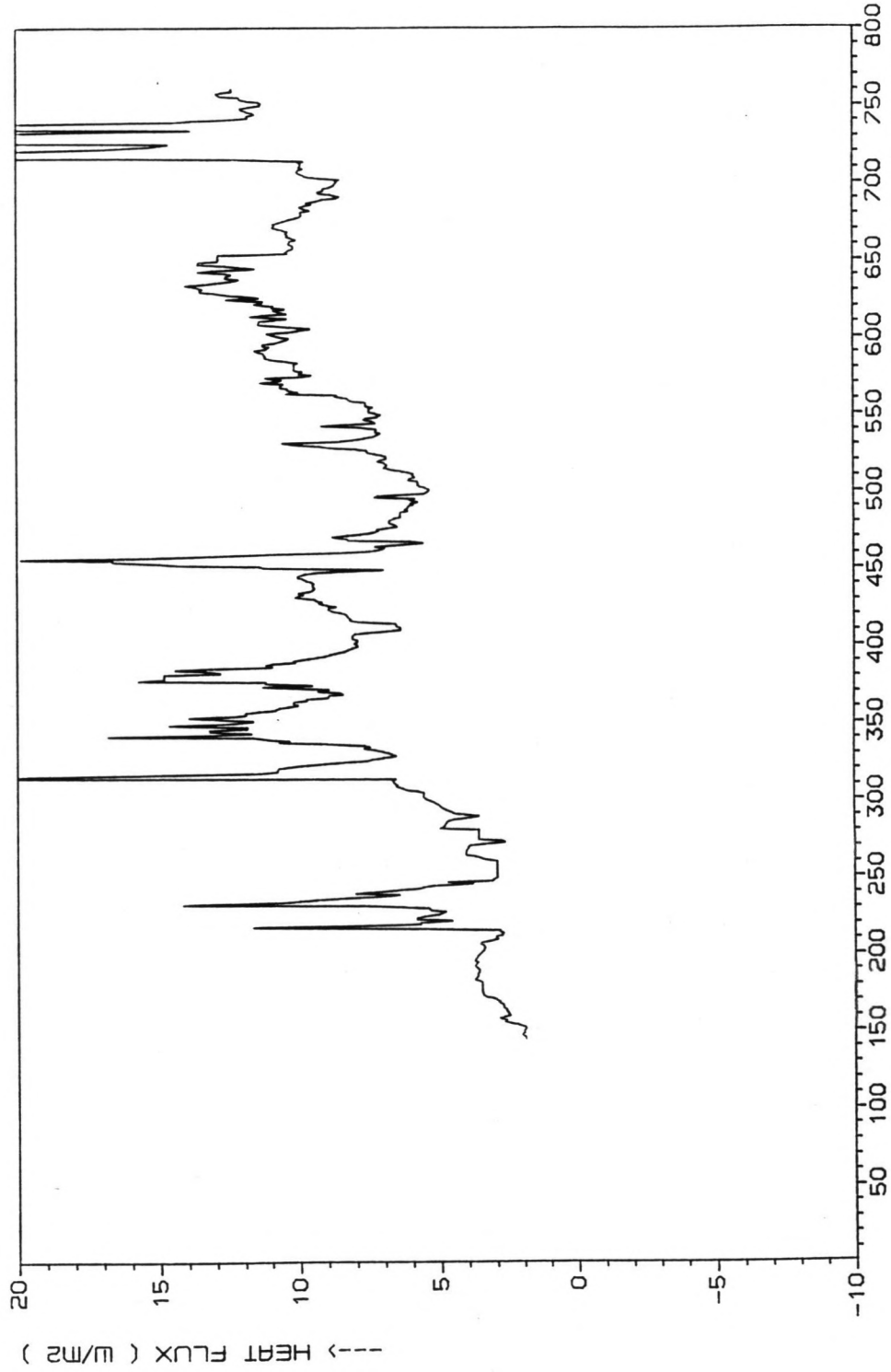


FIG : HEAT FLUX THROUGH TOPINSULATION (R=20 M)- 1 FEB.1985 -31 JAN.1987



*Bylage 3.5*

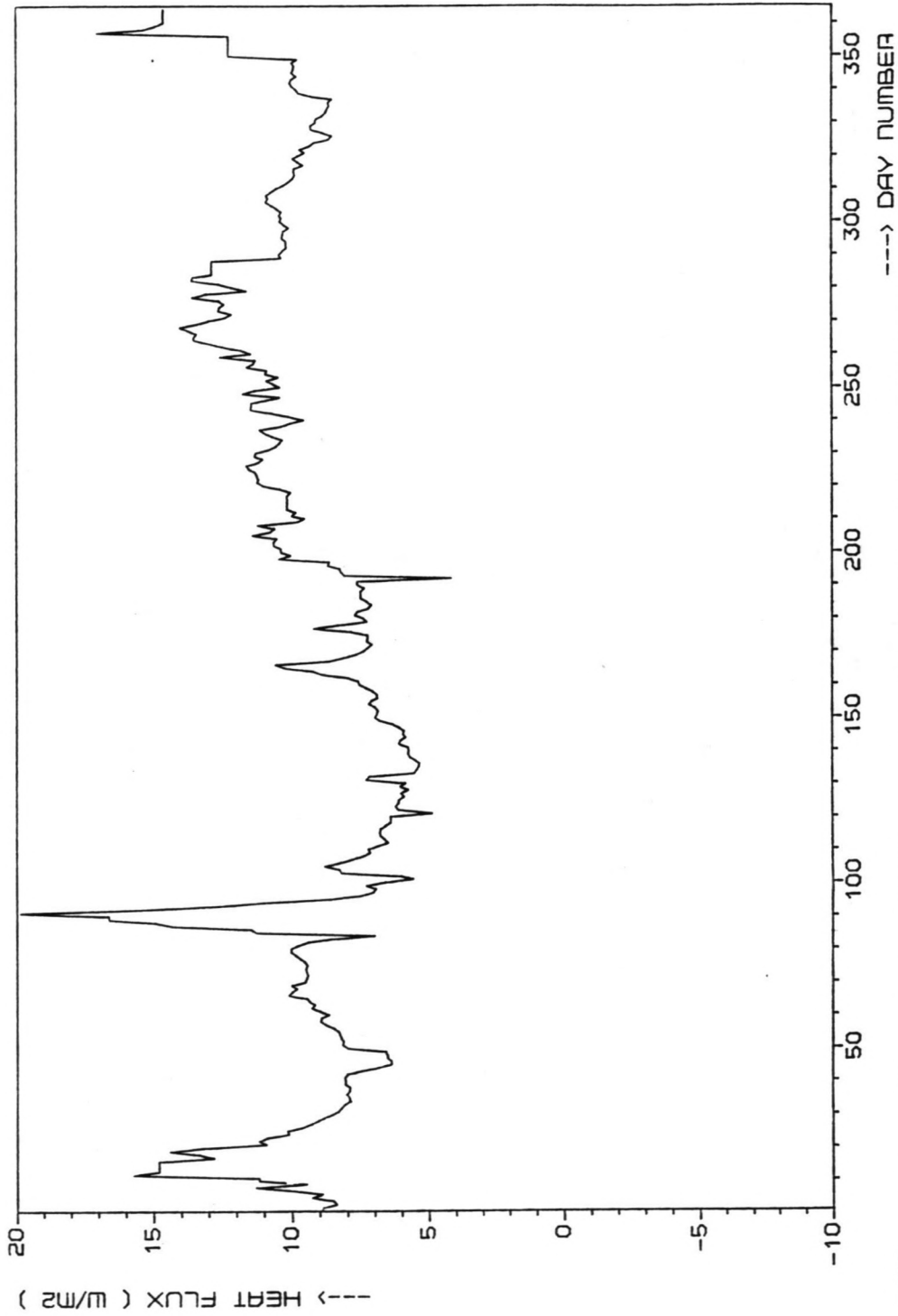


FIG : HEAT FLUX THROUGH TOPINSULATION (R=20 m)- YEAR 1986



*Bylage 3.6*



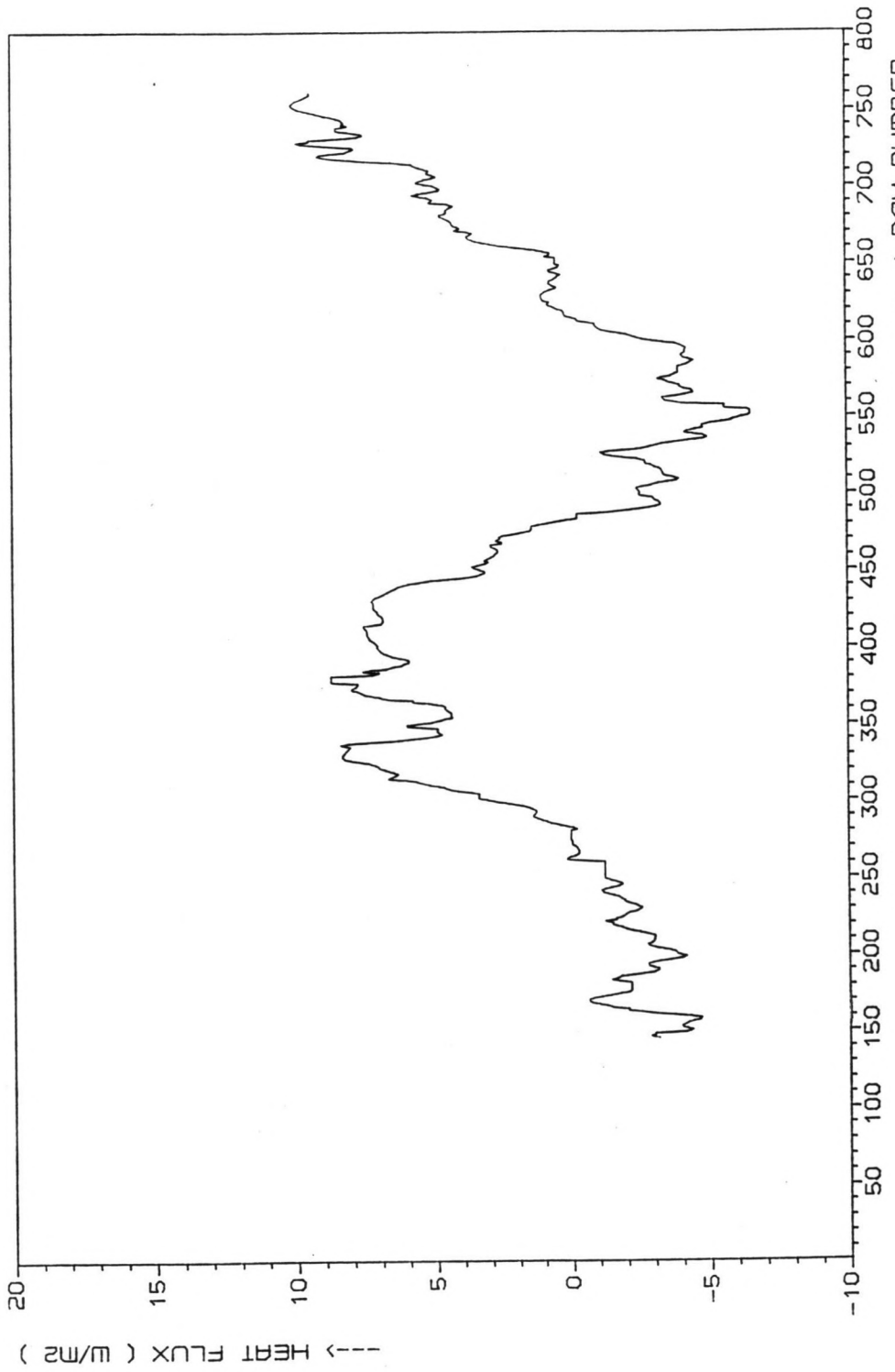
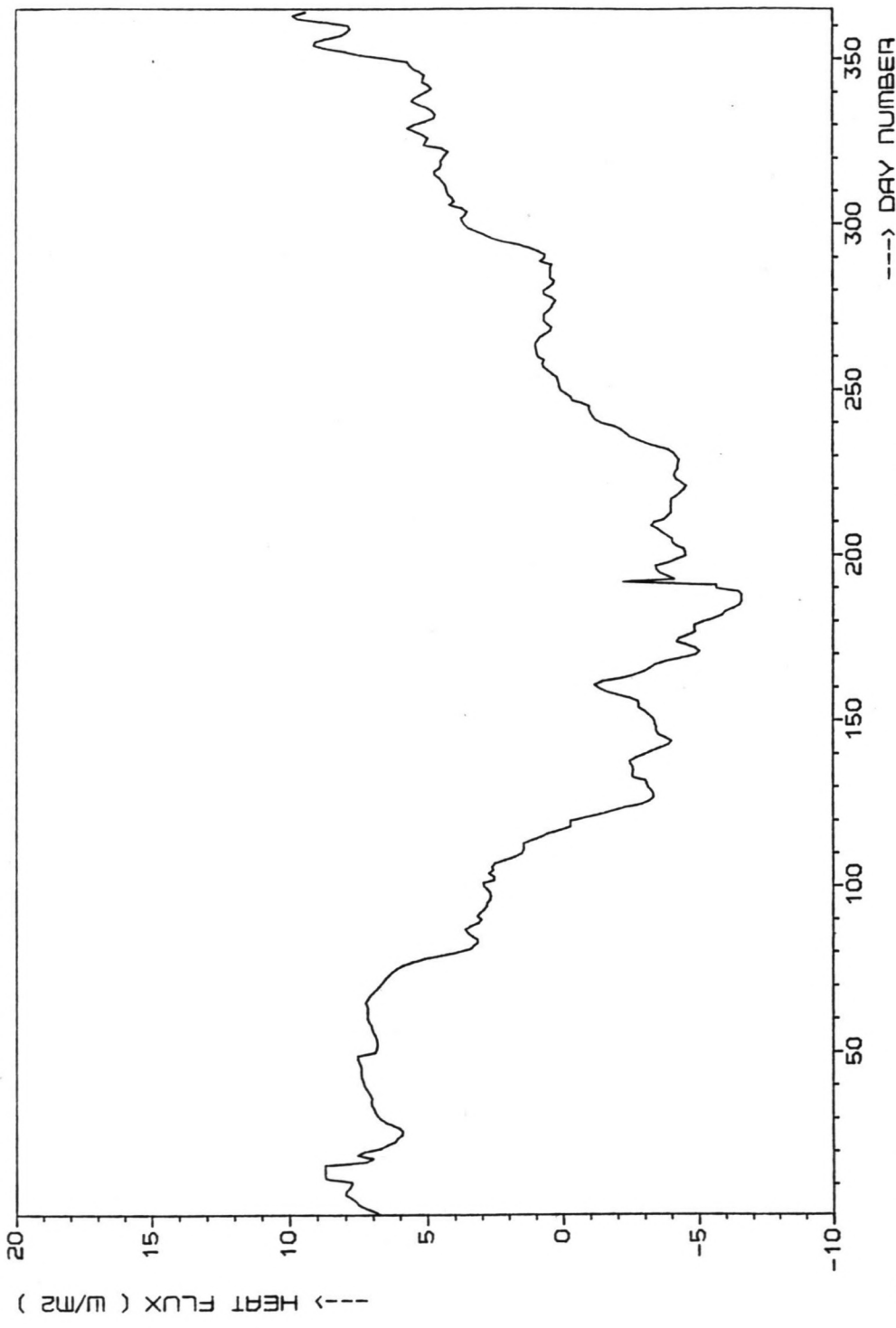


