

VERVLUGTINGING VAN METALE
TYDENS DIE DROGING VAN
BIOLOGIESE MATERIAAL

deur

H. O. F O U R I E

Promotor: Dr. M. Peisach

Medepromotor: Dr. M.J. Orren

'n Skripsie voorgelê ter gedeeltelike vervulling van die vereistes vir die graad Magister in die Natuurwetenskap aan die Universiteit van Kaapstad.

Junie, 1976

The copyright of this thesis is held by the University of Cape Town.
Reproduction of the whole or any part may be made for study purposes only, and not for publication.

The copyright of this thesis vests in the author. No quotation from it or information derived from it is to be published without full acknowledgement of the source. The thesis is to be used for private study or non-commercial research purposes only.

Published by the University of Cape Town (UCT) in terms of the non-exclusive license granted to UCT by the author.

BEDANKING

GROOT DINGE HET U GEDOEN,
HERE MY GOD --
U WONDERS EN GEDAGTES VIR ONS;
NIEMAND KAN MET U VERGELYK WORD NIE.
WIL EK DIT VERKONDIG EN UITSPREEK,
DAN IS DIT TE VEEL OM TE VERTEL.

Psalm 40:6

Hiermee wens ek my opregte dank uit te spreek teenoor die volgende persone en instansies vir hulle bydrae tot die voltooiing van hierdie verhandeling:

Dr. M. Peisach, my promotor, en Dr. M.J. Orren, medepromotor, vir hulle persoonlike belangstelling, bereidwilligheid en leiding wat hulle aan my gestel het. Dit was vir my onmiskenbare hulp, en ek het van hulle baie geleer. In besonder ook dankie aan Dr. Peisach vir die program VOTAL wat hy ontwikkel het. Nogmaals baie dankie.

Dr. I.J. van Heerden en die personeel van die Kerninstituut van die Suidelike Universiteite vir die bystand met fasiliteite aldaar.

Die Department van Nywerheidswese, wat deur die afdeling Seevisserye, onontbeerlike bydraes gemaak het deur laboratorium geriewe en apparaat tot my beskikking te stel.

Marlene Lewis vir die tik van die proefskrif.

Piet Groenewald vir die teken van al die sketse.

Stanley Hendricks vir die fotografie.

An en Tanja, wat met belangstelling en aanmoediging, baie opofferings moes maak. Ek dra dan ook graag hierdie proefskrif aan my eggenote en dogter op.

OPSOMMING

Metale, en meer spesifiek spoorelemente, waarvan sommige essensieël is vir normale groei en ontwikkeling, word deur lewende organismes geakkumuleer. Die organisme besit die vermoë om die geassimileerde element weer uit te skei, maar ook om dit in die weefsel te stoor. Die moontlikheid dat organo-metaalverbindinge, chelaatverbindinge en metaalamines gedurende die proses van metabolisme gevorm kan word, bestaan dus wel.

Daar bestaan verskeie analitiese tegnieke vir die kwantitatiewe bepaling van spoorelemente in biologiese materiaal. Om elke tegniek aan die gevraagde vereistes van sensitiwiteit, reproduseerbaarheid en akkuraatheid te laat voldoen, word gebruik gemaak van gespesialiseerde instrumentasie. Met biologiese matryse verg die meeste van hierdie metodes egter 'n voorbereidende ontbindingsprosedure om die organiese materiaal af te breek. Dit impliseer droging gevolg deur droë of nat verassingsprosedures van die materiaal. Die vraag ontstaan egter of geakkumuleerde metale, deur organismes gemetaboliseer word tot vlugtige organiese verbindinge, en indien wel, of dit die huidige, algemene analitiese metodiek wat gebruik word, enigsiens kan beïnvloed.

Aan die hand van mariene organismes, word in hierdie studie die radionukliedes van die elemente kroom, mangaan, yster, kobalt, sink, arseen, selenium, kadmium, antimoon en lood gebruik om 'n bydrae te lewer tot die begrip van metaboliese prosesse, en terselfdertyd lig te werp op die betroubaarheid van die analitiese tegnieke wat toegepas word.

Die radionukliedes is vir die organismes, *Crassostrea gigas*, beskikbaar gestel in die anorganiese, nie-vlugtige sout, en was die oester in staat gestel om die metale d.m.v. hul natuurlike biologiese aktiwiteite te akkumuleer en metaboliseer. Na 'n tydperk van assimilasië, is die individuele monsters onderwerp aan oond- en vriesdrogingsprosedures. Moontlike veranderings in die geassimileerde radioaktiwiteit gedurende die drogingsproses a.g.v. die vorming van organiese verbindings met metabolisme, is sodoende waargeneem.

Die resultate toon betekenisvolle verliese tydens die droging van biologiese materiaal en impliseer die vorming van metaal-organiese verbindings tydens metabolisme. Dit impliseer egter ook dat die konvensionele metodes wat gebruik word om biologiese materiaal mee voor te berei, afbreek doen aan die *kwantitatiewe* bepaling van spoorelemente.

I N H O U D

	<u>Bladisy</u>
OPSOMMING	i
HOOFSTUK 1 INLEIDING	1
1.1 Algemeen	1
1.2 Akkumulاسie en metabolisme van metale deur mariene organismes	3
1.2.1 Akkumulاسie	3
1.2.2 Metabolisme	6
1.3 Organo-metaalverbindinge	7
1.4 Droging van biologiese materiaal ..	11
1.5 Motivering	14
HOOFSTUK 2 EKSPERIMENTEEL	16
2.1 Inleiding	16
2.2 Akkumulاسie	17
2.2.1 Elemente en nukliedes	17
2.2.2 Organismes	21
2.2.3 Akwariums	22
2.3 Droging	24
2.4 Aktiwiteitsmeting	28
2.4.1 Gammaspektroskopie	28
2.4.2 Instrumentasie	30
2.4.3 Kalibrasie en meting	31

HOOFSTUK 3	RESULTATE EN GEVOLGTREKKINGS	38
3.1	Berekeninge	38
3.2	Massametings	41
3.3	Aktiwiteitsmetings	43
3.3.1	Kroom	43
3.3.2	Mangaan	46
3.3.3	Yster	46
3.3.4	Kobalt	48
3.3.5	Sink	50
3.3.6	Selenium	52
3.3.7	Kadmium	55
3.3.8	Lood	58
3.4	Bespreking	60
VERWYSINGS	64
BYLAE I :	Massametings	70
BYLAE II :	Aktiwiteitsmetings	78
BYLAE III:	Spektrum en fotos	93

HOOFSTUK 1

INLEIDING

- 1.1 Algemeen
- 1.2 Akkumulاسie en metabolisme van metale deur mariene organismes
 - 1.2.1 Akkumulاسie
 - 1.2.2 Metabolisme
- 1.3 Organo-metaalverbindinge
- 1.4 Droging van biologiese materiaal
- 1.5 Motivering

1.1 ALGEMEEN

Die oseane is 'n komplekse samestelling wat ongeveer 70% van die oppervlakte van die aarde beslaan. Alhoewel die elementele samestelling van hierdie waters al geruime tyd aan die wetenskap bekend is, word daar as gevolg van die toename in bevolking en die ontwikkeling op die gebied van industrialisasie in 'n steeds toenemende tempo navorsing op hierdie gedeelte van die aarde toegespits.

Sedimentiese gesteentes van die aardkors bestaan al miljoene jare en deur al die eeue is daar in die oseane met die minerale van hierdie gesteentes, 'n ewewigstoestand opgebou. Die sogenaamde makro-elemente wat die hoofbestandele van seewater vorm n1, B, F, Na, Mg, Cl, K, Ca, Br, Sr, word dus gelykmatig en homogeen aangetref met 'n hoofbestanddeel tot chloor verhouding wat as konstant weergegee kan word (Or 71). Soortgelyk behoort die haas onbeskryflike rykdom van mariene fauna en flora deur toedoen van eeuelange evolusie en aanpassing, tot hierdie ewewigstoestand. Die inname of verwerping van die makro-elemente deur mariene diere- en plantelewe is dus 'n natuurlike fisiologiese ewewigsproses. Dit spreek dus ook vanself dat die konsentrasies van hierdie elemente, in afsonderlike individue van dieselfde spesies, nie wesenlik kan verskil nie, en dat hierdie elemente onder sulke natuurlike, normale omstandighede, nie toksies is nie.

Die samestelling van die aardkors sluit egter ook talle ander elemente in, en is dit logies dat hierdie elemente ook in die

mariene-omgewing verteenwoordig sal wees. As gevolg van hul laer konsentrasies in die aardkors en as gevolg van die chemiese eienskappe van hul verbindings, bestaan hierdie elemente in spoorhoeveelhede, met konsentrasies ordes laer as die hoofbestandele, en word dan ook geklassifiseer as spoorelemente. Die persentasie bydrae van spoorelemente tot die totale elementkonsentrasie in die oseane, is dus baie gering wat kan impliseer dat chemiese en fisiese bedrywighede 'n ongelykmatige distribusie sal veroorsaak. Dit is dan ook inderdaad so dat die konsentrasie van 'n spoorelement kan varieer van streek tot streek as gevolg van absorpsie en adsorpsie reaksies, sowel as biologiese prosesse.

Filosofies kan besoedeling gedefinieer word as 'n versteuring van die normale of natuurlike toestand, gewoonlik deur toevoeging, maar indien verwydering geskied, kan dit ook as besoedeling beskou word. Enige toevoeging van spoormetale tot 'n bepaalde streek in die see, veroorsaak afwyking van die natuurlike konsentrasie en kan as besoedeling bestempel word. Sulke toevoegings van metale vind wel plaas a.g.v. industrieële afval, mynbedrywighede en lug-uitval, en lei tot die beklemtoning van streeksvariasies.

Normaalweg word die toegevoegde metale deur hoofsaaklik drie metodes vanuit die waters verwyder, nl.,

- (i) presipitasie, wat voorkom wanneer die konsentrasie van die metaal hoër is as die oplosbaarheid van die metaalverbinding;
- (ii) adsorpsie op die oppervlakke van partikulêre deeltjies bv. sedimente en planktonorganismes,
- en (iii) die akkumulاسie van die metale deur die biologiese aktiwiteite van die mariene organismes.