FIG : HEAT FLUX THROUGH TOPINSULATION (R=25 M)- 1 FEB.1985 -31 JAN.1987

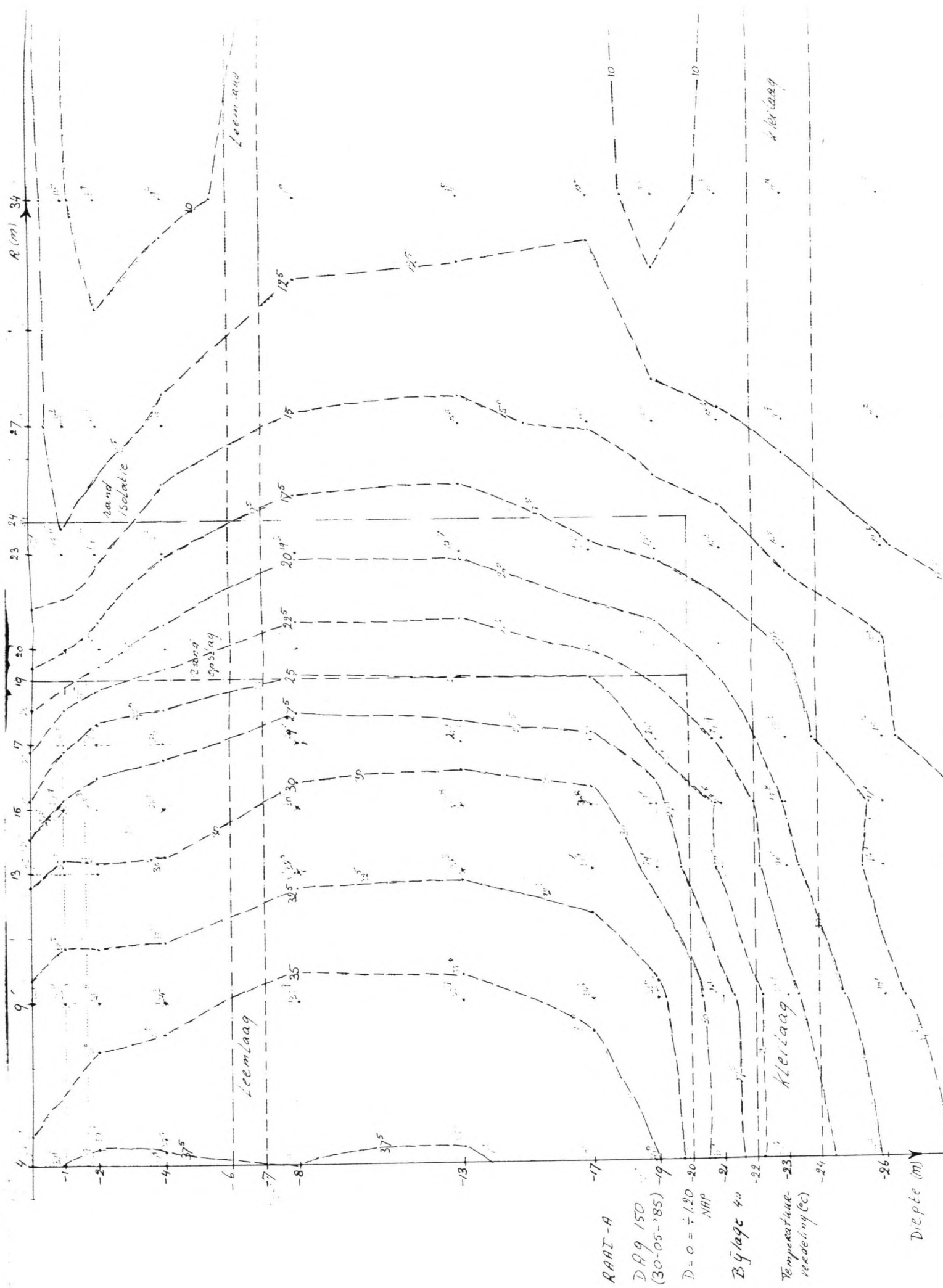


*Björge 3.7*



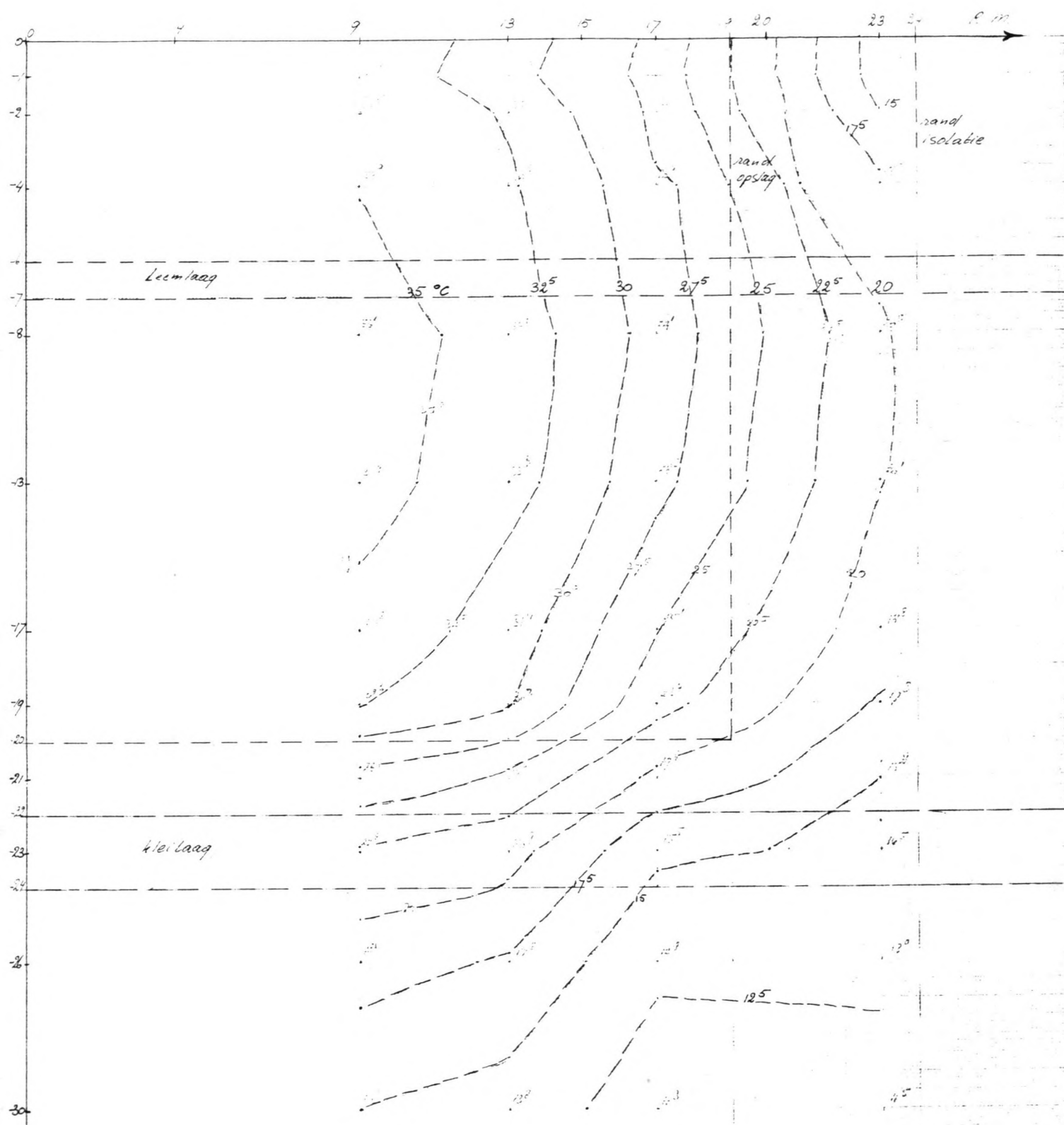
TPD  
 FIG : HEAT FLUX THROUGH TOPINSULATION (R=25 M)- YEAR 1986

By Page 3.8



RAAR-A  
 DAG 150  
 (30-05-'85) - 19  
 D = 0 = ± 1.20 - 20  
 NAPP  
 Býlage 40  
 Temperatuur (°C)  
 (rekening)

Diepte (m)



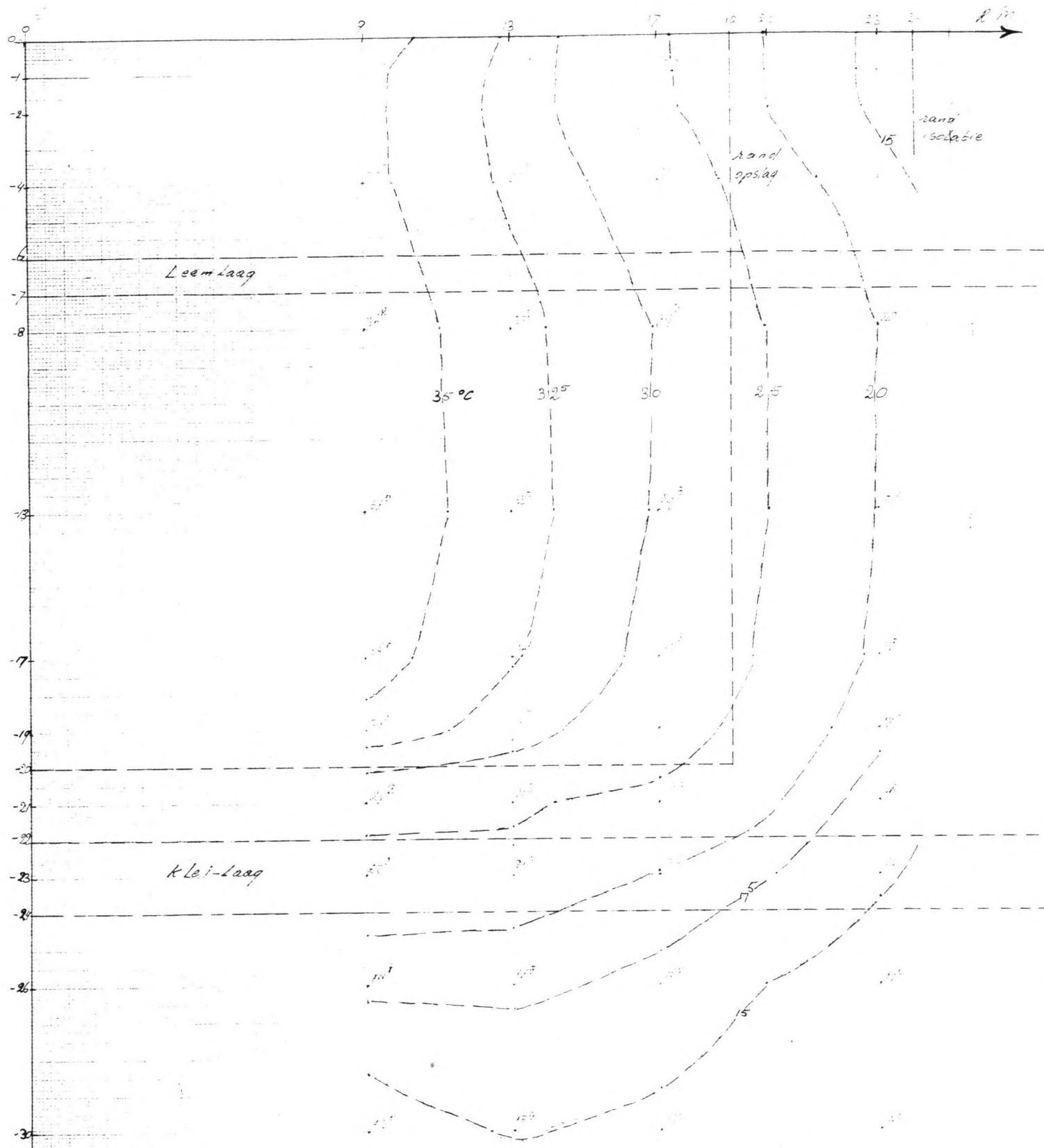
RAAI-B: Temperatuurverdeling (°C)

D = 0 = ± 1.20 m NAP

DA9 150 (30-5-85)

Bijlage 46

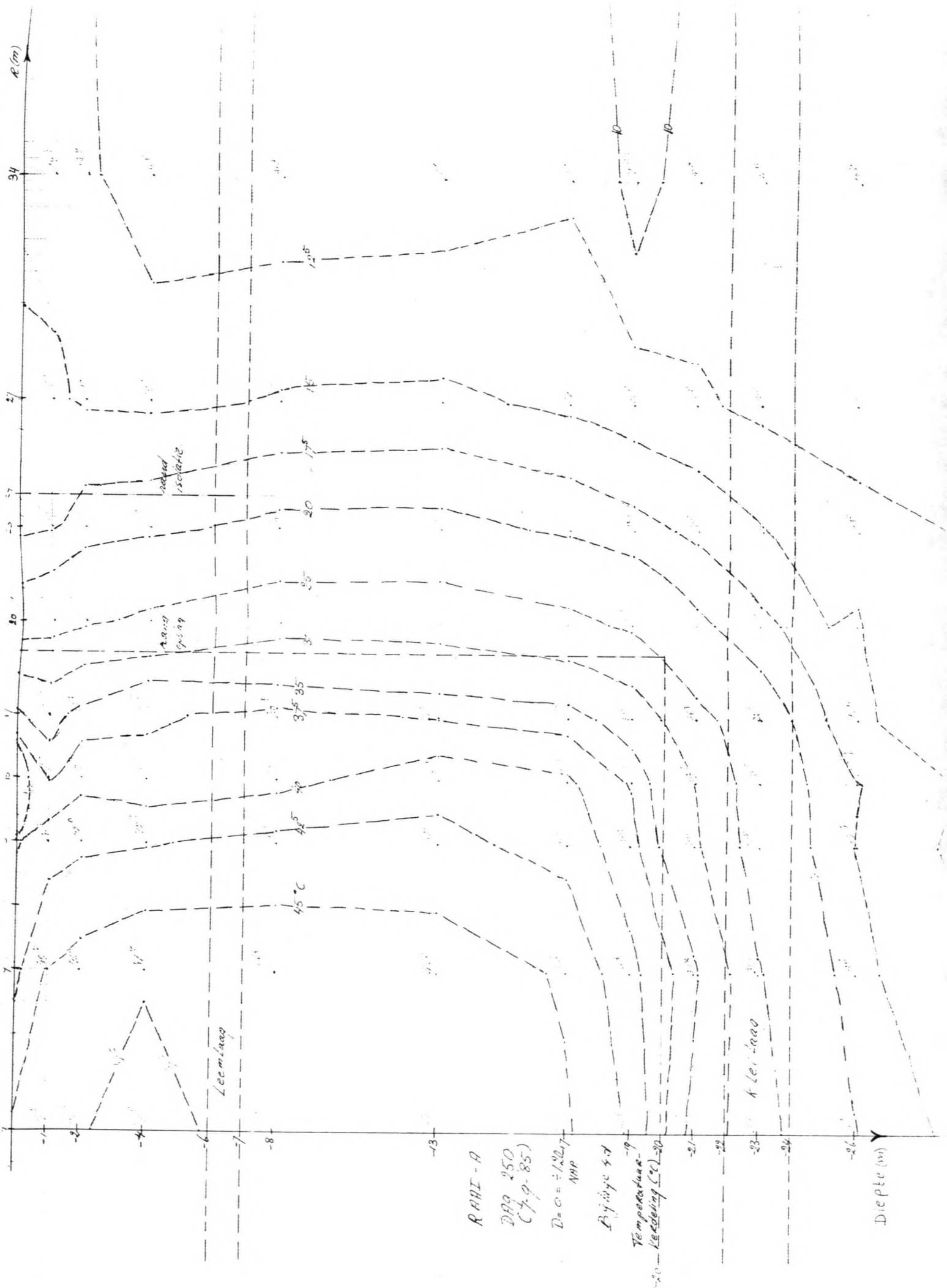
Y Diepte (m)



Diepte (m)

RAAI-C: Temperatuurverdeling (°C) D=0 = ÷ 1.20 m N.A.P.  
 DA9 150 (30-5-85)  
 Býlage 4c





RARI - A

DAG 250  
(7.9.85)

$D = 0 \div 122.7$   
NMP

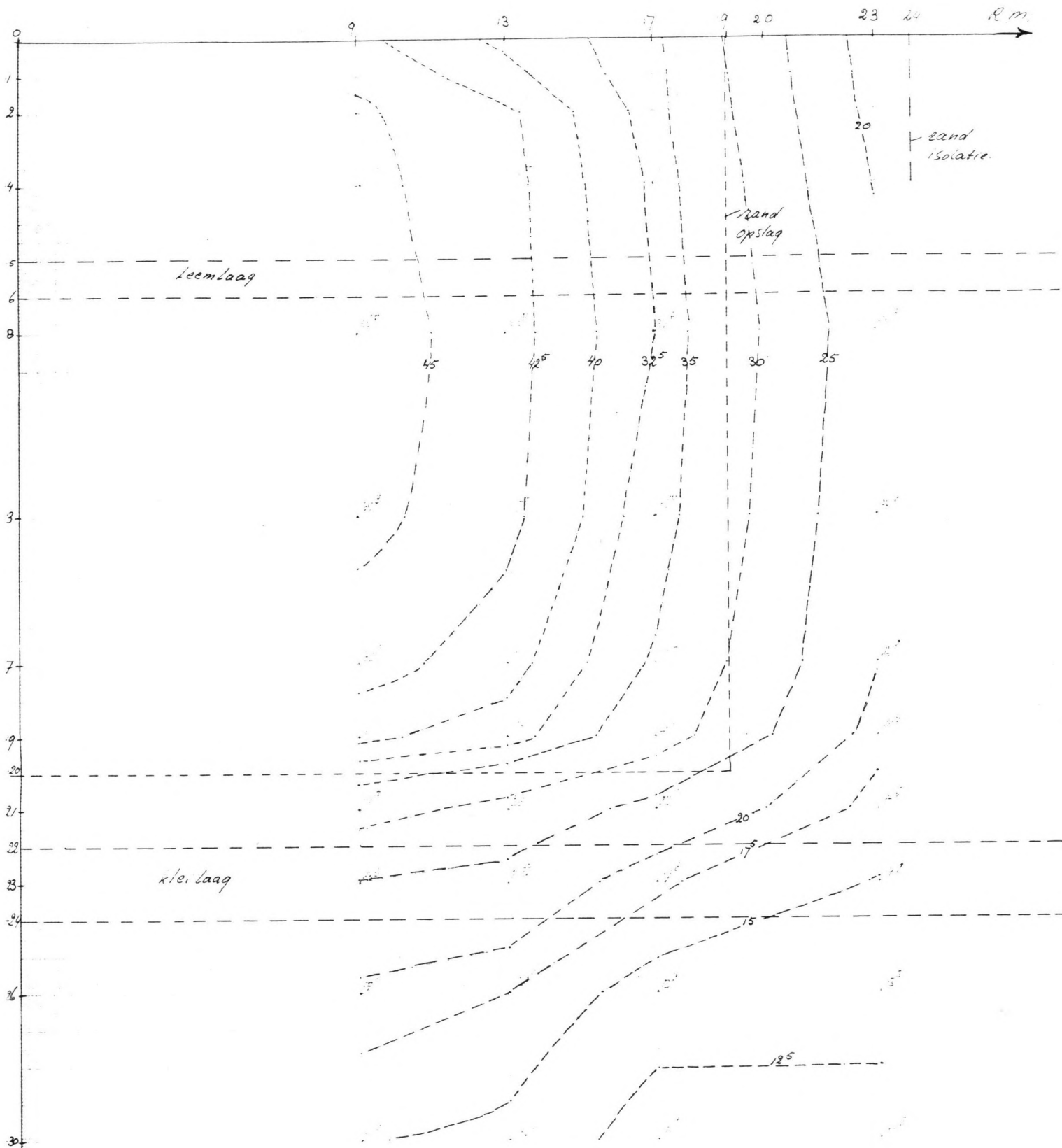
Pijp

Temperatuur

Korreling (cc)

Aloer

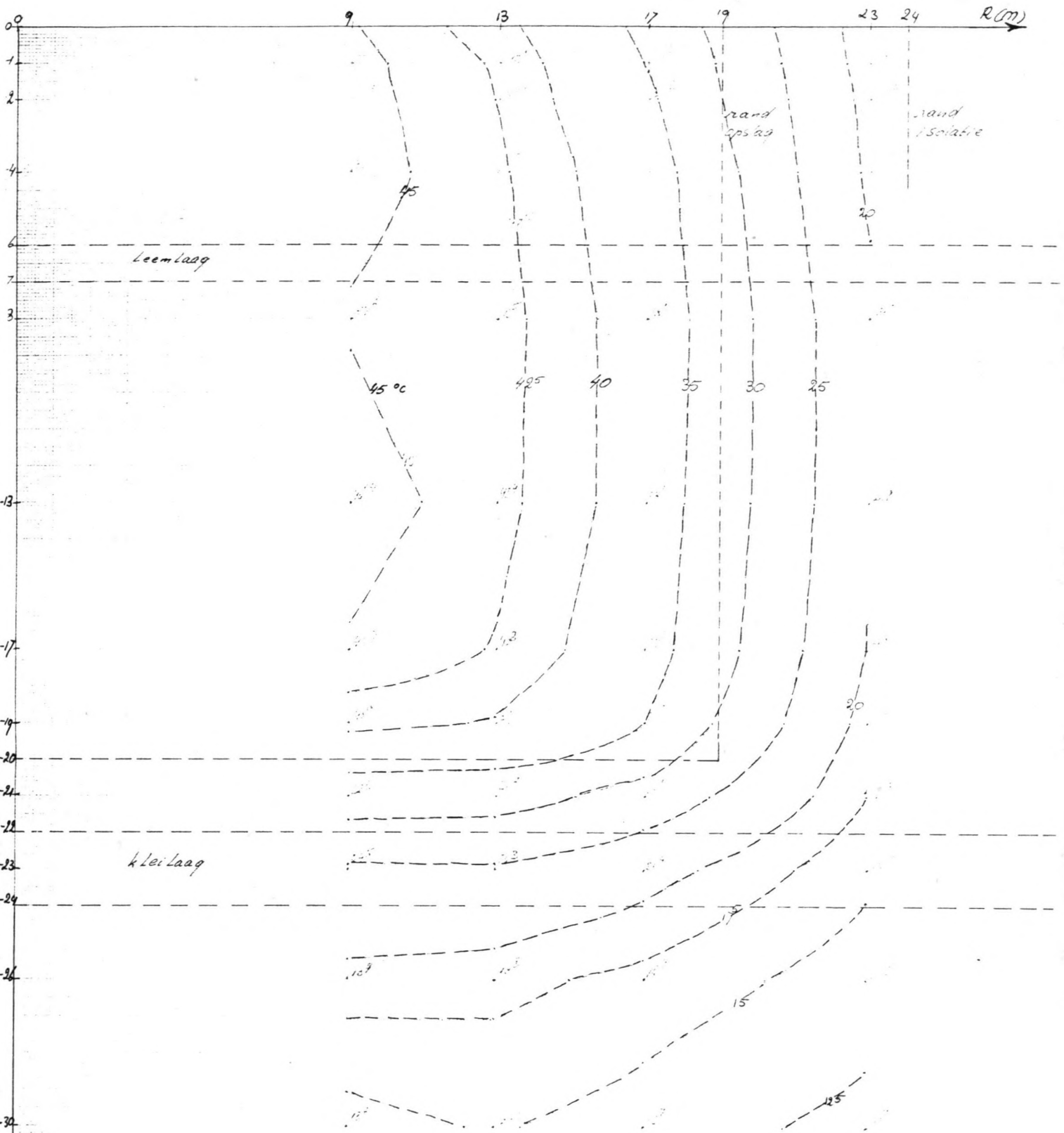
Diepte (m)



RAAI - B  
 DAG 250 (7-9-85)  
 Bijlage 4d

$D=0 = \div 1.20m$  N.A.P.

Diepte (m)

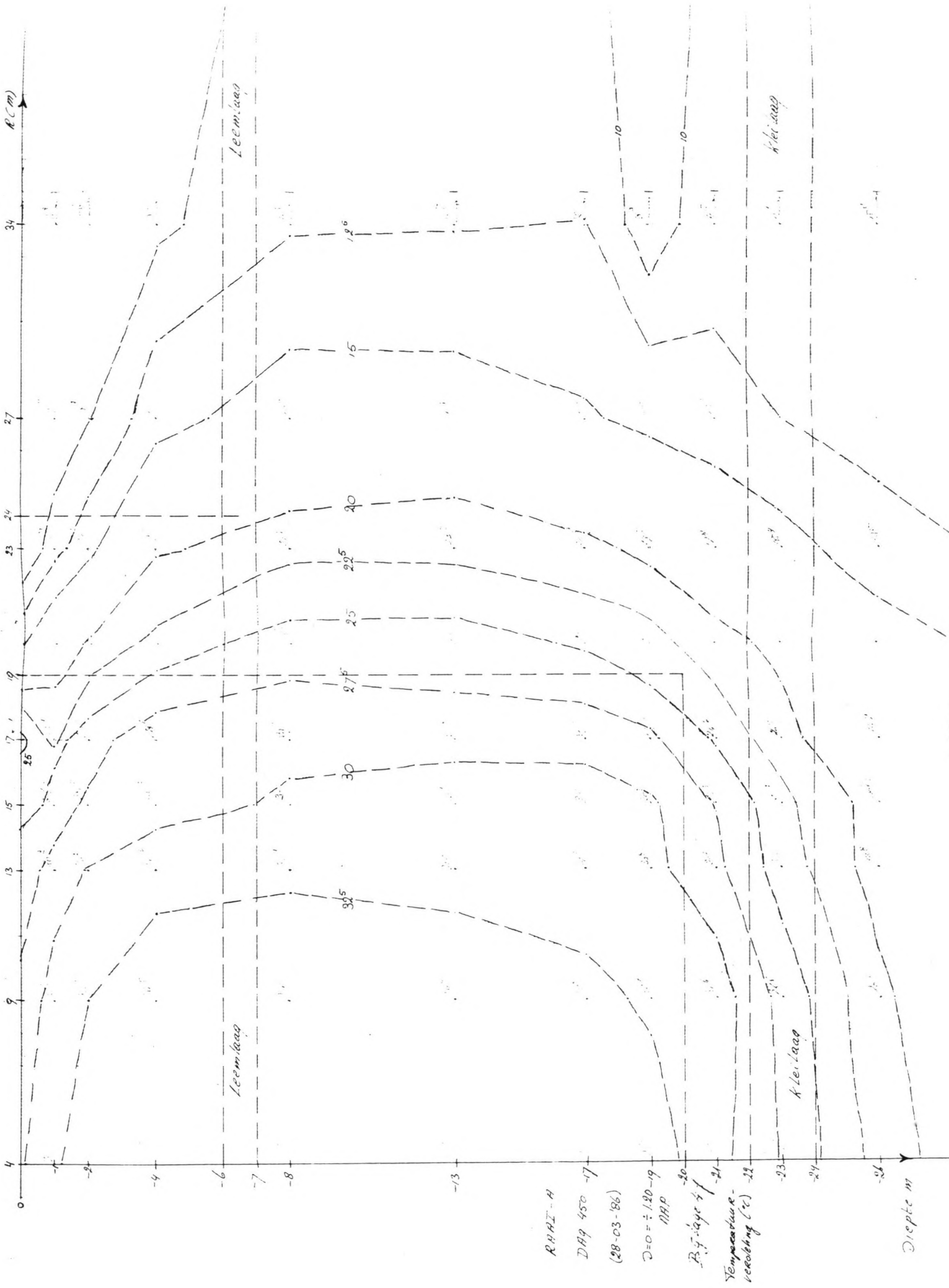


RPAI - C : Temperatuurverdeling (°C) D=0 = ÷ 1.20 m NAP

DA9 250 (7-9-85)

Bylage 4c

Diepte (m)



R.H.H.I.-H

D.H. 450-17

(28-03-'86)

D=0 ± 1.20-19

N.H.P.