Sommige organismes, soos die verskillende plankton spesies, oesters, swartmossels en seewiere, besit die vermoë om metale te akkumuleer tot konsentrasievlakke duisende male hoër as die van die waters in die omgewing (Bd⁴ 71, O'S 71, Br 71, Or 71, Va 71, Fo 76, Eu 74). In spoorhoeveelhede is die metale natuurlike bestandele (Fo 75) met sommige soos sink, koper en kobalt selfs essensieël vir normale groei en ontwikkeling van seelewe (Br 71). Konsentrasievlakke in die marienelewe kan egter 'n punt bereik waar dit die organisme benadeel en dus 'n toksikologiese effek openbaar. Hierdie organismes word a.g.v. hul akkumulasievermoë, as akkumulاسie of indikator organismes beskryf en word gebruik om streeksvariasies en besoedelingsvlakke aan te dui.

1.2 AKKUMULASIE EN METABOLISME VAN METALE DEUR MARIENE-ORGANISMES

1.2.1 Akkumulاسie

Die storting van afval in strandmere, riviere en kus-

waters, het die gebruik van indikator organismes en meer bepaald filtervoeders en seewiere, om veranderinge in metaalkonsentrasies aan te dui, die afgelope paar jaar sterk na vore laat tree. Indikator- of akkumulatie organismes kan gedefinieer word as organismes met sodanige biologiese eienskappe dat dit die bedrywighede in die onmiddellike omgewing weerspieël.

Om aan hierdie definisie te beantwoord, moet voldoen kan word aan die volgende vereistes (Fo 75):

- (i) organismes moet geaffekteer kan word deur metaalbesoedeling, m.a.w. moet toenames en afnames van metaalkonsentrasies in die omgewing kan aandui;
 - (ii) in genoegsame getalle beskikbaar wees;
 - (iii) hoofsaaklik stilsitters wees;
 - (iv) fisies groot genoeg wees om te voldoen aan genoegsame materiaal vir analises;
- en (v) die leeftyd van 'n organisme moet lank genoeg wees om kort sowel as lang termyn veranderinge in die omgewing te kan aandui.

Aan hierdie kriteria voldoen seewiere en veral filtervoeders wat hoofsaaklik metale akkumuleer uit hul voedsel, naamlik mikro-organismes en verskillende plankton spesies (Pe 73).

Die akkumulاسie van talle elemente is dan ook bestudeer aan die hand van verskeie organismes soos bv. die krap *Carcinus maenas* (Br 71), oester *C. virginica* (Pr 68), seewier *Laminara digitata* (Br 69) en die mossel *Mytilus* (Br 65, Se 71, Pe 73).

In die water, voedsel uitgesluit, is metale egter ook vir indikator organismes beskikbaar as verbindings in die opgeloste vorm, of geabsorbeer op partikulêre deeltjies (Or 71). Anorganiese verbindings (Ba 67) sowel as organiese gebonde komplekse (Pi 70, Sl 71) kan algemeen voorkom, en kan beteken dat die chemiese vorm waarin 'n element in die water bestaan, 'n belangrike rol sal speel in 'n organisme se biologiese bedrywighede.

Dat metale wel as die opgeloste anorganiese verbindings deur filtervoeders geakkumuleer word, is omvattend bestudeer met die mossel *Mytilus edulis* (Pe 73). In akwariums, gemerk met die isotope van sink, yster, kobalt en mangaan, het die mossels die teenwoordige hoeveelhede van hierdie elemente binne 21 dae geakkumuleer en is selfs die verskillende organe waarin die akkumulاسie plaasgevind het, geïdentifiseer. Hierdie bevindinge is dan ook van groot belang vir die huidige ondersoek na die vlugtigheid van organiese metaalverbindings, wat moontlik gevorm kan word tydens die metabolisme van die verskillende spesies. Dat die oorspronklike vorm van die element wat in so 'n studie aangewend word, die anorganiese verbinding moet wees, is dan ook van essensieële belang.

As uitgangspunt is hierdie werk dan ook gebaseer op bogenoemde waarnemings nl., dat filterorganismes in staat is tot die akkumulاسie van opgeloste anorganiese elemente of hulle soute.

1.2.2 Metabolisme

Die gedrag van metale in mariene organismes kan beskrywe word aan die hand van absorpsie, uitskeiding en storing (Br 71).

Absorpsie vanuit 'n seewater oplossing geskied oor die algemene liggaams-oppervlak of deur spesiale organe soos bv. die kuwe van 'n organisme. 'n Goeie voorbeeld van die absorpsie van 'n metaal in die oplosbare fase is die van die kreef *Homarius vulgaris* (Be 71). Bloed wat deur die kuwe van die organisme vloei bevat 'n sink konsentrasie van ongeveer 7 dele per miljoen wat ongeveer 10^3 maal hoër is as die van water. Om dus die konsentrasie gradiënt oor die kuwe te behou, sou dit wou voorkom dat sink deur middel van 'n aktiewe vervoer organisme opgeneem moes word. Dit is egter nie die geval nie. In die bloed word die sink so sterk gebind aan proteiene, dat die konsentrasie gradiënt vir ongebonde sink voorkeur gee aan diffusie vanaf die water deur die kuwe tot die bloed. Hierdie tiepe absorpsie proses is nie noodwendig universeel vir alle metale in alle organismes nie, maar kan algemeen voorkom.

Absorpsie vanuit die spysverteringskanale is ook 'n belangrike bron van metaal akkumulاسie en daar is gevind dat die oester *Ostrea edulis* heelwaarskynlik metale in groter konsentrasies

absorbeer vanaf verorberde voedsel as vanuit die water (Pr 69). Die affiniteite vir verskillende metale deur verskillende organismes kan egter grootliks verskil.

Die uitskeidings proses vind hoofsaaklik langs drie weë plaas. Eerstens kan die metaal uitgeskei word terug oor die liggaamsoppervlak en deur die kuwe soos in die krap *Carcinus maenas* (Br 66), tweedens deur die metaal na die ingewande uit te skei soos in die geval van die varswater kreef, *Austropotamobius pallipes pallipes* (Br 67), en derdens in die uriene soos in die geval met die mossel spesies, *Octopus dofleini* (Po 65).

Wanneer metale in die organisme behoue bly na die prosesse van akkumulاسie en uitskeiding, kan dit beskou word as storing of opberging. Dit vind dan in die weefsel, soos bv. in die hepato-pankreas van die garnaal *Crangon vulgaris* (Dj 70) plaas, en die vraag is dan in watter chemiese vorm die metaal in die organisme geberg word.

1.3 ORGANO-METAALVERBINDINGS

'n Organo-metaalverbinding word gewoonlik gedefinieer as 'n koolstof-metaal verbinding waar die metaal regstreeks aan 'n koolstof atoom verbind is, wat die soute van organiese sure, chelaat-verbindinge, metaalamines, esters en eters uitsluit, omdat die koolstowwe van laasgenoemdes aan die betrokke element verbind word deur die tussenkoms van 'n derde element.

Die fisiese eienskappe en chemiese gedrag van 'n organo-metaal-verbinding, hang gewoonlik af van die aard van die betrokke element sowel as die aard van die organiese groep waaraan die element gebind word. Veral twee neigings kan beide fisies en chemies waargeneem word (Ro 57) nl.,

- (i) wanneer verskillende organiese groepe gebind word aan dieselfde element, toon die kookpunte van die verbindings 'n stygende tendens na gelang die grootte van die organiese groep toeneem, bv.

$(\text{CH}_3)_4 \text{ Si}$	kpt	26.5°C
$(\text{C}_2\text{H}_5)_4 \text{ Si}$		153
$(n\text{-C}_3\text{H}_7)_4 \text{ Si}$		212
$(n\text{-C}_4\text{H}_9)_4 \text{ Si}$		275
$(n\text{-C}_5\text{H}_{11})_4 \text{ Si}$		318

- (ii) 'n organiese groep, gebind aan die verskillende elemente van dieselfde groep in die periodieke tabel, toon dat die kookpunt van die verbindings styg met toename in molekulêre gewig, bv.,

$(\text{CH}_3)_3 \text{ N}$	kpt	3.5°C
$(\text{CH}_3)_3 \text{ P}$		42.0
$(\text{CH}_3)_3 \text{ As}$		52.8
$(\text{CH}_3)_3 \text{ Sb}$		80.6
$(\text{CH}_3)_3 \text{ Bi}$		110.0

(iii) in 'n gegewe groep elemente van die periodieke tabel, is die verbindings van die swaarder elemente meer onstabiel as die van die ligter elemente.

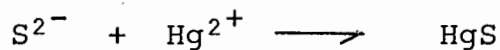
Vervlugtiging in die groep 2B elemente sou dus neig om in die volgorde $\text{Hg} > \text{Cd} > \text{Zn}$ te geskied, terwyl

(iv) termiese stabiliteit hoër is in die verbindings van die meer elektronegatiewe elemente in dieselfde periode, bv., in die vierde periode is die elektronegatiewe eenhede van Se en Zn 2.4 en 1.6 onderskeidelik (Si 66) en die kookpunte van die dime-tielverbindings $\text{Se}(\text{CH}_3)_2$ en $\text{Zn}(\text{CH}_3)_2$ 55°C en 46°C onderskeidelik.

In hierdie studie sou dit egter eng wees om net organo-metaalverbindings as sulks voor oë te hou, aangesien die vorming van bv., chelaatverbindings en metaalamines tydens metabolisme, nie summier uitgesluit kan word nie. Dit is bv. bekend dat proteïene metale bind. Kalsium, yster, koper, sink, kadmium, en kwik word deur 'n proteïen, metallothionein, wat deur die lewer geproduseer word, gebind, en selfs ander proteïene is ge-identifiseer wat ten opsigte van metale dieselfde rol vervul (Fr 71). Hul suiwer fisiese eienskappe soos dampdrukke, kookpunte en vervlugtigings-eienskappe is egter onbekend, en dit onderskryf die argument dat hierdie tiepe verbindings deeglik in ag geneem moet word tydens hanterings-prosesse in die laboratorium.