B.J. 1942-4

Temperatuur-  
verandering (v)

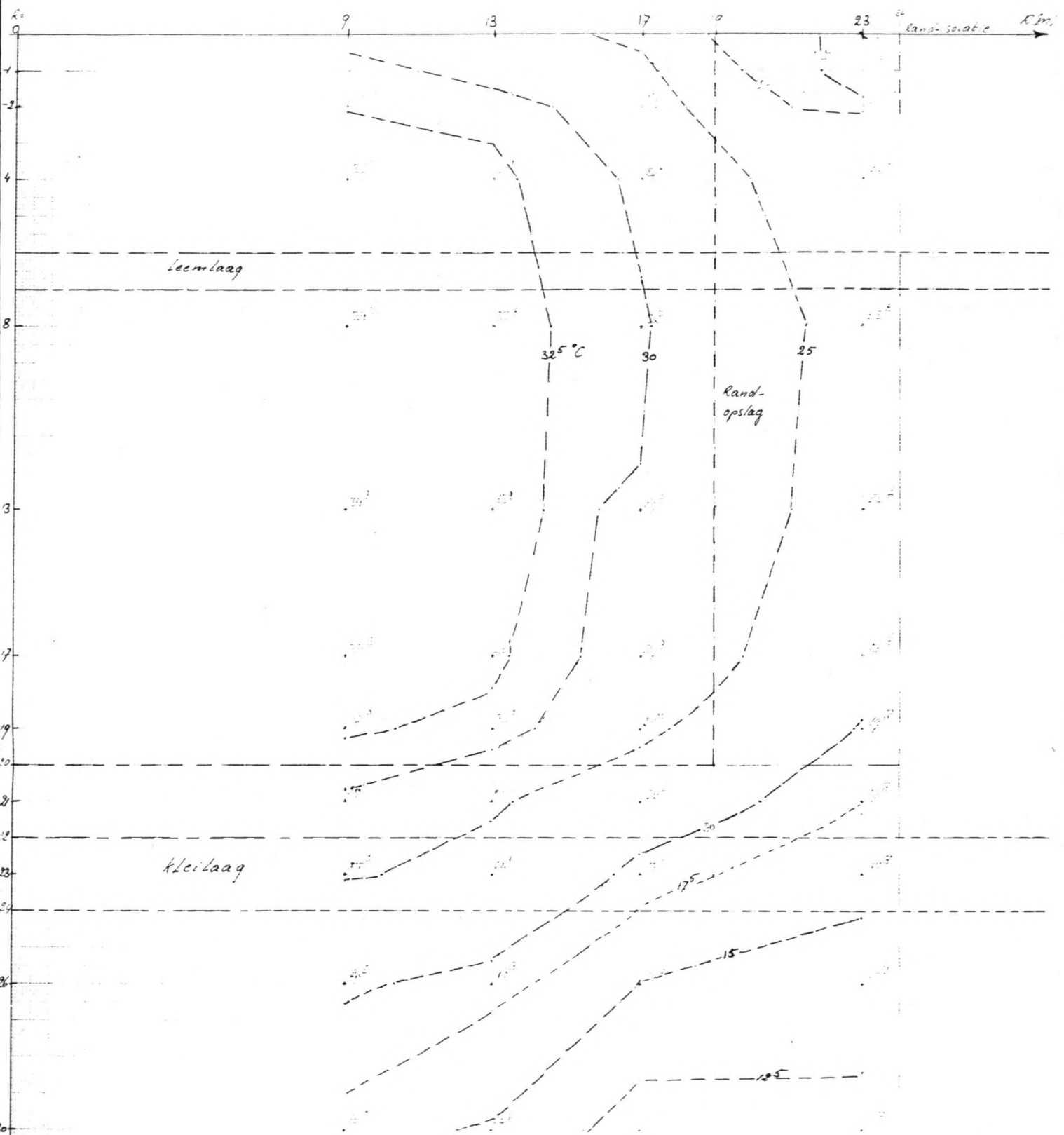
Diepte m

leemlaag

leemlaag

Kleinlaag

Kleinlaag

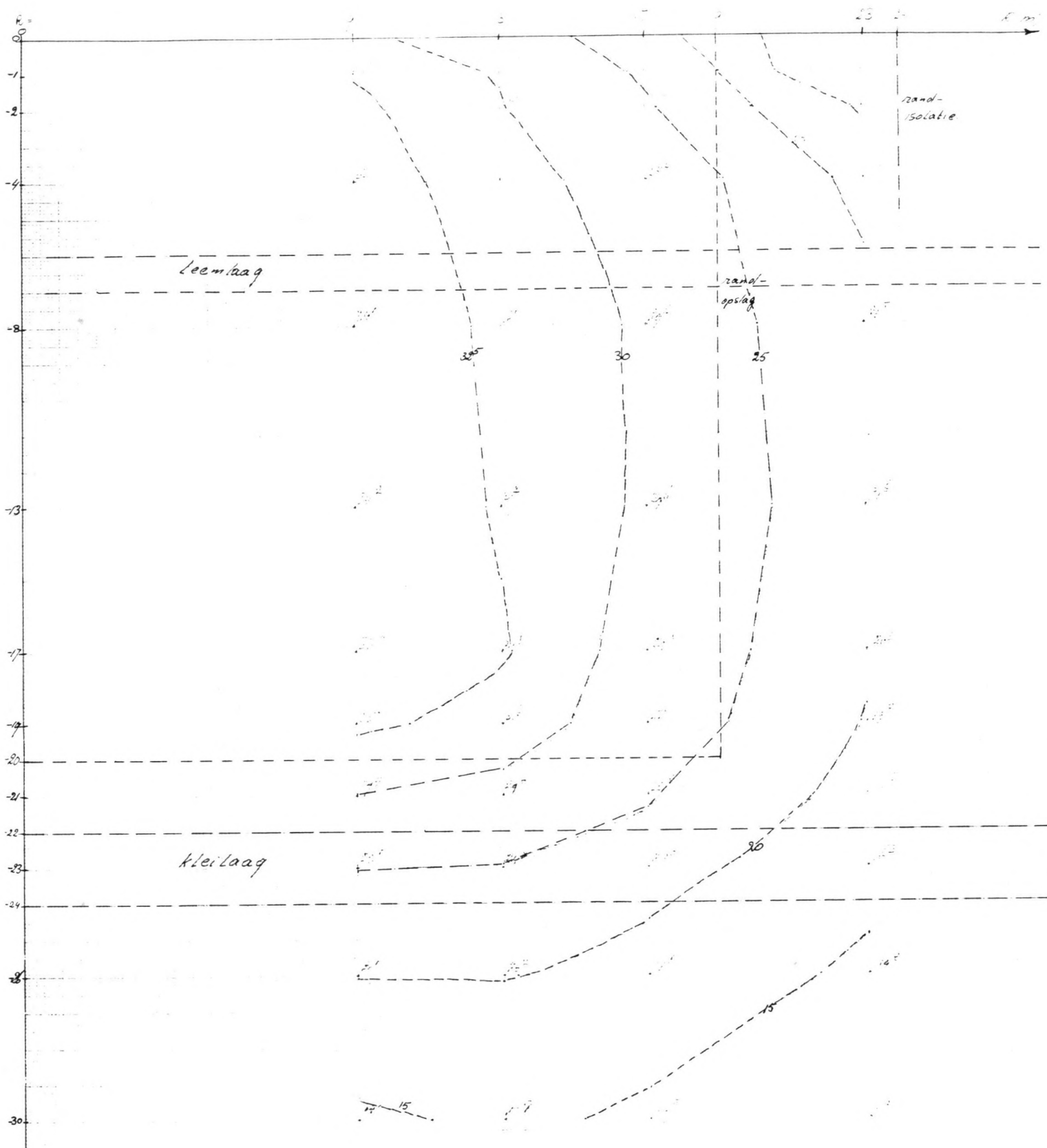


RAAI B; Temperatuurverdeling (°C)  
 DAG 450 (28-03-'86)

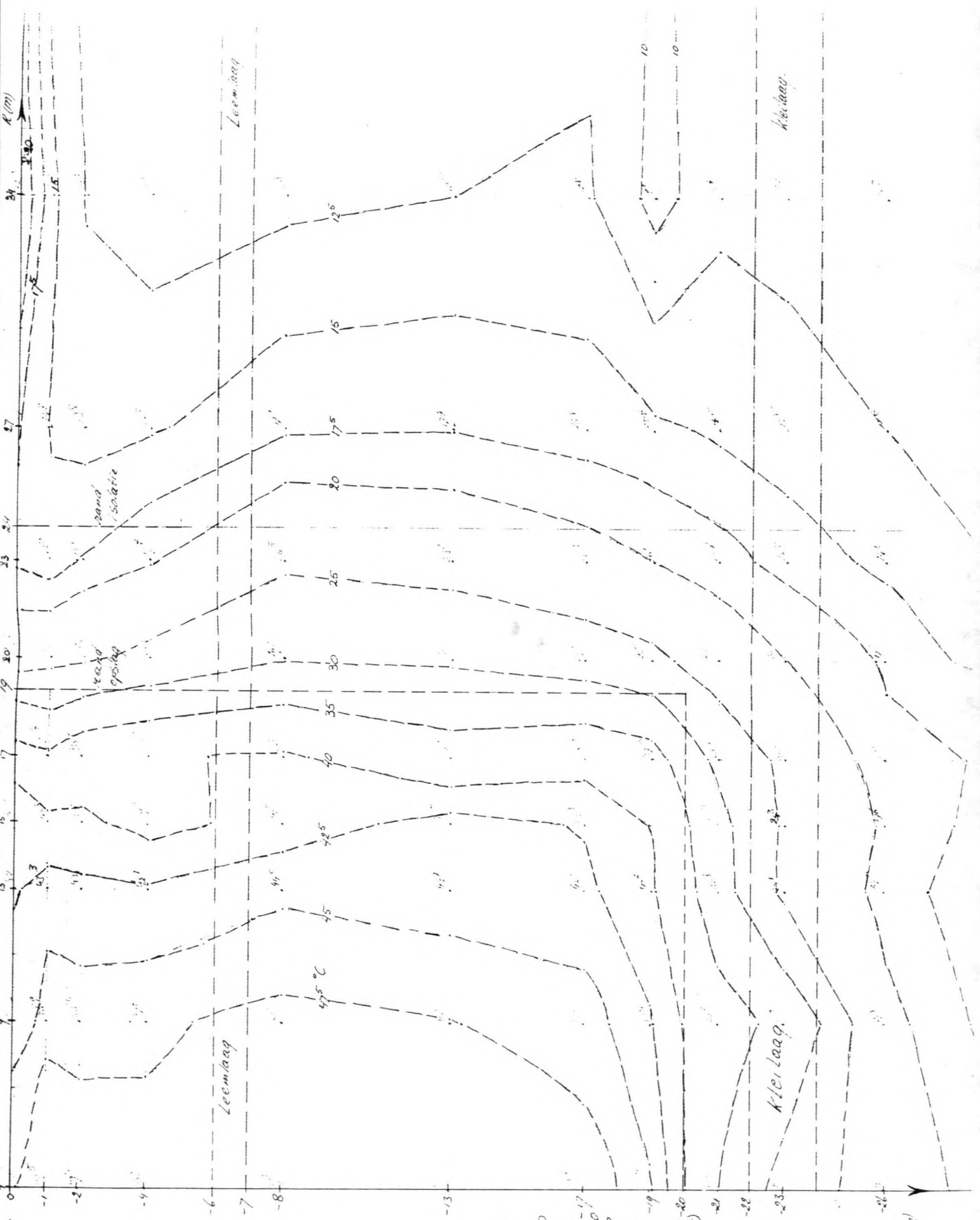
D=0 = +1.20 m NAP

Bijlage 4 g





RAAI-C: Temperatuurverdeling (°C) D = 0 = ± 1.20 m N.A.P.  
 DAG 450 (28-03-86)  
 Bijlage 4 A



RAAI - A

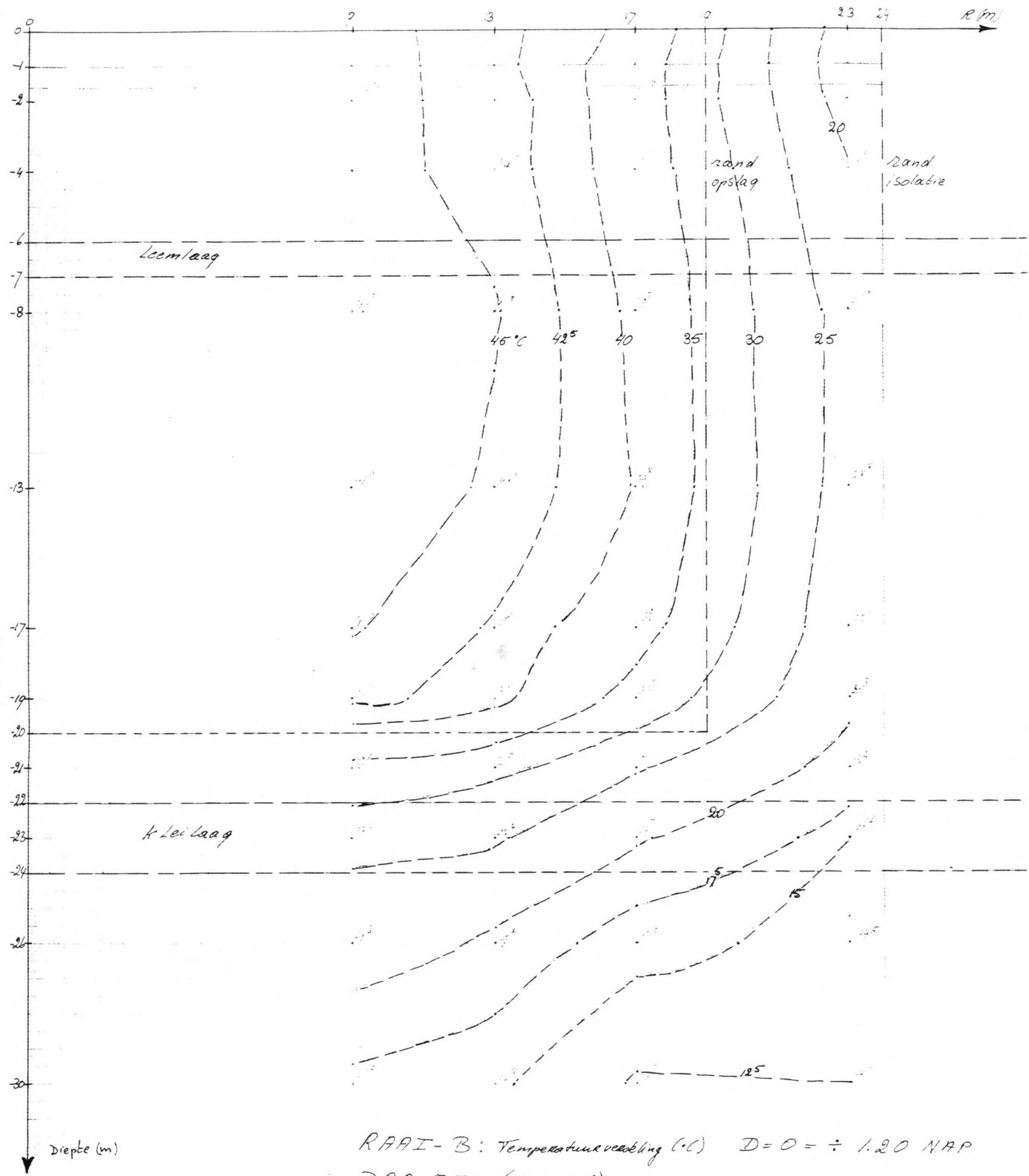
DH 9 550  
(4-7-'87)

D = 0 ± 1.20  
TAP

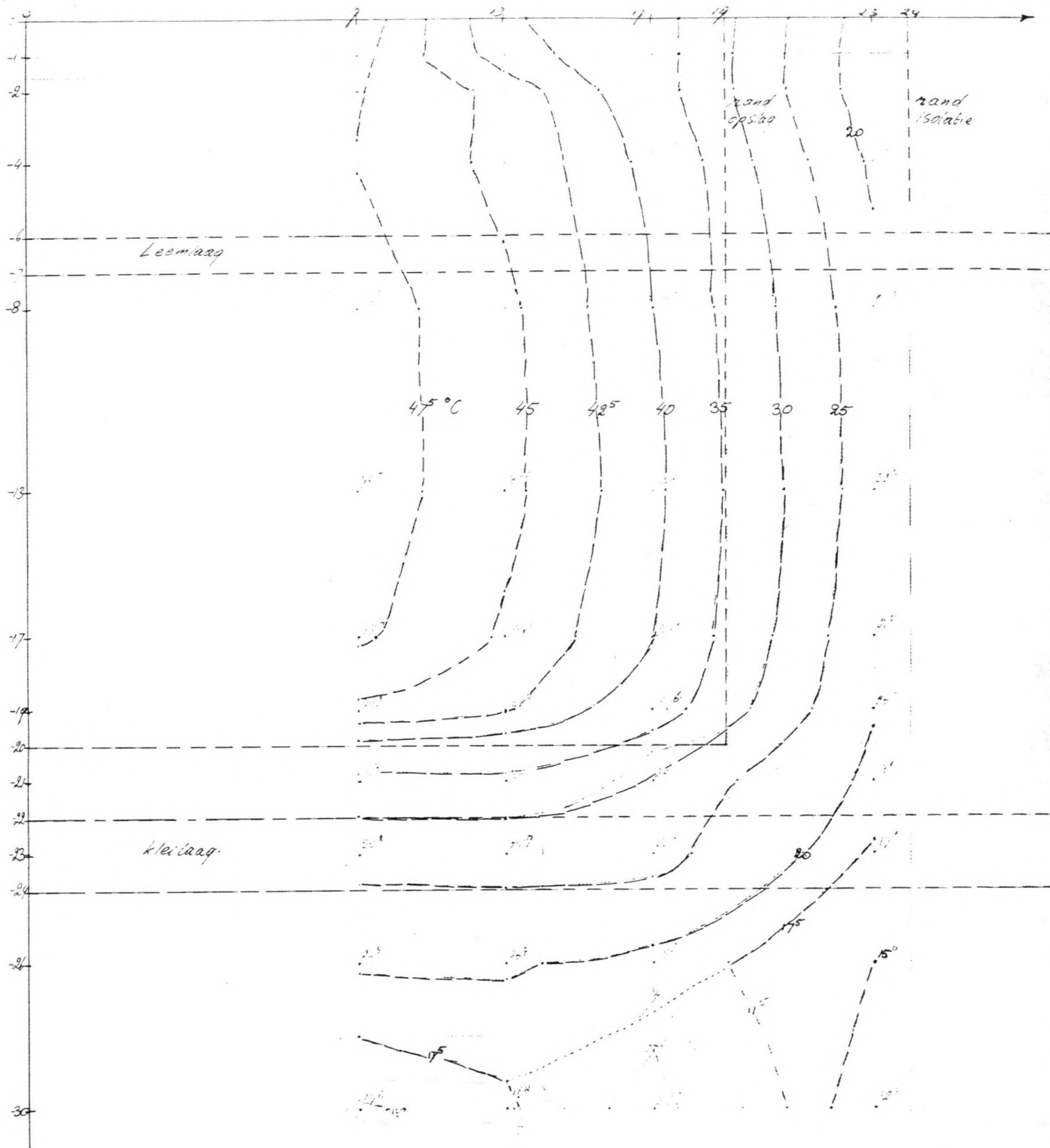
By. log 4 i -19

Temperature -20  
recording (°C)

Depth (m)



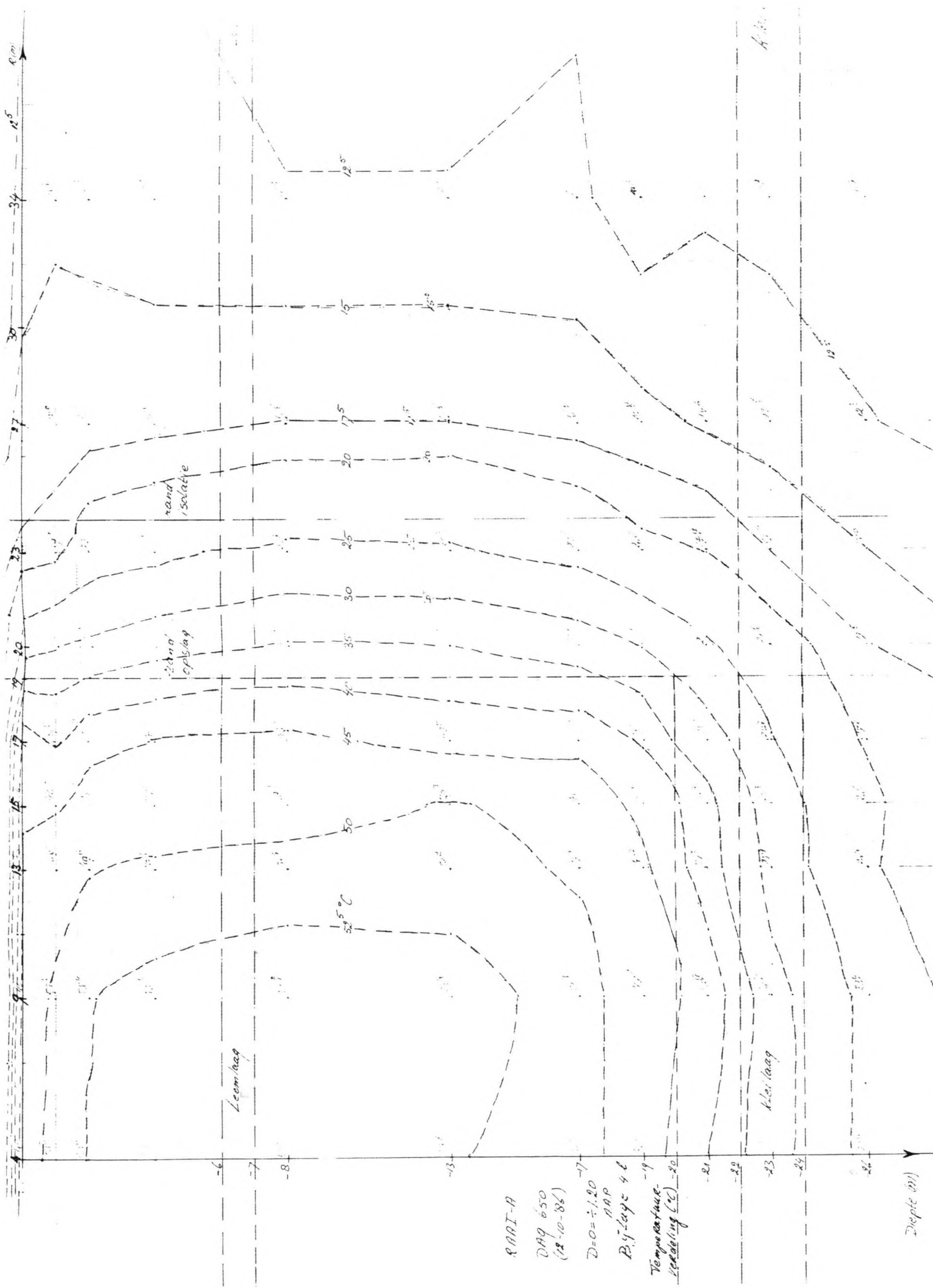
RAAI-B: Temperatuurverdeling (°C) D=0 = ÷ 1.20 NAP  
 DAG 550 (4-7 '86)  
 Bijlage 4 j



Diepte (m)

C - RAAI : Temperatuurverdeling (°C)  
 DA9 550 (4-7-'86)  
 Bijlage 4A

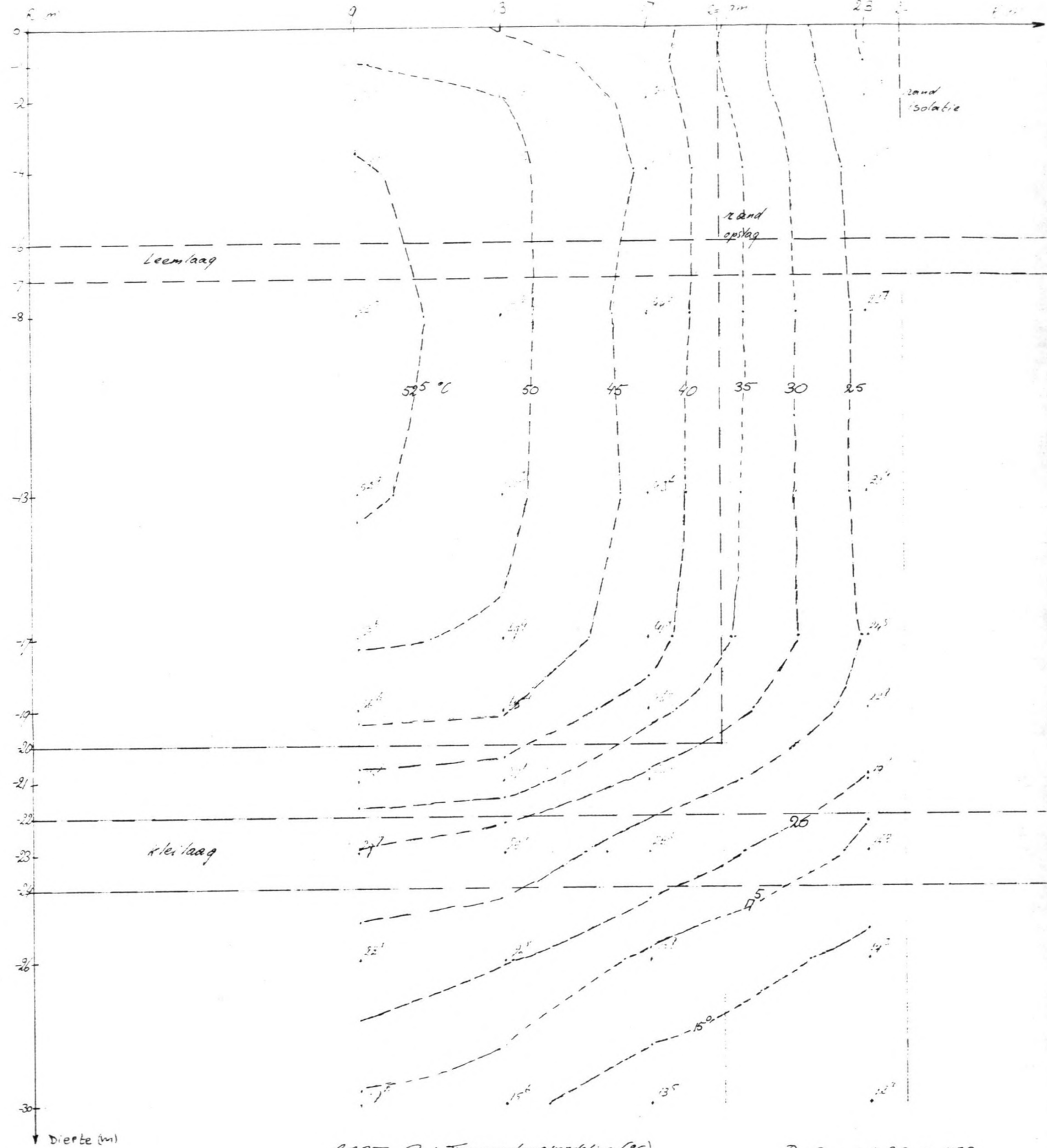
D=0 = ÷ 1.20 m NAP



RARI-A  
 DAG 650  
 (18-10-86)  
 $D=0 \div 1.20$   
 MAP  
 B.1. laag = 4 l  
 Temperature  
 recording (°C)

Diepte (m)



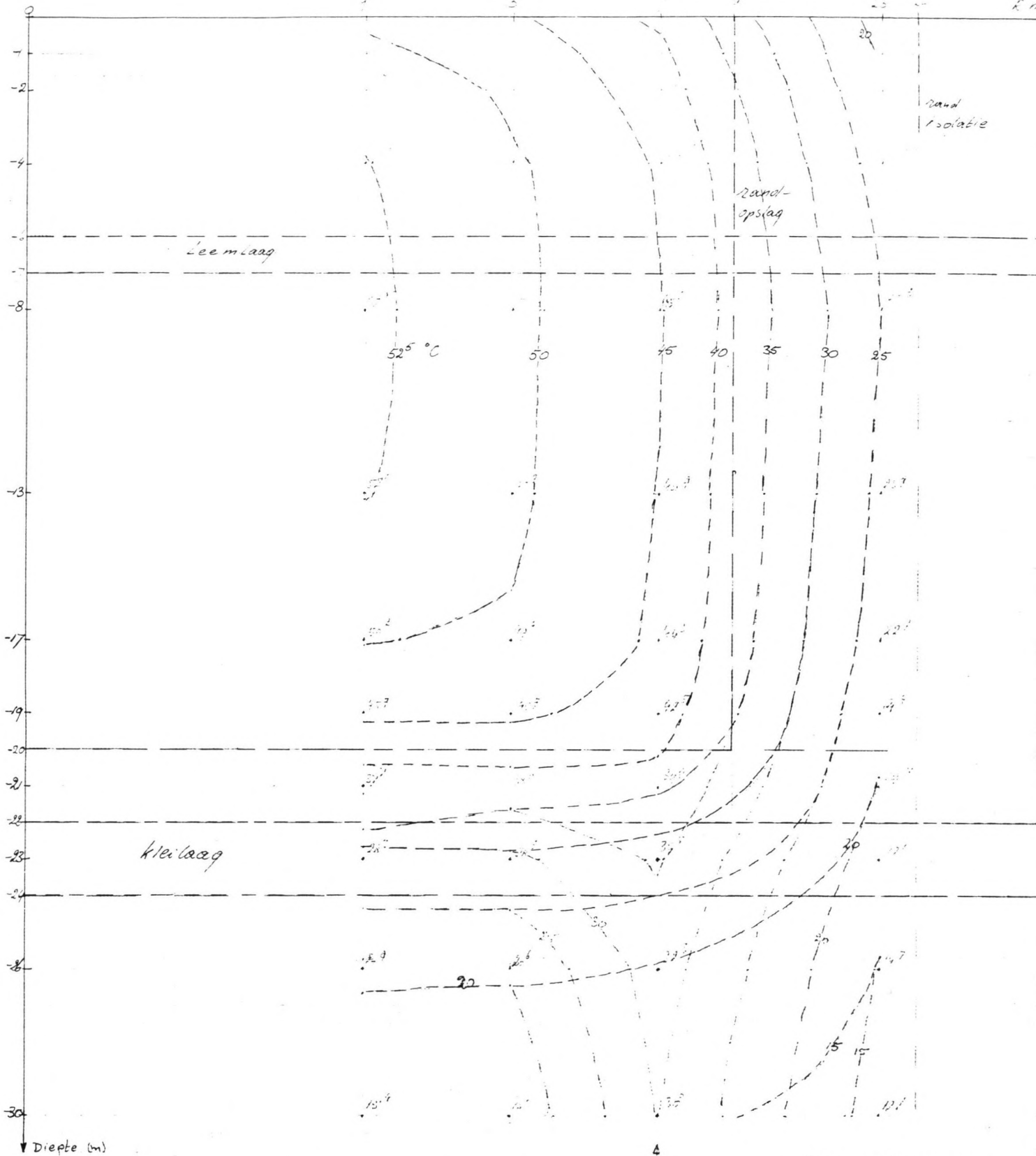


RARI-B : Temperatuurverdeling (°C)