Terwyl die vorming van organiese verbindings, in die natuur of tydens metabolisme, vir die meeste elemente tot 'n hoë mate onbekend is, is kwik die uitsondering. Ofskoon die organiese-gebonde vorm algemeen voorkom – metielkwik (CH_3Hg) en phenielkwik ($\text{C}_6\text{H}_5\text{Hg}$) word onderskeidelik in die landbou en papier-industrie gebruik (Je 72) – word anorganiese kwik ook in die natuur na die organiese vorm omgesit (Je 72).

Kwiksulfiede is 'n verbinding met 'n baie lae oplosbaarheidsprodukt (10^{-53}) en indien die sulfiede enigsins teenwoordig is sal HgS gevorm word



terwyl 'n direkte biologiese effek nl., 'n ensiematiese oksidasie proses (Fa 71) verantwoordelik is dat kwik ione beskikbaar word vir die vorming van anorganiese en organiese verbindings. Etielkwik ($\text{C}_2\text{H}_5\text{Hg}$) en metielkwik (CH_3Hg_3) vorm algemeen in die natuur deur middel van die biologiese interaksie van mikro-organismes (Je 72). Dit is egter belangrik om daar op te wys dat huidig aanvaar word dat die *hoër organismes soos bv. vis nie in staat is tot die etielering of metielering van kwik nie.*

Opsommenderwys kan dus die stelling gemaak word dat alhoewel die eienskappe van organo-metaalverbindinge redelik goed bekend is, is die chemiese eienskappe van organiese verbindings in die natuur en tydens metabolisme, tot 'n hoë mate 'n bron van onsekerheid, en kan dit lei tot foutiewe aannames met die analyses van metale in biologiese materiaal.

1.4 DROGING VAN BIOLOGIESE MATERIAAL

Veertig elemente van die periodieke tabel word aanvaar as van biologiese belang, gegrond op hul alomteenwoordigheid in die natuur. Van hierdie veertig word twaalf geklassifiseer as makro-elemente, vyf (mangaan, kobalt, koper, sink, en molibdeen) kom voor as spoorelemente in plante en diere, ses (fluoriede, silikon, selenium, boron, jodium en bromiede) is nie-metale en sewentien is teenwoordig in die menslike weefsel met metaboliese aktiwiteite (No 74).

Daar bestaan verskeie analitiese tegnieke vir die kwantitatiewe bepaling van hierdie elemente in biologiese materiaal. Om elke tegniek in mindere of meerdere mate aan die gevraagde vereistes van bv. sensitiwiteit, reproduseerbaarheid en akkuraatheid te laat voldoen, word vrylik gebruik gemaak van gespesialiseerde, hoogsontwikkelde instrumentasie. Dit stel dan ook die analis in staat om metaalkonsentrasies in die nanogram (10^{-9} g/g) meetgebiede, te bepaal. Met biologiese matryse is die meeste van hierdie metodes egter onderhewig aan 'n voorbereidende onbindingsprosedure om die organiese verbindings af te breek. Dit impliseer gewoonlik die droging van materiaal gevolg deur droë of nat verassingsprosedures.

Om die algemene gebruikswyse t.o.v. voorbereidende prosedures te illustreer, word 'n baie kort uittreksel, verteenwoordigend van die omvangryke literatuur, in tabelvorm op bladsy 12 weer-gegee. Hieruit is drie tendense waarneembaar:

TABEL 1

Element	Matrys	Drogingstegniek	Opbrengsbepaling	Verwysing
Cr	bloed, uriene	veras 550°C	Cr-51	Hw 73
Cd	vis	veras 485°C	Cd Cl ₂	Ei 72
Zn	verskeie fauna spesies	droog 450°C	Onbekend	Ca 73
Pb	bloed	veras 400°C	Anorg. Pb sout	Hw 73
As, Se, Hg, Cu	sellulose (Whatman aslose tablette)	veras > 150°C	Se (H ₂ SeO ₃) As ₆ (O ₃) ₂ Hg NO ₃ , Cu SO ₄	Mu 66
Cu, Mn, Zn, Fe, Pb, Co, Hg	<i>Tapes decussatus</i>	droog 105°C nat veras	onbekend	Ge 75
Co, Ni, Fe, Mn, Cu, Zn, Sr	mossel <i>Aplysia benedicti</i>	droog 105°C nat veras	onbekend	Pa 73
Zn ⁶⁵ Co ⁶⁰	mossel <i>Mytilus edulis</i>	droog 105°C nat veras	onbekend	
(oorsigartikel) ± 40 elemente	seewiere en mariene organismes	105°C 110°C	onbekend	Fu 59
Fe, Zn, Mn, Co, Cr, Pb, Cd, Al, Sb, Bi, Cu, Ni	verskeie mariene fauna en flora	vriesdroging	geen	Fo 76
Zn, Mn, Co, Fe	mossel <i>Mytilus edulis</i>	vriesdroging	onbekend	Pe 73

Eerstens word droë verassing toegepas by temperature in die orde van 400°C tot 600°C . Indien die elemente in die biologiese matrys, slegs as die anorganiese soutverbinding sou bestaan, kon droë verassing by hierdie hoë temperature geregverdig word. Immers, as gevolg van hul hoë dampdrukke, is die kritiese temperature van die meeste metaal-soute relatief hoog. Die chloriedes van natrium, kalsium, magnesium, koper, yster, nikel, kadmium, lood en sink bv., kook by $1\ 413^{\circ}\text{C}$, $1\ 600^{\circ}\text{C}$, $1\ 412^{\circ}\text{C}$, 993°C , 675°C , 973°C , 960°C , 950°C en 732°C respektiewelik. Dit is egter opvallend dat met hierdie verassingstegniek, moontlike metaalverliese wel voorsien word en dat opbrengsbepalings derhalwe uitgevoer word. Dit geskied egter in alle gevalle deur die byvoeging van 'n anorganiese sout by die biologiese matrys, wat daarop dui dat die bestaan van organiesgebonde metaalverbindings nie in ag geneem word nie.

Tweedens kom die tendens voor om teen relatiewe lae temperature te droog (100°C tot 110°C) en die gedroogde materiaal dan nat te veras met sterk oksiderende sure. Dit is waarneembaar dat wanneer opbrengsbepalings tydens hierdie tegniek uitgevoer word, dit slegs gedoen word tydens die nat-verassings fase deur weereens die byvoeging van 'n anorganiese sout. Dit impliseer weereens, dat die moontlike bestaan van vlugtige organiese verbindings, wat tot verliese kan lei selfs by hierdie lae temperature, oor die hoof gesien word.

Die derde tendens is die droging van biologiese materiaal met die sogenaamde vriesdroging metode. Die teorie waarop hierdie metode berus is die van sublimasie, d.i. direkte oorgang van die vaste na die gas fase by sub-zero temperature.

Slegs 'n geringe persentasie analiste gebruik egter hierdie metode, moontlik omdat dit 'n groter kapitaal uitleg vereis en tydrowend is i.v.m. termiese drogingsmetodes, maar heelwaarskynlik ook omdat die belangrikheid van moontlik aanwesige, vlugtige organiese verbindings nie in ag geneem word nie.

1.5 MOTIVERING

Indien die vorige vier afdelings opgesom moet word, sou dit gedoen kon word met die vraag:

Word metale, tydens akkumulاسie, deur organismes gemetaboliseer tot vlugtige organiese verbindings, en indien wel, word die analitiese prosedures wat gebruik word om die metale in biologiese materiaal te bepaal, hierdeur geraak?

Die doel van hierdie projek was om bogenoemde vraag te beantwoord met die mariene-omgewing as uitgangspunt.

Omdat die klem van die vraagstuk op metaalorganiese verbindings val, het die beplanning van die projek hofsaaklik twee vereistes gestel, nl.,

- (i) die elemente wat bestudeer sou word, moes vir die organisme beskikbaar wees in die *anorganiese* vorm;
- en (ii) dit was noodsaaklik dat organismes in staat gestel word om die elemente d.m.v. hul natuurlike biologiese aktiwiteite te akkumuleer en metaboliseer.

Alhoewel hierdie eksperimentele beplanning homself dus ook sou verleen tot die inwinning van data oor die akkumulاسie proses as sulks, m.a.w. tempo van akkumulاسie en affiniteite vir elemente, was dit as sekondêr beskou. Daarom is daar in die eksperimentele opstelling ook nie gepoog om die natuurlike mariene-omgewing so getrou na te boots, dat absolute kwantitatiewe vergelyking, t.o.v. die akkumulاسie prosesse, met die natuurlike omgewing gemaak sou kon word nie.

Die filtervoeders, *Crassostrea gigas* (oesters) is in akwariums aan die lewe gehou vir 21 dae waartydens hulle in staat gestel was om die radioisotope van die elemente kroom, mangaan, yster, kobalt, sink, arseen, selenium, kadmium, antimoon en lood te akkumuleer. Met hierdie benadering was aanvaar dat die chemiese en fisiese eienskappe van die isotope m.b.t. akkumulاسie en metabolisme, nie wesenlik van die eienskappe van die stabiele elemente verskil nie.

By voltooiing van die akkumulاسie proses, was die organisme in sy geheel van die skulp verwyder en onderwerp aan drogingsprosedures by verskillende temperatuurvlakke. Die resulterende data sou met betrekking tot drogingstemperature eerstens gewigsverlies van biologiese materiaal en tweedens die verandering in die geakkumuleerde isotoopkonsentrasies, wat die vorming van vlugtige organiese verbindings impliseer, kon toelig.

Daar is dus met hierdie studie gepoog om 'n bruikbare bydrae te lewer tot die begrip van die metaboliese prosesse by mariene organismes, en terselfdertyd lig te werp op die betroubaarheid van analitiese tegnieke, wat toegepas word in die ondersoek van metale in die mariene omgewing.