D=0 = -1.20 m NAP

DAQ 650 (12-10-86)

Bijlage 4 m



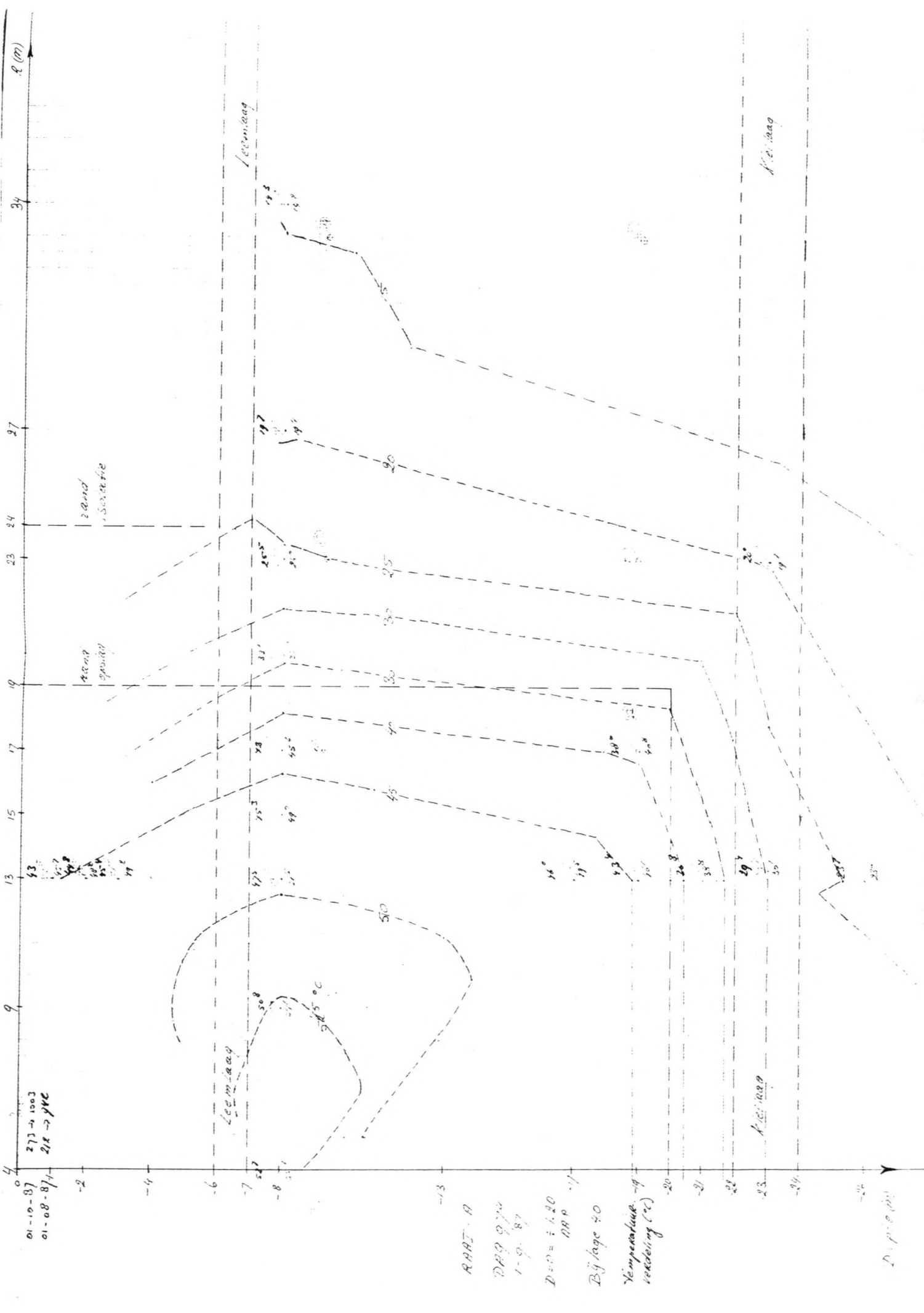
RAAI-C : Temperatuurverdeling (°C)

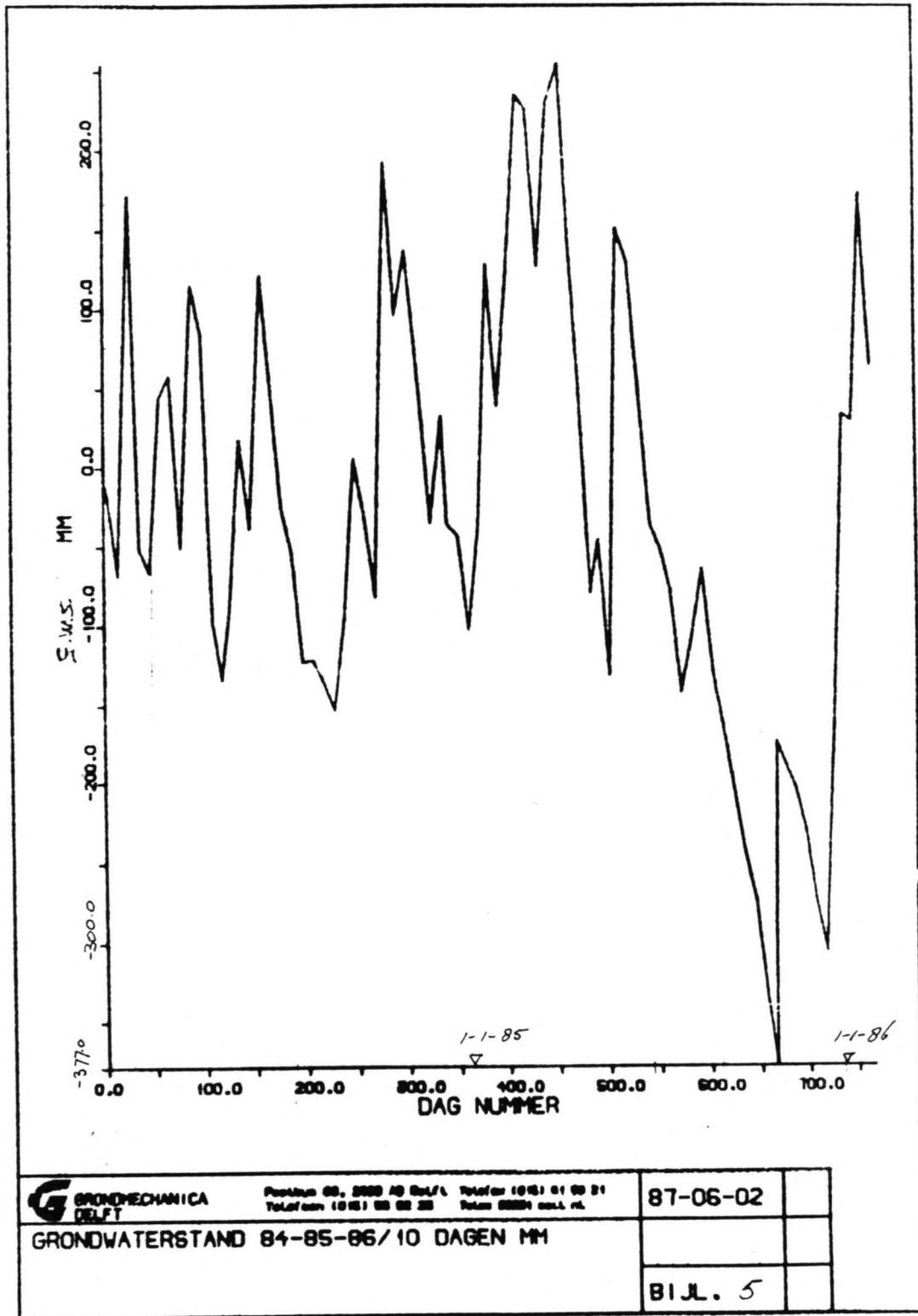
DA9 650 (12-10-86)


Bylage 4 n.

D=0 ÷ 1.20 m NAP

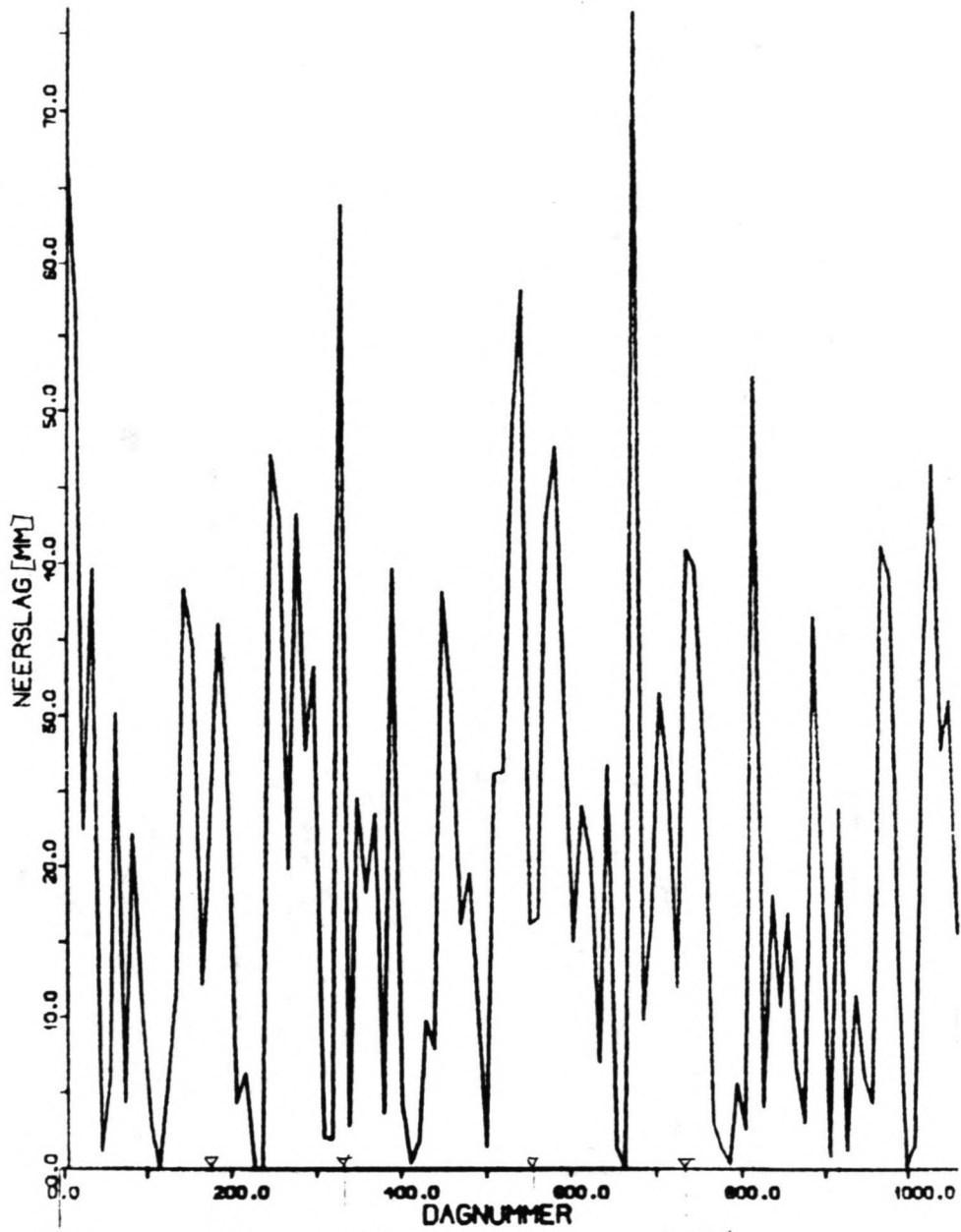
↓






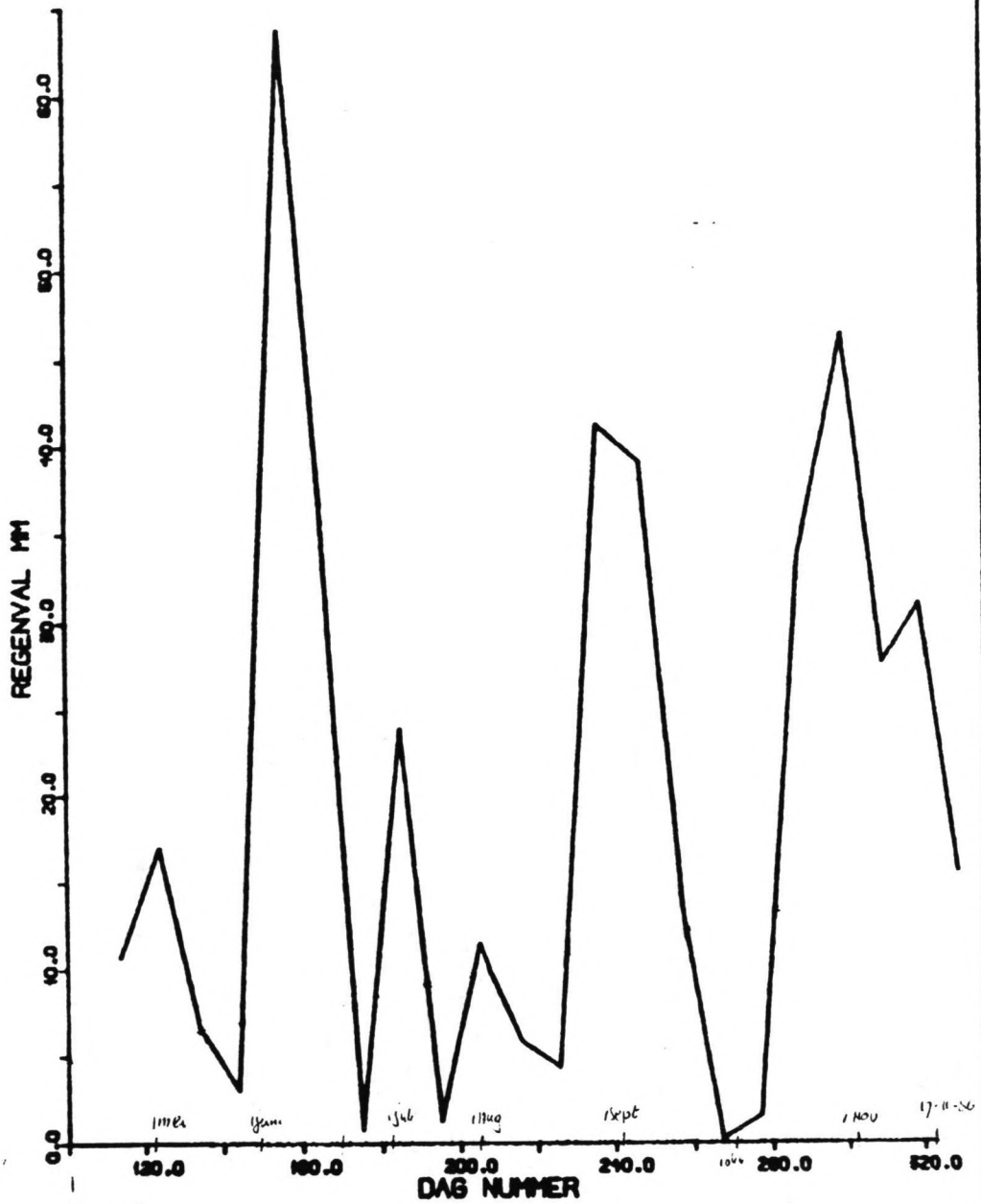
|   |                                      |  |
|---|--------------------------------------|--|
|  <b>GRONDMECHANICA DELFT</b><br>Postbus 26, 2600 AA Delft, Telefax (015) 01 99 01<br>Telefoon (015) 00 02 20, Tele 02004 0011 ext. | 87-06-02                             |  |
|   | GRONDWATERSTAND 84-85-86/10 DAGEN MM |  |
|   | BIJL. 5                              |  |

RAAI A, B, C  
 R = 23 [m]




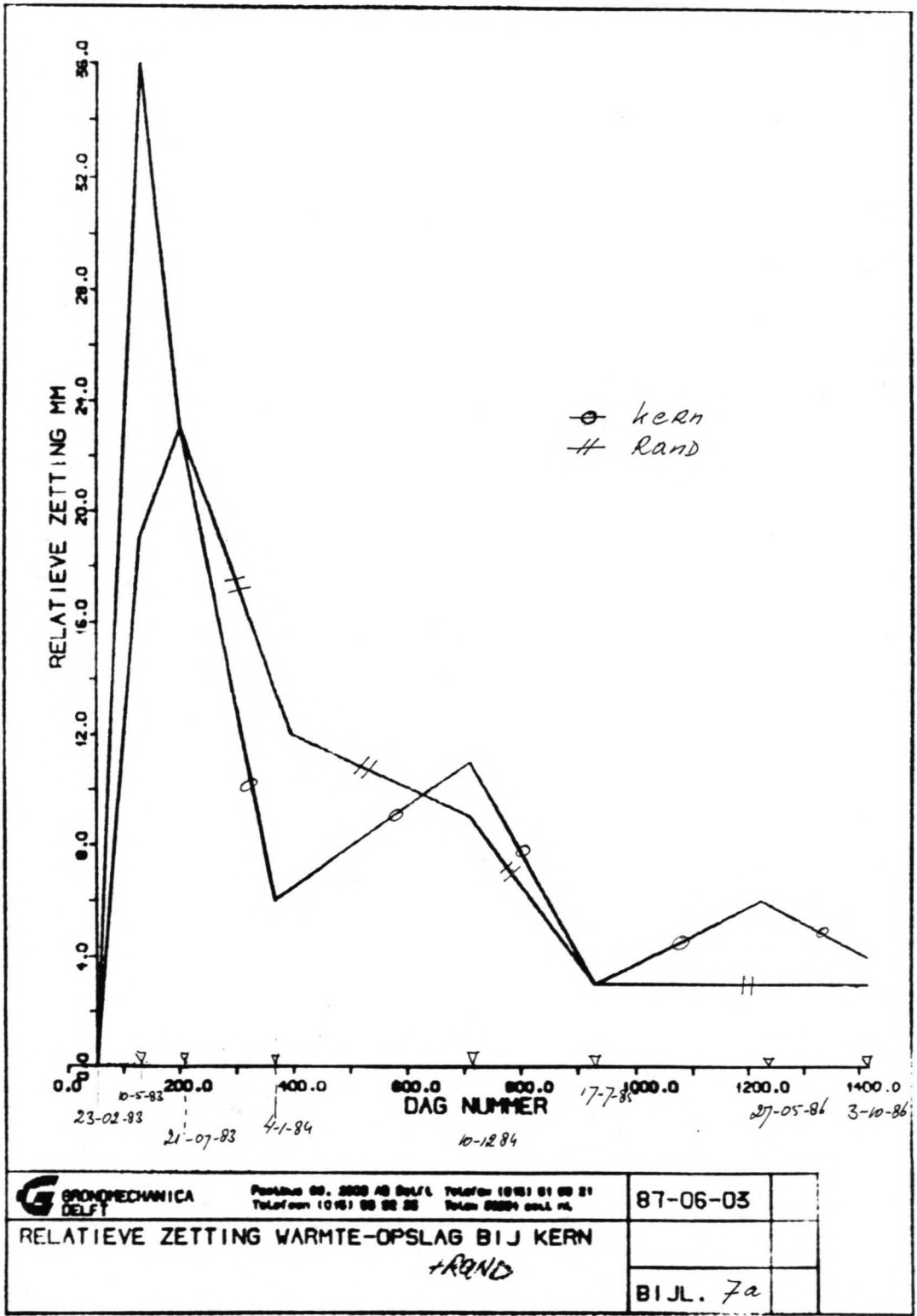
|   |  |          |  |
|---|--|----------|--|
|  <b>GRONDMECHANICA<br/>DELFT</b> | Postbus 26, 2600 AA Delft. Telefax (015) 61 60 01<br>Telefoon (015) 66 62 25 Telefax 02029 6661 r.l. | 87-06-01 |  |
|   | <b>REGENVAL 84-85-86/10 DAGEN [MM]</b>   |          |  |
|   |  | BIJL. 6  |  |






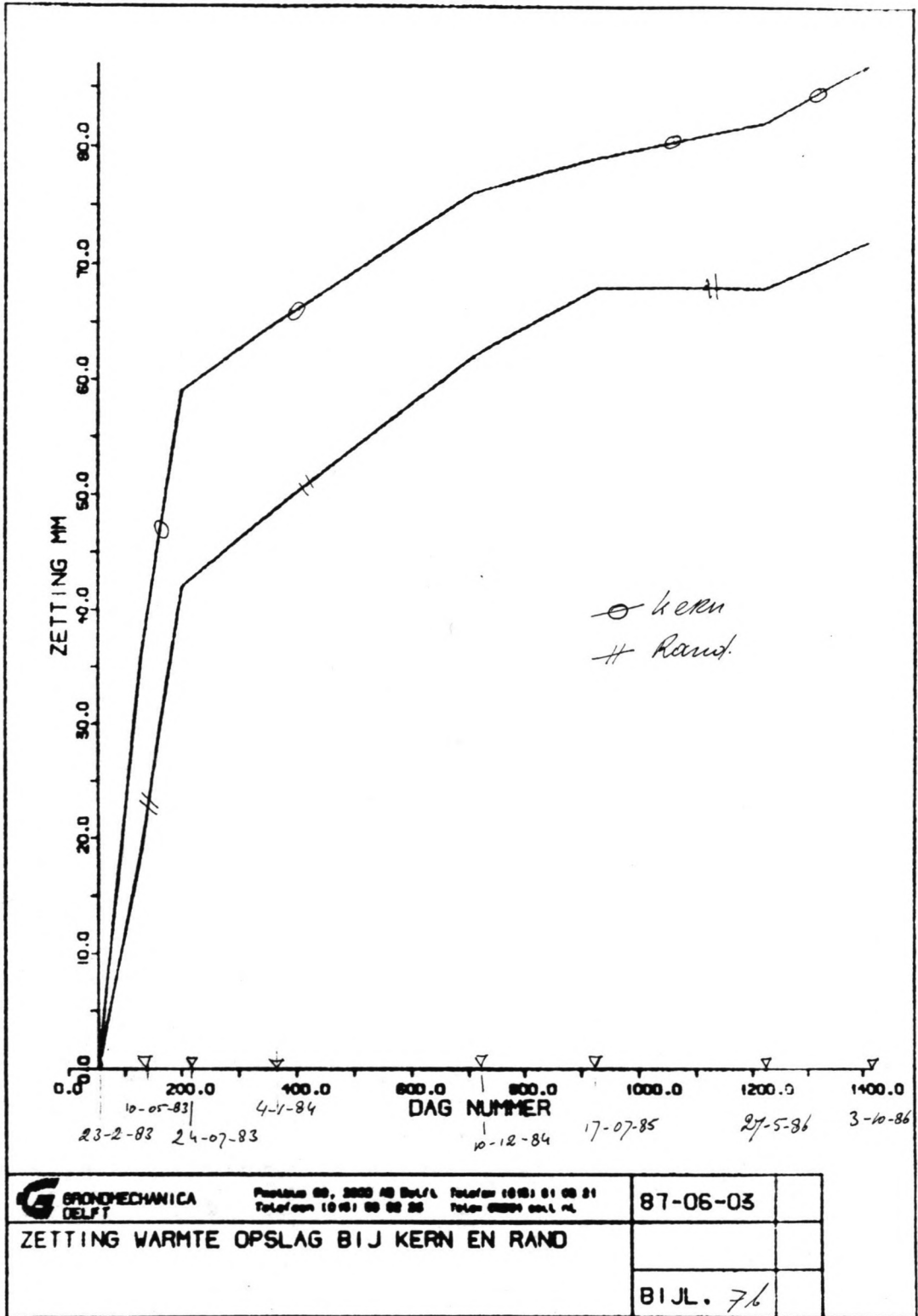
22-4-86

|  |  |          |  |
|--|--|----------|--|
|  <b>BONDMECHANICA</b><br>B.V. | Postbus 88, 2000 AB Delft<br>Telefoon (015) 66 66 88<br>Telefax (015) 61 61 81<br>Telex 88881 and. nl. | 87-06-26 |  |
|  | REGEN 24-4-86 TOT 24-11-86   |          |  |
|  |  | BIJL. 6a |  |



|   |          |
|---|----------|
|  <b>GRONDMECHANICA DELFT</b><br>Postbus 26.200 4826 BA Delft<br>Telefoon (015) 26 26 26 Telefax (015) 26 26 21 | 87-06-03 |
|   | BIJL. 7a |

RELATIEVE ZETTING WARMTE-OPSLAG BIJ KERN  
+RAND



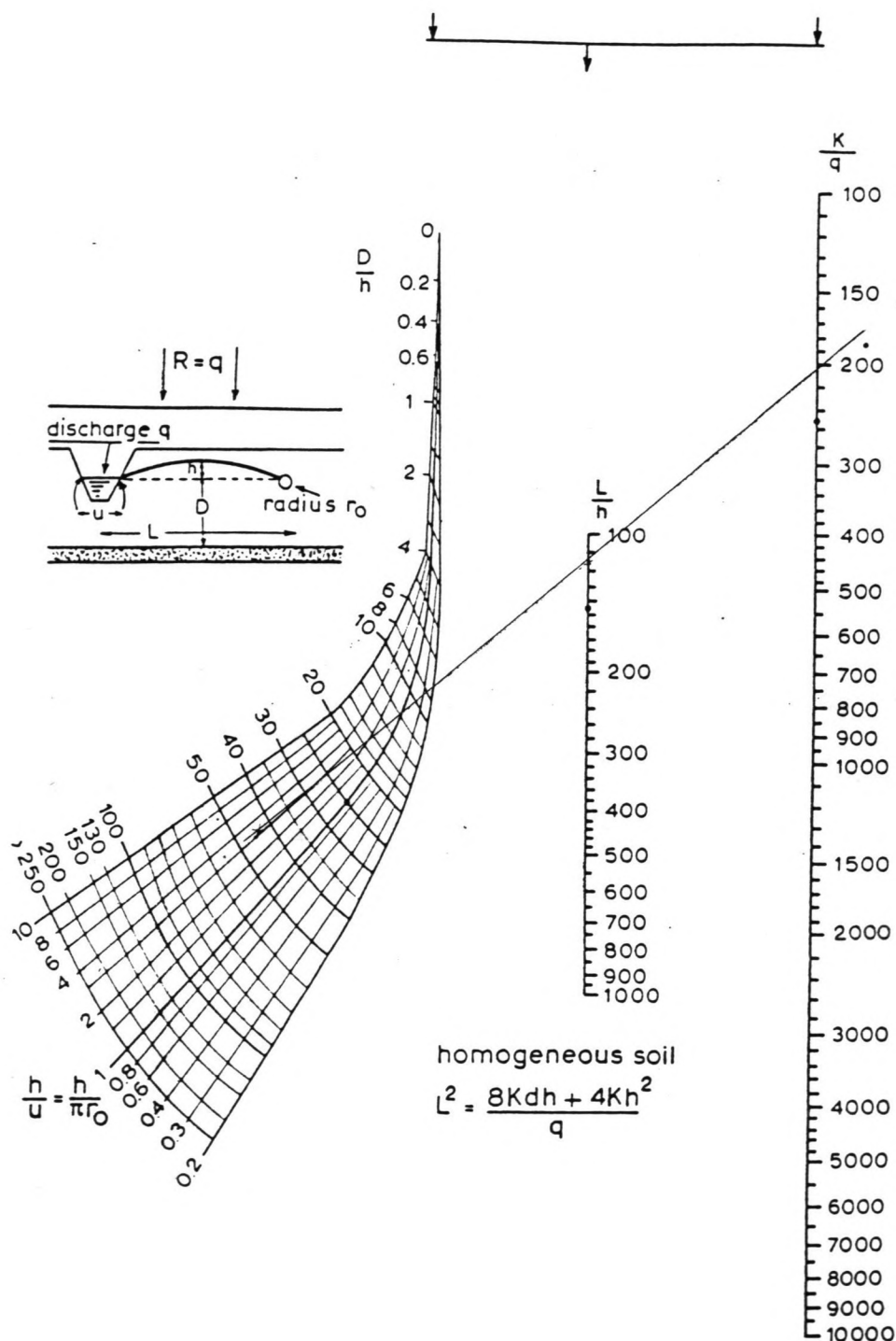
**G** GRONDMECHANICA  
DELFT

Postbus 89, 2600 AB Delft. Telefax (015) 81 88 81  
Telefoon (015) 88 88 88 Tele 02049 881 81

87-06-03

ZETTING WARMTE OPSLAG BIJ KERN EN RAND

BIJL. 7/6



*Bijlage 8:* Nomogram voor de bepaling van de drainafstand voor  $L/h > 100$   
 (Boumans, 1963)

Deze norm is opgesteld door commissie 65 (Fysisch en chemisch onderzoek van drinkwater).