HOOFSTUK 2

E K S P E R I M E N T E E L

- 2.1 Inleiding
- 2.2 Akkumulاسie
 - 2.2.1 Elemente en nukliedes
 - 2.2.2 Organismes
 - 2.2.3 Akwariums
- 2.3 Droging
- 2.4 Aktiwiteitsmeting
 - 2.4.1 Gammaspektroskopie
 - 2.4.2 Instrumentasie
 - 2.4.3 Kalibrasie en meting

2.1 INLEIDING

Radionukliedes word algemeen gebruik as spoorders in biologiese studies (Sh 75). Twee belangrike voordele is verbonde aan hierdie tegniek, nl.,

- (i) lae konsentrasies van 'n element kan gebruik word as gevolg van die beskikbaarheid van hoë spesifieke aktiwiteite, en is veral van belang wanneer die meer toksiese elemente in 'n studie gebruik word;
- en (ii) 'n lewende organisme kan ondersoek word terwyl dit in sy natuurlike omgewing verkeer, m.a.w. 'n monster vir analise kan nie-verterend ontleed word.

Die geldigheid om 'n radionuklied in die natuur te gebruik as spoorder om die gedrag van die ooreenstemmende stabiele element te voorspel, word betwyfel indien die fisiese en chemiese eienskappe van die nuklied nie bekend is nie. By gebrek hieraan, is hierdie tegniek onderhewig aan die aanname dat die fisiese en chemiese vorms van die stabiele en radioaktiewe isotoop nie van mekaar verskil nie. As gevolg van bogenoemde voordele is dan ook besluit om radionukliedes, waarvan die fisiese en chemiese vorms bekend is, in hierdie projek te gebruik.

Wanneer van 'n organisme verwag word om onder akwarium toestande metale te akkumuleer, moet ingedagte gehou word dat omgewingsfaktore 'n invloed mag uitoefen. Hiervan is soutgehalte, pH, temperatuur en die konsentrasie van stabiele elemente in die water van die belangrikstes (Sh75). Om tydens droging die

vervlugting van metale in biologiese materiaal te bestudeer, was die optimum, kwantitatiewe akkumulasievermoë van 'n bepaalde organisme, egter van sekondêre belang. Dit impliseer dat alhoewel gepoog was om omgewingsfaktore in hierdie eksperimentele opstelling te optimiseer, geringe afwykings daarvan, van geen wesenlike belang sou wees nie.

'n Opsommende beskrywing van die eksperimentele eienskappe van hierdie projek, word in tabel 2.1 op bladsy 18 aangegee, en word vervolgens bespreek in die opvolgende onderafdelings.

2.2 AKKUMULASIE

2.2.1 Elemente en nukliedes

Die keuse van die elemente en hul isotope was gedoen met inagneming van die volgende faktore:

- (i) die mate van bekendheid waarmee 'n element en/of die nuklied deur organismes geakkumuleer word;
- (ii) die halfleeftyte van nukliedes en die relatiewe intensiteite van hul γ -strale;
- (iii) die redelikheid waarmee nukliedes bekom kon word;
- en (iv) die chemiese eienskappe van die verbindings van sommige metale, wat kon lei tot verliese tydens die droging van biologiese materiaal.

T A B E L 2 . 1

Eksperimentele beplanning vir die akkumulasie van radionukliedes deur die oester *C. gigas*.

Akwarium nr.	Nukliede groep	γ -straal energie (keV)	Verbinding	Spesifieke Aktiwiteit	Akwarium konsentrasie $\mu\text{Ci/L}$	Indiwiduele aantal oesters	Mortaliteit %
1	^{75}Se	265	$\text{Na}_2 \text{SeO}_3$	2-20 mCi/mg Se	2	12 + 12	8
	^{54}Mn	835	Mn Cl_2	>100 mCi/mg Mn	2		
	^{65}Zn	1 115	Zn Cl_2	>100 mCi/mg Zn	2		
2	^{109}Cd	88	Cd Cl_2	> 50 mCi/mg Cd	1	10 + 15	4
	^{58}Co	810	Co Cl_2	> 2 mCi/ μg Co	3 en 5		
3	^{125}Sb	427	Sb Cl_3	>100 mCi/mg Sb	2	10	100
	^{74}As	596	As $_4$ O $_6$	> 1 mCi/ μg As	2		
	^{59}Fe	1 095	Fe Cl_3	3-20 mCi/mg Fe	2		
4	^{51}Cr	320	Cr Cl_3	100-400mCi/mg Cr	4	10 + 15	8
1	^{210}Pb	47	Pb(NO_3) $_2$	21-60 mCi/mg Pb	10	15 + 15	3
2	^{59}Fe	1 095	Fe Cl_3	3-20 mCi/mg Fe	3	15 + 15	70

Kerneienskappe van die isotope, van die ooreenstemmende stabiele elemente waarop besluit was, word aangetoon in tabel 2.2 op bladsy 20. Uit tabel 2.1 word aangetoon dat nukliedes eerstens toegedien was as die *anorganiese verbinding*. Tweedens was die spesifieke aktiwiteite baie hoog wat impliseer dat die natuurlike konsentrasies van die elemente in die akwariumwater, nie wesenlik deur die toevoeging van radio-isotope verhoog was nie. Die natuurlike konsentrasies van die betrokke stabiele elemente in seewater, wissel tussen ongeveer 1 en 0.1 ng/ml (Va 75). Uit tabel 2.1 kan die bydrae tot die stabiele element konsentrasie, deur die toegevoegde nuklied, bereken word. In al die gevalle behalwe yster en selenium was die bydraes 0.02 ng/ml en kon die nuklied beskryf word as draevry. Met yster en selenium was die bydraes ongeveer 1 ng/ml en was daar dus wel 'n wesenlike bydrae ten opsigte van die natuurlike konsentrasie, wat die akkumulatie proses moontlik kon beïnvloed.

Dit is bekend dat organismes meer as een nuklied gelyktydig kan akkumuleer (Pe 73). Omdat die gelyktydige akkumulatie van nukliedes die aantal akwariumbakke benodig sou verminder, en die hantering van monsters sou vergemaklik, was die nukliedes verdeel in vier groepe, met inagneming van hul gamma-energieë, soos aangedui in tabel 2.1 op bladsy 18. Die relatiewe lae intensiteite van die γ -strale van Cr^{51} en Pb^{210} , 9% en 4% onderskeidelik, het egter genoodsaak dat hierdie nukliedes in hoër konsentrasies toegevoeg moes word. Derhalwe om stralings-

TABEL 2.2

Radionukliedes wat in akwariums vir akkumulاسie deur die oester *C. gigas*, gebruik was.

Nuklied	Halfleeftyd	Gammastraal- energie (keV)	Intensiteit $\gamma/100$ desintegrاسies
^{51}Cr	27.8 d	320	9
^{54}Mn	303 d	835	100
^{59}Fe	45.6 d	1 095	56
^{58}Co	71.3 d	810	99
^{65}Zn	245 d	1 115	49
^{74}As	17.9 d	596	61
^{75}Se	120.4 d	265	60
^{109}Cd	453 d	88	100 ^a
^{125}Sb	2.71j	427	31
^{210}Pb	20.4 j	47	4

^a Dit word aanvaar dat hierdie nuklied slegs deur ϵ -invangs na die 88 keV vlak van ^{109}Ag verval. Volledige vervalskema is nog onbekend.

dosisse in die akwariums so laag as moontlik te hou, is hierdie nukliedes afsonderlik ondersoek.

2.2.2 Organismes

In Hoofstuk 1 was verwys na die akkumulاسie vermoëns van filtervoeders. In hierdie eksperiment was dan ook gebruik gemaak van die oester *Crassostrea gigas*, verkrygbaar vanaf die Knysna strandmeer van die Suid-Afrikaanse ooskus.

Oesters was vanaf Knysna per lug vervoer na die laboratorium te Faure. Alle organismes was na hulle aankoms deeglik gewas en gekrop om die groei van mikro-organismes in die akwariums te voorkom en daarna vir 5 dae in seewater by kamer temperatuur gelaat, vir akklimatisasie doeleindes.

Slegs *gigas* van 'n bepaalde grootte - sien afdeling 2.4.2 - was geskik vir eksperimentele doeleindes - gevolglik was elke besending ontvang onderhewig aan klassifikasie. Dit het meegebring, dat die individuele aantal oesters wat aangewend kon word vir akkumulاسie, in die onderlinge groepe verskil het, soos aangedui in tabel 2.1.

Gedurende die akkumulاسie tydperk van 30 dae, het mortaliteite wel voorgekom en was die dooie oesters uit die akwariums verwyder. Die hoogste mortaliteite - 100% - het voorgekom in die groep yster, arseen en atimoon. Aangesien 'n toksikologiese

effek, wat 'n skynbare rede vir hierdie mortaliteite was, buite die doel van hierdie studie geval het, was besluit om die elemente arseen en antimoon by hierdie projek uit te sluit. Selfs die herhaling met yster afsonderlik, het slegs 'n baie geringe verbetering getoon soos aangedui in tabel 2.1.

Vir meting van die geakkumuleerde nuklied, was die totale organisme versigtig uit die skulp verwyder, vir 2 minute in skoon lopende water gespoel, en in 'n voorafgeweege glashouer geplaas. Die nat gewigte van alle monsters was geboekstaaf om gewigsverliese met droging te kon waarneem.

2.2.3 Akwariums.

Vier vierkantige bakke van deursigtige glas was gebou en word getoon op bladsy 94. Die afmetings van elke houer was so beplan dat dit 'n volume tot aantal organisme verhouding van minstens twee tot een handhaaf. Elke akwarium was voorsien van 'n plastiese filter op die bodem, en 'n diafragma pompie wat lug by twee teenoorgestelde hoeke van die bak uitborrel. Die voorsiening van lug en die filter was van so 'n aard aanmekaar gekoppel, dat die water 'n roterende patroon van bo na onder in die bak vorm, en sodoende alle afval van die organismes op die bodem kon filtreer.

Om moontlike kontaminasie a.g.v. die borrelende effek van die lugtoevoer te verhoed, was elke akwarium voorsien van twee

driehoekige plate geplaas bo die watervlak waar die lug uitborrel, om sodoende die spat van waterdruppels te voorkom. Alhoewel 'n glasdeksel om verdamping te beperk aangebring was, was die akwarium volume weekliks aangevul met gedistilleerde water om die soutgehalte en pH van die water konstant te probeer hou.

Natuurlike seewater was gebruik om die akwarium mee te vul. Volumes van 30 liter was filtreer deur 0,45 μm sellulose-nitrat filters om eenvormigheid gedurende die eksperiment te verseker. Om die groei van mikro-organismes te beperk, was elke akwarium na 21 dae voorsien van vars gefiltreerde seewater.

Soos opgemerk in die inleiding van hierdie hoofstuk, is temperatuur 'n omgewingsfaktor wat die akkumulاسie vermoë van organismes beïnvloed. *C. gigas* vanaf Knysna kom van 'n mariene-omgewing met 'n watertemperatuur van ongeveer 12°C, terwyl kamertemperatuur in die laboratorium ongeveer 23°C was. 'n Voorlopige eksperiment om die effek van hierdie temperatuur verandering op die akkumulاسieproses waar te neem, was uitgevoer. Die resultate het getoon dat die organismes, ten spyte van hierdie omgewingsverandering, genoegsaam akkumuleer vir die doeleindes van hierdie studie. Derhalwe was die eksperiment by hierdie hoër temperatuur uitgevoer.

2.3 DROGING

2.3.1 Oonddroging

Uit die literatuur was dit duidelik dat die droging van biologiese materiaal, hoofsaaklik in die gebied 90°C tot 105°C toegepas word. Derhalwe was besluit om in hierdie eksperiment bogenoemde gebied te oorfleuel, en elke monster te droog by ongeveer 50°C , 90°C , 105°C en 120°C onderskeidelik, vir 'n duurte van 48 uur. 'n Steekproef het getoon dat die grootte organisme wat gebruik sou word, oor die algemeen in hierdie tydperk droog tot 'n konstante massa.

Drie droogoonde met waaiers was beskikbaar. Twee was gebruik vir droging by 50°C en 90°C onderskeidelik, terwyl die derde gebruik was vir beide die droging by 105°C en 120°C . Droogoonde word gewoonlik voorsien van 'n termometer, geplaas in die deur van die oond, om die oond temperatuur aan te dui. Die vermoede dat hierdie temperatuur-aanduiding nie 'n getroue weer-gawe van die werklike was nie, het aanleiding gegee tot die elektroniese meting van die temperatuur. 'n Vooraf gekalibreerde sensor was, ooreenstemmend met die monsters, in die oond geplaas en aan 'n kaartregistreerder gekoppel. Die werklike oondtemperatuur wat dus in hierdie studie toegepas was, asook die fluksiasie daarvan, word aangetoon op bladsy 25, 26 en 27. Die massa van elke monster was geboekstaaf na droging by elk van die vier verkillende temperature.

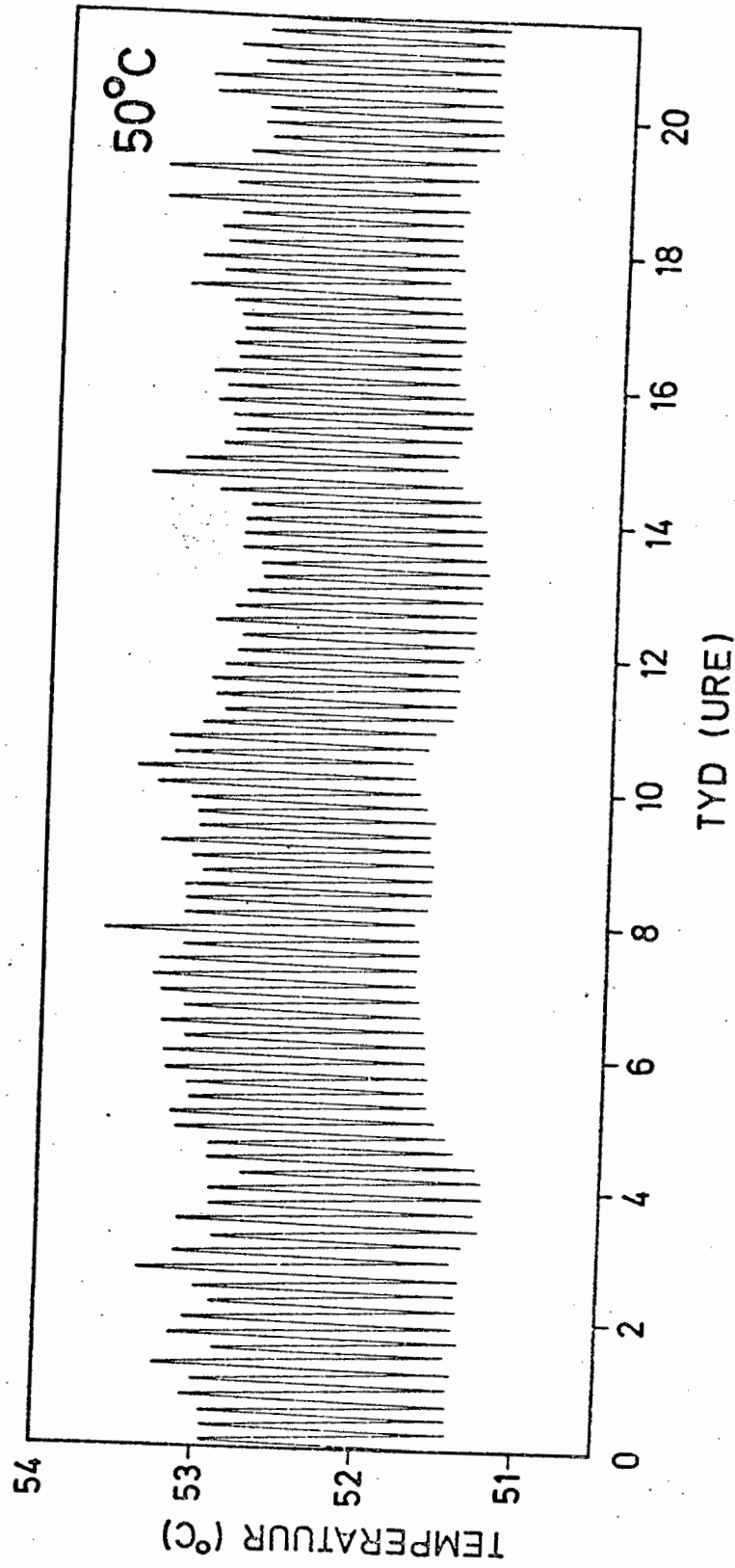


Fig. 2.1.1: Elektroniese meting van oondrogingstemperatuur, vir die droging van biologiese monsters by 50°C.

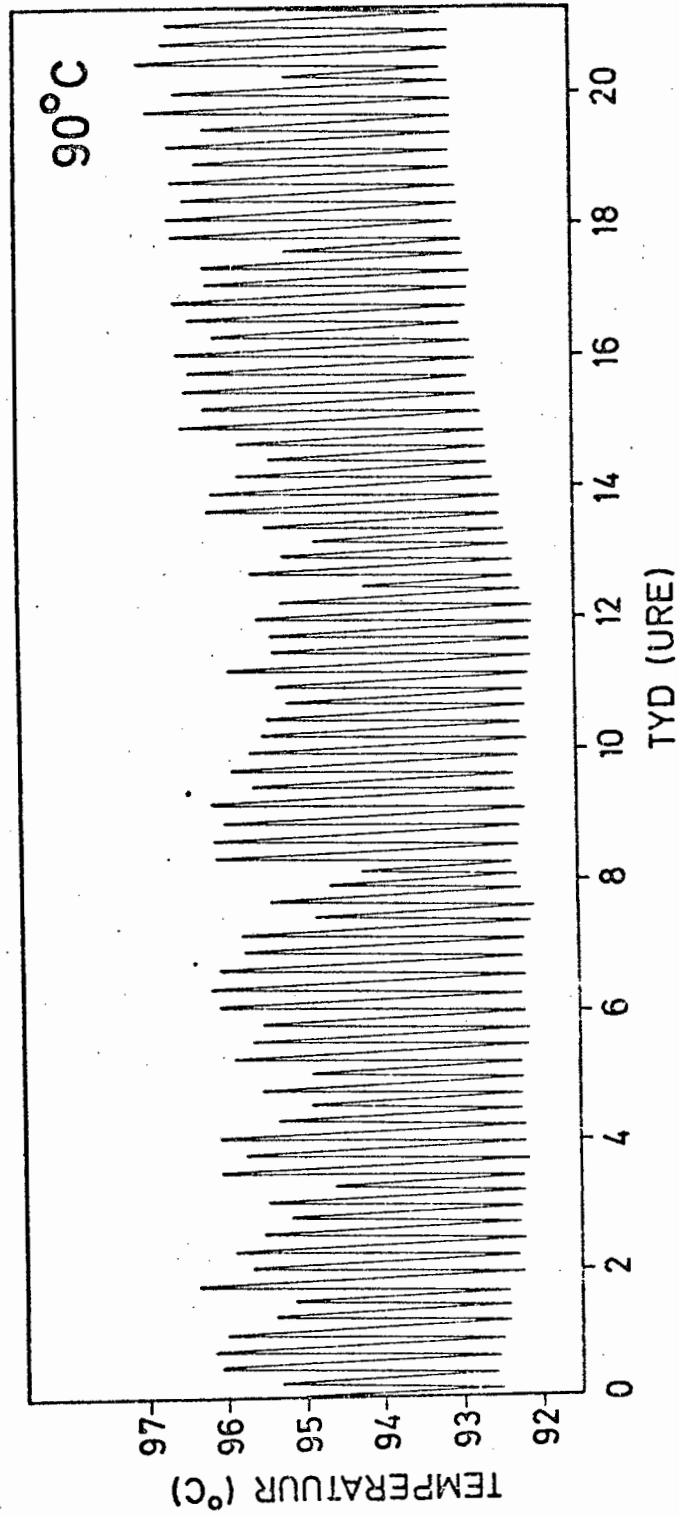


Fig. 2.2: Elektroniese meting van oondrogingstemperatuur, vir die droging van biologiese monsters by 90°C.

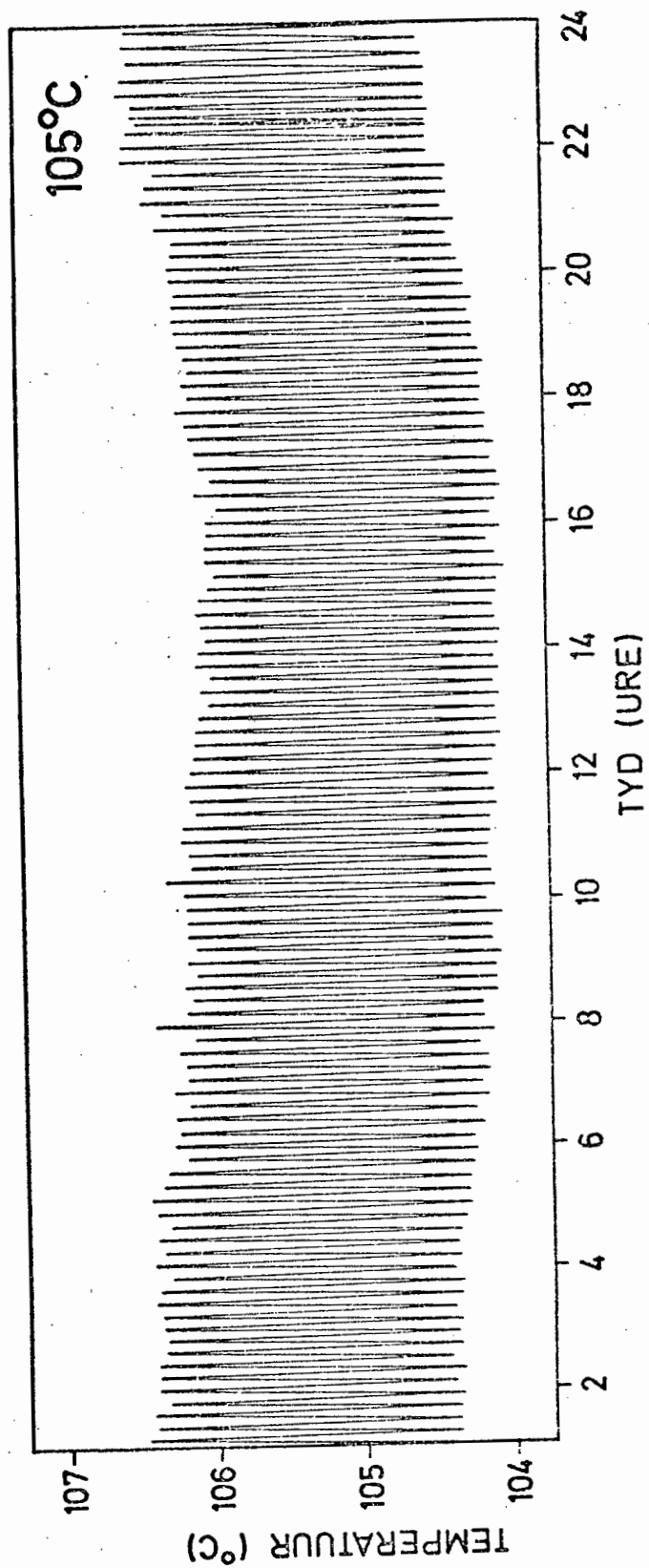


Fig. 2.3: Elektroniese meting van oondrogingstemperatuur, vir die droging van biologiese monsters by 105°C.

2.3.2 Vriesdroging

'n Kommersieële eenheid wat beskikbaar was vir hierdie doel word aangetoon op bladsy 95. Die nat geweegde monsters was vir bevriesing in 'n vrieskas by -10°C geplaas vir 24 uur. Hierdie stap word benodig om te verseker dat droging wel deur sublimasie plaasvind en nie deur fraksionele distillasie nie. Die gevriesde monster was in versterkte glashouers aan die vakuumeenheid gekoppel vir 48 uur, waarna dit 'n konstante massa bereik het. As 'n voorsorgmaatreeel teen kontaminasie tydens 'n moontlike in-ploffing van die glashouer, was die houers toegedraai met sterk plastiese sakke, wat ingeval van 'n ongeluk die verspreiding van glas, monster of radio-aktiwiteit sou voorkom.

2.4 AKTIWITEITSMETING

2.4.1 Gammaspektroskopie

Gammastrale is elektromagnetiese straling en is indirek waarneembaar teenoor die ander vorme van radioaktiewe uitstraling waar massa en/of lading met uitgestuurde deeltjies te assosieer is. Waarneming van gammastrale berus op drie maniere waarop die straling met materie in wisselwerking tree waarvan die ver- naamste die foto-elektriese effek, Compton verstrooiing en paarvorming is.

In die eerste twee gevalle word die energie van die gamma-strale aan elektrone in die materie oorgedra sodat hierdie elektrone atoomskille kan verlaat, en in die derde geval word in die elektriese veld van die atoomkern 'n positron-elektron paar gevorm uit die beskikbare gamma-foton energie en slegs die oormaat energie word oorgedra aan die gevormde deeltjies. Daar kan dus in die algemeen na die wisselwerking tussen gammastraling en materie verwys word as 'n ionisasieproses. Die waarneming van hierdie ionisasie dien dan ook as 'n maatstaf van die intensiteit en die energie van die invallende gammastraling.

By die deteksie van gamma-aktiewe radio-isotope waar inligting omtrent die energie van die straling van belang is, vind sintillasië- en halfgeleier detektore wye toepassing. In die sintillator veroorsaak die γ -straling ligflitse waarvan die totale intensiteit eweredig is aan die energie van die invallende gamma-fotone. Die ligintensiteit word deur middel van 'n fotovermenigvuldigerbuis elektronies versterk tot 'n elektriese spanningspuls waarvan die amplitude eweredig is aan die stralingsenergie. As voorbeeld van so 'n detektor dien die bekende NaI(Tl) kristal. Dit het die voordele van 'n relatief hoë doeltreffendheid vir waarneming van gammastraling, maar bied nie besonder goeie energie-oplosvermoë nie.

In halfgeleier detektore vind die ionisasie in die halfgeleier materiaal, gewoonlik germanium of silikon plaas. Aangesien die energiegaping tussen die geleidingsband en valensband in hierdie materiaal gering is - 0.78 eV vir Ge en 1.2 eV vir Si teenoor 50 eV vir 'n sintillator - kan invallende gammafotone veel meer elektron gat-pare skep as wat dit in 'n sintillator kon ioniseer. Die oplosvermoë van 'n detektor is omgekeerd eweredig aan die kwadraat van die aantal gebeurtenisse in die detektor wat bydra tot die uittree puls. Daarom lewer halfgeleier detektore veel beter oplosvermoë as sintillatore.

By waarneming van gammastraling in hierdie ondersoek, word Ge(Li) halfgeleier detektore gebruik. Alhoewel hierdie detektore duur is, 'n kleiner doeltreffendheid as NaI kristalle het en koud gehou moet word, vereenvoudig die verhoogde oplosvermoë die verwerking van waargeneme gamma-energie spektra tot so 'n mate dat dit 'n steeds toenemende toepassing in gamma-spektroskopie vind.

2.4.2 Instrumentasie en vaste opstelling

Die permanente opstelling om die monsters te tel word in figuur 4.3 aangetoon. 'n Vaste toestand Ge(Li)-detektor met effektiewe volume van 50 cm³ was gebruik. Alhoewel die oplosvermoë van die detektor 6 keV was - gemeet met die gammastrale van 1 332 keV - was die volle benutting hiervan nie

moontlik nie, omdat 'n multikanaal met 'n geheue van slegs 1 000 kanale beskikbaar was. Die vaste geometriese opstelling, gekoppel aan die detektor, was afgeskerm deur 'n lood kasteel 66 cm x 66 cm x 44 cm. Die totale tellings per kanaal oor die energiegebied van toepassing tot die meting, en die totale teltyd wat deur die multikanaalanaliseerder waargeneem was, is uitgetik op 'n papierband. Hierdie data was benodig vir die integrasie van foto pieke en berekening van verval gekorrigeerde teltempos.

2.4.3 Kalibrasie en meting

Geen absolute bepaling is in hierdie eksperiment uitgevoer nie. Die aktiwiteite van dieselfde nuklied is met mekaar vergelyk en was dit dus nie nodig om die detektor absoluut te kalibreer nie. Om enige abnormale veranderinge in die telstelsel te kon waarneem, was 'n ^{125}Sb standaard daaglik getel.

Die belangrikste nadeel van Ge(Li)-detektore is die lae sensitiwiteite vir gammastrale, ongeveer 8% relatief tot die van NaI(Tl)-sintillatore en was dit dus belangrik dat monsters so na as moontlik aan die kristal geplaas moes word. Terselfdertyd was dit ook nodig dat alle metings met bronne en monsters, m.b.t. die detektor, uitgevoer moes word in 'n vaste geometriese posisie.

Wanneer 'n biologiese monster egter gedroog word, gaan dit gepaard met 'n verandering in fatsoen sowel as die area wat dit beslaan. Dit impliseer dat die foto-pieke van 'n nuklied in so 'n monster nie voor en na droging kwantitatief vergelyk kan word nie. Die oplossing van hierdie probleem het gelê in die strewe na 'n puntbrongeometrie wat soosvolg bereik is (sien figuur 2.4).

'n Lang hol, plastiese buis (A), 4,5 cm in deursnee, was horisontaal aan die detektor geheg. Gate waardeur 'n kelkie (B) vertikaal kon pas is op gelyke afstande deur die buis geboor. Die voet van die kelkie was gekoppel aan 'n aandrywingsmotor met rattekas (D), wat roteer teen ses omwentellinge per minuut. Die deursnit van die deursigtige kelkie was net groter as die van die glashouer (C) waarin die monster wat getel moes word, geplaas was.

Vervolgens was, soos in (E) getoon, 'n radioaktiewe puntbron wat op toenemende vertikale hoogtes vir (C), in die verskillende horisontale posisies van (A) geplaas is, getel. Die vertikale volume in die glashouer, vir 'n spesifieke afstand vanaf die detektor wat 'n telfout van 1% van die tellings sou meebring, kon dus waargeneem word. Die fatsoen-verandering van die monster a.g.v. droging was ook nie eweredig nie. Gevolglik was rotering van die monster nodig. Dit bring mee dat aktiwiteitsmetinge uitgedruk word as die gemiddelde aktiwiteit oor die draaias van die motor.

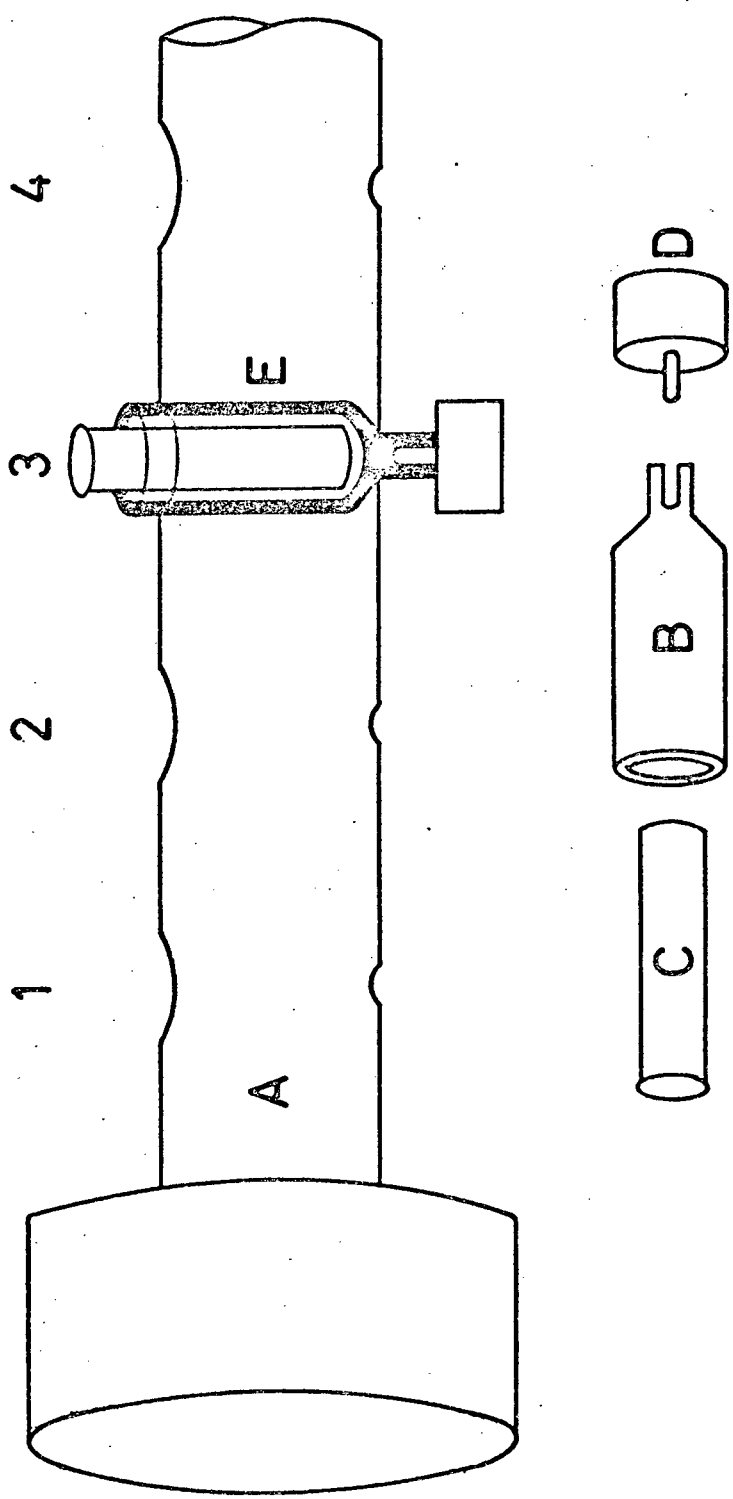


Fig. 2.4: Geometriese opstelling vir meting van aktiwiteit

- A. Stut met permanente posities vir roterende kelkie met monsterhouer.
- B. Roterende kelkie.
- C. Monsterhouer.
- D. Aandrywingsmotor met rattekas vir rotasie.
- E. Kelkie met glashouer in posisie en gekoppel aan aandrywingsmotor.

Die resultate van hierdie kalibrasie word gegee in figuur 2.5 en toon dat vir 'n afstand van groter as 10.5 cm vanaf die detektor, 'n volumehoogte van 6 cm in die monsterhouer, binne die foutgrens van 1% val. Dit het geimpliseer dat, vir hierdie spesifieke monsterhouers, die oester wat gebruik sou word nie langer as ongeveer 5 cm in skulplengte moes wees nie.

'n Aansienlike persentasie van die massa van 'n oester bestaan uit water. Daar kon dus verwag word dat 'n verskil sou bestaan in aktiwiteitsmetinge van die nat en droë monsters. Die absorpsie van gammastrale met verskillende energieë in water, is gemeet met behulp van verseëlde bronne vanaf die AIEA, Vienna. Die verseëlde bronne wat gebruik is word aangegee in tabel 2.3 en die resulterende persentasie absorpsie in figuur 2.6. Hierdie faktor is dan ook in berekening gebring met die verwerking van die data.

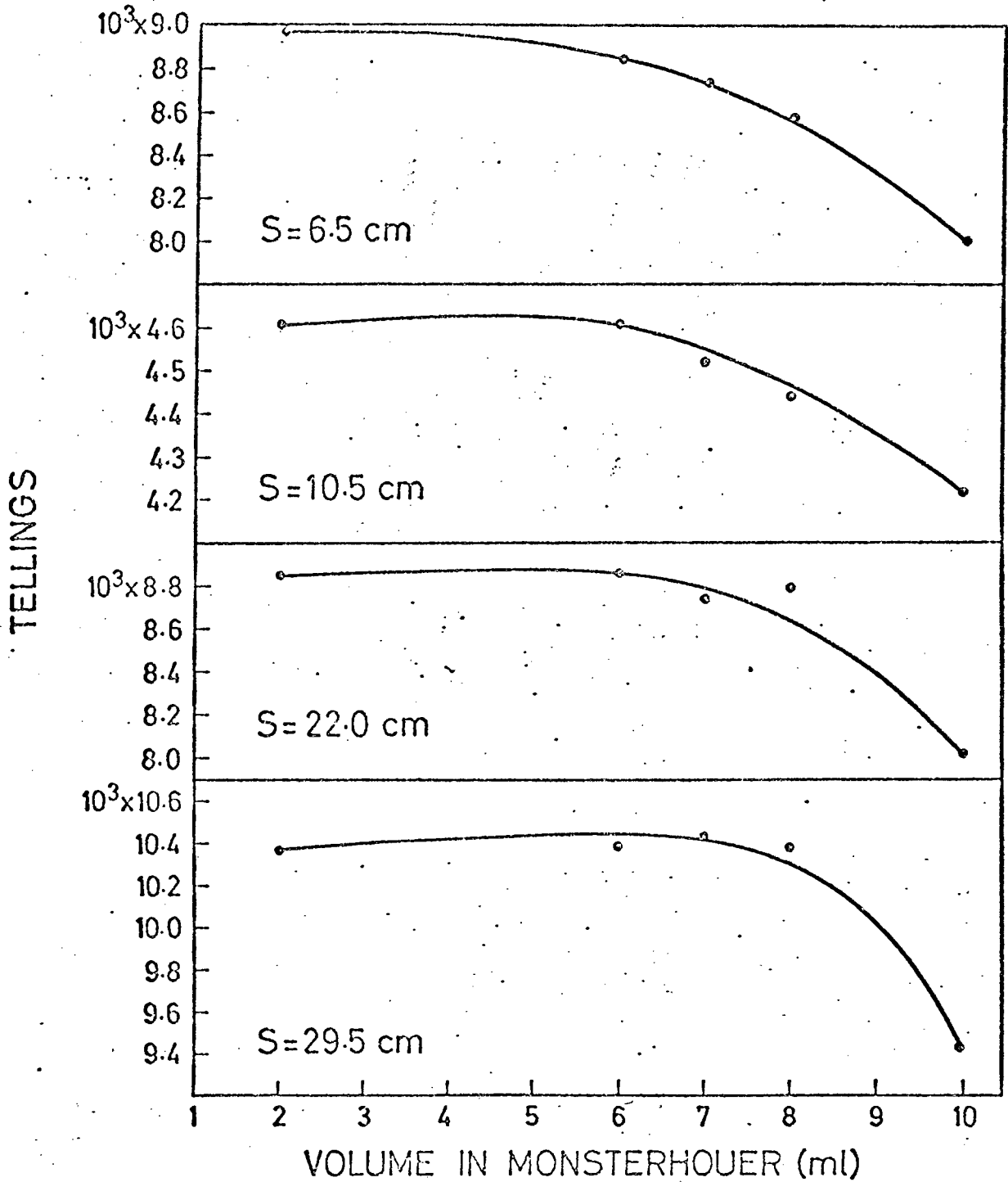


Fig. 2.5: Kalibrasie van monstervolume met afstand vanaf detektor

S = Die afstand wat die monsterhouer vanaf die detektor geplaas is.

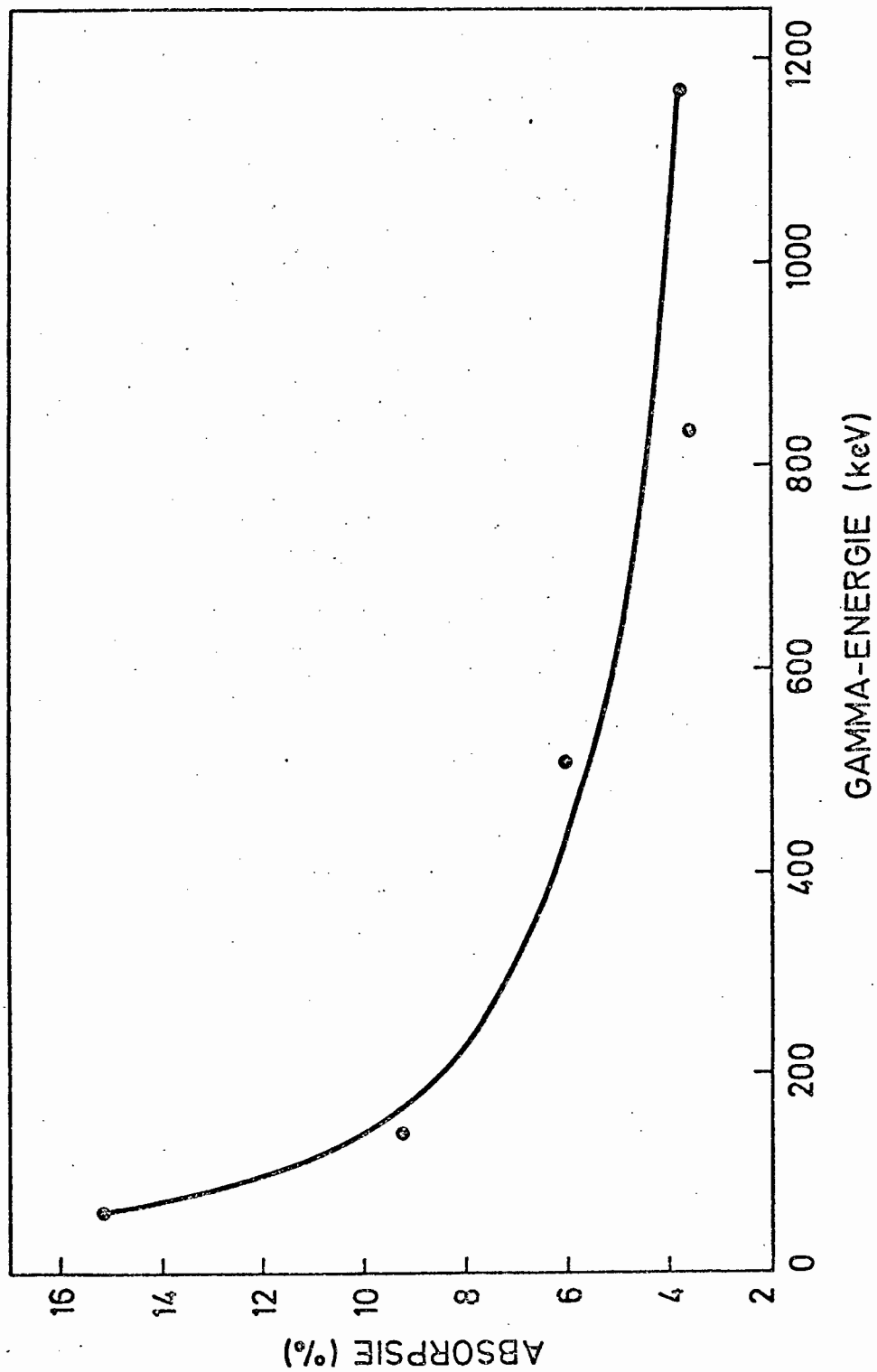


Fig. 2.6: Absorptie van gammastrale in water.

TABEL 2.3

Radionukliede wat in verseëlde bronne vir die kalibrasie van water-absorpsie by verskillende energieë gebruik is.

Nuklied	Halfleeftyd	Gammastraal- energie (keV)	Intensiteit $\gamma/100$ desintegrasies
Am-241	458 j	59.5	91
Co-57	267 d	122	87
Na-22	2.62 j	511 [†]	180
Mn-54	303 d	835	100
Co-60	5.26 j	1 173 j	100

[†] Vernietigingsfotone.

H O O F S T U K 3

RESULTATE EN GEVOLGTREKKINGS

- 3.1 Berekeninge
- 3.2 Massametings
- 3.3 Aktiwiteitsmetings
 - 3.3.1 Kroom
 - 3.3.2 Mangaan
 - 3.3.3 Yster
 - 3.3.4 Kobalt
 - 3.3.5 Sink
 - 3.3.6 Selenium
 - 3.3.7 Kadmium
 - 3.3.8 Lood
- 3.4 Bespreking

3.1

BEREKENING

In die ideale toestand kan die vorm van 'n fotopiek by energie E in 'n energiespektrum, aangegee word deur 'n Gaussiese distribusie, maar prakties is hierdie vorm effens verskeef aan die lae energie-kant van die piek. Die bruto tellings geïntegreer oor die energiegebied $(E \pm \Delta E)$ wat deur so 'n piek gedek word, bestaan uit die tellings waargeneem vanaf die gammafotone afkomstig vanaf die spesifieke monster, sowel as die van ander bronne, soos natuurlike radioaktiwiteite, kosmiese strale ens., wat die agtergrond uitmaak.

Om die netto tellings vanaf die monster te verkry, word aanvaar dat die spektrumvorm aan weerskante van die fotopiek deel uitmaak van 'n agtergrondkontinuum wat nie drasties oor die energiegebied $(E \pm \Delta E)$ verander nie. Die gemiddelde van die geïntegreerde telling in die gebiede $(E - 3\Delta E)$ tot $(E - \Delta E)$ en $(E + \Delta E)$ tot $(E + 3\Delta E)$ word dan beskou as die agtergrond bydrae oor die energiegebied $(E \pm \Delta E)$.

Die mees algemene gebruiksvorm vir die statistiese analise van telfoute, is die berekening van die standaard afwyking (σ). Wanneer die halfleeftyd van 'n radioaktiewe isotoop wat verval, lank is in vergelyking met die tydsduurte waaronder die isotoop getel word, is dit onnodig om enige korreksie aan te bring vir die verval van die radionuklied oor die metingsperiode. Aangesien die verval van 'n radioaktiewe atoom 'n ewekansige proses is a.g.v. die feit dat die aantal atome in 'n radioaktiewe monster wat getel word baie groot is, kan dit aanvaar word dat die gemete standaard afwyking (σ) dieselfde is as die teoretiese

standaard afwyking vir 'n oneindige aantal voorvalle. Onder hierdie omstandighede is die standaard afwyking die vierkantswortel van die aantal voorvalle. Dit word dus geregverdig om die resultate uit te druk as:

$$n \pm \sqrt{n} \quad \dots\dots (1)$$

Omdat die agtergrondtelling egter ook statisties van aard is, is dit nodig om ook hierdie tellings aan dieselfde ontleding te onderwerp. Die statistiese fout op die netto tellings in 'n fotopiek van 'n nat monster – en na elke drogingsprosedure daarvan – kon dus as volg uitgedruk word:

$$\text{Netto tellings}_{\text{nat}} = n_t - n_a \pm \sqrt{(\sigma_t)^2 + (\sigma_a)^2} \quad (2)$$

waar n_t = totale geïntegreerde tellings oor fotopiek-energie

n_a = geïntegreerde agtergrond tellings oor dieselfde energiegebied

Die moontlike verlies in tellings na die droging van 'n monster, is verkry deur die kwantitatiewe vergelyking van die fotopiek van 'n nat monster met dié van dieselfde monster na elke drogingsprosedure. Die persentasie verandering is dus:

$$\text{Verandering \%} = \left[\frac{\left(t_{\text{nat}} - t_{50^\circ\text{C}} \right) \pm \sqrt{(\sigma_{t_{\text{nat}}})^2 + (\sigma_{t_{50^\circ\text{C}}})^2}}{t_{\text{nat}}} \right] \cdot 100 \quad (3)$$

Die waargenome tellings van elke nat monster is gekorrigeer vir absorpsie – sien Hoofstuk 2, bladsy , en alle monsters is genormaliseer vir radioaktiewe verval volgens die bekende formule:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \dots\dots\dots (4)$$

- waar N_0 = aantal tellings ten tye van monster₅₀₀ telling.
 N = aantal tellings ten tye van monster_{nat,90,105,120°C}.
 λ = $0.693/T_{1/2}$
 t = verstreke tyd tussen waarneming van dieselfde monster.

Vanwee die onderlinge verskille in noukeurigheid tussen die verge-
 lykbare metings word gebruik maak van geweege gemiddeldes (Ba 73).
 Die gewigsfaktore is op die gebruikelike wyse vanuit die betrokke
 foutgrense verkry. Die foutgrense op die geweege gemiddeldes,
 is dus geweege standaard afwykings met dieselfde gewigsfaktore
 en word as volg uitgedruk:

$$\bar{X}_g = \frac{\sum_i^n x_i h_i}{\sum_i^n h_i} \pm m_{\bar{x}_g}, \quad \dots\dots (5)$$

- waar $h_i = \frac{1}{m_i^2}$
 n = aantal metings.
 x = persentasie aktiwiteitsverandering
 m = persentasie standaard afwyking.

en

$$m_{\bar{x}_g} = \sqrt{\frac{\sum_i^n x_i v_i}{(n-1) \sum_i^n h_i}} \quad \dots\dots (6)$$

- met $v_i = \bar{x}_g - x_i$

3.2 Massametings

Die gemiddelde persentasie verlies in massa a.g.v. oonddroging is $85.6 \pm 8.5\%$, $89.5 \pm 2.4\%$, $89.6 \pm 2.2\%$ en $89.8 \pm 2.2\%$ vir droging by 50°C , 90°C , 105°C en 120°C respektiewelik soos aange-
toon op bladsy 42 en in