Verwarm gedurende 2 uren of zoveel langer als nodig is om het neerslag geheel te laten bezinken; draag daarbij zorg, dat de oplossing juist niet kookt.

- Filtreer door een fijn asvrij filter en was uit met heet water totdat het filtraat met zilvernitraat nog slechts een zeer zwakke troebeling geeft. - Breng het filter met neerslag in een tevoren gegloeide en gewogen kroes (gewicht  $g_0$  mg) en droog het, hetzij in een droogstoof, hetzij boven een kleine vlam. Veras het filter volledig bij zo laag mogelijke temperatuur, laat afkoelen, bevochtig het residu met enkele druppels zwavelzuur, rook het zwavelzuur af en gloei daarna gedurende 1 uur op 800 °C. Weeg na afkoelen in een exsiccator (g mg).

#### 6. Berekening

Bereken het gehalte aan sulfaat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) uit:

$$\text{SO}_4^{2-} = 0,4115 \cdot \frac{g - g_0}{v} \cdot 1000 = 411,5 \cdot \frac{g - g_0}{v} \text{ mg per l}$$

of

$$\text{SO}_4^{2-} = \frac{0,4115}{48} \cdot \frac{g - g_0}{v} \cdot 1000 = 8,57 \cdot \frac{g - g_0}{v} \text{ meq per l}$$

waarin:

$g$  = het gewicht van de kroes met bariumsulfaat, in mg

$g_0$  = het gewicht van de lege kroes, in mg

$v$  = de in bewerking genomen hoeveelheid water, in ml.

#### 7. Verslag

Geef het sulfaatgehalte op tot op 0,1 mg/l c.q. 0,01 meq/l.

#### 8. Opmerkingen

8.1 Verwijder nitraat, indien in het analysemonster meer dan 5 mg aanwezig is, door indampen met zoutzuur.

8.2 Indien de vloeistof niet helder is, filtreer dan door een fijn filter en was dit uit met 75 ml heet water.

8.3 Deze norm komt overeen met NEN 3130  $\text{SO}_4^{2-}$ -1 Methodes voor de analyse van water in het ketelbedrijf. Gravimetrische bepaling van het gehalte aan sulfaat.

De normen en de catalogus van normen, alsmede inlichtingen hierover en over de normalisatie in het algemeen, zijn verkrijgbaar bij het Nederlands Normalisatie-instituut, Polakweg 5, Rijswijk (ZH) telefoon (070) 90 68 00\*, postrekening 25 301.

### NEDERLANDS NORMALISATIE-INSTITUUT

#### 1. Doel en toepasbaarheid

Deze norm beschrijft een methode voor de bepaling van het gehalte aan sulfaat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) in hoeveelheden van ten minste 5 en ten hoogste 25 mg. Fosfaat ( $> 5$  mg), grotere hoeveelheden kiezelzuur (zie 4) en nitraat (zie 8.1) storen de bepaling.

#### 2. Beginsel

Het sulfaat wordt met bariumchloride neergeslagen in hete, verdunde oplossing, afgefilterd, gegloeid en gewogen als bariumsulfaat.

#### 3. Reagentia en hulpstoffen

Methyloranje 0,5 g/l.

Bariumchlorideoplossing, 100 g  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  per l.

Zoutzuur 1 m.

Zwavelzuur 2 m.

Ammonia 1 m.

( $\text{Na}_2\text{EDTA}$ )-oplossing 0,1 m, 38 g  $\text{Na}_2\text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  per l.

Zilvernitraat 0,1 m.

#### 4. Analysemonster

Ga uit van een hoeveelheid water ( $v$  ml) die 5 tot 25 mg sulfaat bevat. Indien het water meer kiezelzuur bevat dan 5% van het te verwachten sulfaatgehalte, moet het kiezelzuur worden verwijderd.

Ga in dit geval uit van het filtraat van de gravimetrische bepaling van het gehalte aan kiezelzuur (zie NEN 1056 IV.4 Siliciumdioxide).

#### 5. Werkwijze

Breng het analysemonster in een bekeerglas van 600 ml en breng, hetzij door indampen, hetzij door verdunnen met gedestilleerd water, het volume op ca. 250 ml. Voeg toe 5 druppels methyloranje, neutraliseer de vloeistof met zoutzuur of met ammonia en voeg toe 10 ml zoutzuur. Voeg toe 4 ml  $\text{Na}_2\text{EDTA}$ -oplossing. Verhit het aldus voorbehandelde analysemonster, kook gedurende 5 min (zie 8.2) en voeg toe 5 ml bariumchlorideoplossing in ongeveer 5 seconden, onder sterk roeren.

Sulfaat, gravimetrisch

NEN 1056  
IV.5

Physical and chemical tests for drinking-water.  
Sulfate, gravimetric

september 1966

Auteursrechten voorbehouden

UDC 543.3



.....  
GEMIDDELDDE JAARENTEMPERATUUR °C : 11,70298  
GEMIDDELDDE JAARENENERGIE GEBIED MJ: 2.572359E+08  
GEMIDDELDDE JAARENENERGIE GEBIED MW.H: 70065.52  
JAARENENERGIE GEBIED MJ/M3: .2135641  
JAARENENERGIE GEBIED MJ/M3: 768.3306  
JAARENENERGIE OPSLAGGEBIED MW.H: 4844.06  
JAARENENERGIE OPSLAGGEBIED MJ: 1.743861E+07

'85

.....  
GEMIDDELDDE GEM. DAGTEMPERATUUR °C : 150.3754  
GEMIDDELDDE JAARENTEMPERATUUR °C: 12.53295  
GEMIDDELDDE JAARENENERGIE GEBIED MJ: 2.529278E+08  
GEMIDDELDDE JAARENENERGIE GEBIED MW.H: 70257.66  
JAARENENERGIE GEBIED MJ/M3: .2141497  
JAARENENERGIE GEBIED MJ/M3: 770.939  
JAARENENERGIE OPSLAGGEBIED MW.H: 4657.344  
JAARENENERGIE OPSLAGGEBIED MJ: 1.748644E+07

'86

.....  
GEMIDDELDDE GEM. DAGTEMPERATUUR °C : 130.6934  
GEMIDDELDDE JAARENTEMPERATUUR °C: 13.06934  
GEMIDDELDDE JAARENENERGIE GEBIED MJ: 2.534027E+08  
GEMIDDELDDE JAARENENERGIE GEBIED MW.H: 70389.65  
JAARENENERGIE GEBIED MJ/M3: .214552  
JAARENENERGIE GEBIED MJ/M3: 772.3875  
JAARENENERGIE OPSLAGGEBIED MW.H: 4645.469  
JAARENENERGIE OPSLAGGEBIED MJ: 1.751909E+07

'87

### Blok 0

.....  
GEMIDDELDDE GEM. DAGTEMPERATUUR °C : 361.8055  
GEMIDDELDDE JAARENTEMPERATUUR °C: 30.15045  
GEMIDDELDDE JAARENENERGIE GEBIED MJ: 1.856565E+07  
GEMIDDELDDE JAARENENERGIE GEBIED MW.H: 5157.124  
GEMIDDELDDE JAARENENERGIE GEBIED MJ/M3: 810.5963 ; MW.H/M3: .2273629

'85

.....  
GEMIDDELDDE GEM. DAGTEMPERATUUR °C : 427.217  
GEMIDDELDDE JAARENTEMPERATUUR °C: 35.69142  
GEMIDDELDDE JAARENENERGIE GEBIED MJ: 1.887943E+07  
GEMIDDELDDE JAARENENERGIE GEBIED MW.H: 5249.805  
GEMIDDELDDE JAARENENERGIE GEBIED MJ/M3: 803.224 ; MW.H/M3: .2314511

'86

.....  
GEMIDDELDDE GEM. DAGTEMPERATUUR °C : 354.5881  
GEMIDDELDDE JAARENTEMPERATUUR °C: 35.45881  
GEMIDDELDDE JAARENENERGIE GEBIED MJ: 1.847073E+07  
GEMIDDELDDE JAARENENERGIE GEBIED MW.H: 5247.425  
GEMIDDELDDE JAARENENERGIE GEBIED MJ/M3: 832.0307 ; MW.H/M3: .2313441

'87

### Blok 1

.....  
*Warmtegegevens betreffende de opslag*  
*Bijlage 10. a.*

GEMIDDELTE JAARTEMPERATUUR °C: 18,34265  
GEMIDDELTE JAARENERGIE GEBIED MJ: 8860012  
GEMIDDELTE JAARENERGIE GEBIED MW.H: 2461,115  
JAARENERGIE GEBIED MW.H/M3: .217007  
JAARENERGIE GEBIED MJ/M3: 781,2253  
JAARENERGIE OPSLAGGEBIED MW.H: 4922,153  
JAARENERGIE OPSLAGGEBIED MJ: 1.771975E+07

'85

BESOMMEERDE GEM. DAGTEMPERATUUR °C : 228,4749  
GEMIDDELTE JAARTEMPERATUUR °C: 19,03957  
GEMIDDELTE JAARENERGIE GEBIED MJ: 8942595  
GEMIDDELTE JAARENERGIE GEBIED MW.H: 2484,054  
JAARENERGIE GEBIED MW.H/M3: .2190297  
JAARENERGIE GEBIED MJ/M3: 788,5068  
JAARENERGIE OPSLAGGEBIED MW.H: 4968,032  
JAARENERGIE OPSLAGGEBIED MJ: 1.788491E+07

'86

BESOMMEERDE GEM. DAGTEMPERATUUR °C : 202,4337  
GEMIDDELTE JAARTEMPERATUUR °C: 20,24337  
GEMIDDELTE JAARENERGIE GEBIED MJ: 8979457  
GEMIDDELTE JAARENERGIE GEBIED MW.H: 2494,294  
JAARENERGIE GEBIED MW.H/M3: .2199326  
JAARENERGIE GEBIED MJ/M3: 791,7571  
JAARENERGIE OPSLAGGEBIED MW.H: 4988,51  
JAARENERGIE OPSLAGGEBIED MJ: 1.795864E+07

'87

## Blok 2

BESOMMEERDE GEM. DAGTEMPERATUUR °C : 122,5221  
GEMIDDELTE JAARTEMPERATUUR °C: 10,21017  
GEMIDDELTE JAARENERGIE GEBIED MJ: 1.499022E+08  
GEMIDDELTE JAARENERGIE GEBIED MW.H: 41639,51  
JAARENERGIE GEBIED MW.H/M3: .2124076  
JAARENERGIE GEBIED MJ/M3: 764,6673  
JAARENERGIE OPSLAGGEBIED MW.H: 4817,829  
JAARENERGIE OPSLAGGEBIED MJ: 1.734418E+07

'85

BESOMMEERDE GEM. DAGTEMPERATUUR °C : 125,5208  
GEMIDDELTE JAARTEMPERATUUR °C: 10,46007  
GEMIDDELTE JAARENERGIE GEBIED MJ: 1.500345E+08  
GEMIDDELTE JAARENERGIE GEBIED MW.H: 41676,25  
JAARENERGIE GEBIED MW.H/M3: .212595  
JAARENERGIE GEBIED MJ/M3: 765,3421  
JAARENERGIE OPSLAGGEBIED MW.H: 4822,081  
JAARENERGIE OPSLAGGEBIED MJ: 1.735949E+07

'86

BESOMMEERDE GEM. DAGTEMPERATUUR °C : 111,4418  
GEMIDDELTE JAARTEMPERATUUR °C: 11,14418  
GEMIDDELTE JAARENERGIE GEBIED MJ: 1.503966E+08  
GEMIDDELTE JAARENERGIE GEBIED MW.H: 41776,83  
JAARENERGIE GEBIED MW.H/M3: .2131081  
JAARENERGIE GEBIED MJ/M3: 767,1892  
JAARENERGIE OPSLAGGEBIED MW.H: 4833,719  
JAARENERGIE OPSLAGGEBIED MJ: 1.740139E+07

'87

## Blok 3

Warmegegevens betreffende de opslag  
Bijlage 10. b.

GEMIDDELD. TEMPERATUUR °C : 10.23785  
GEMIDDELD. JAARENERGIE GEBIED MJ: 7.495844E+07  
GEMIDDELD. JAARENERGIE GEBIED MW.H: 20806.47  
JAARENERGIE GEBIED MJ/M3: .2122721  
JAARENERGIE GEBIED MJ/M3: 764.1795  
JAARENERGIE OPSLAGGEBIED MW.H: 4511.756  
JAARENERGIE OPSLAGGEBIED MJ: 1.733312E+07

'85

GESOMMEERDE GEM. DAGTEMPERATUUR °C : 102.6542  
GEMIDDELD. JAARTEMPERATUUR °C: 10.23785  
GEMIDDELD. JAARENERGIE GEBIED MJ: 7.495844E+07  
GEMIDDELD. JAARENERGIE GEBIED MW.H: 20821.79  
JAARENERGIE GEBIED MW.H/M3: .2124284  
JAARENERGIE GEBIED MJ/M3: 764.7431  
JAARENERGIE OPSLAGGEBIED MW.H: 4016.531  
JAARENERGIE OPSLAGGEBIED MJ: 1.734588E+07

'86

-----  
GESOMMEERDE GEM. DAGTEMPERATUUR °C : 108.9996  
GEMIDDELD. JAARTEMPERATUUR °C: 10.89996  
GEMIDDELD. JAARENERGIE GEBIED MJ: 7.513366E+07  
GEMIDDELD. JAARENERGIE GEBIED MW.H: 20870.47  
JAARENERGIE GEBIED MW.H/M3: .212925  
JAARENERGIE GEBIED MJ/M3: 766.53  
JAARENERGIE OPSLAGGEBIED MW.H: 4829.565  
JAARENERGIE OPSLAGGEBIED MJ: 1.738643E+07

'87

Blok 4

Waardegegevens betreffende de opslag

Bijlage 10. c.

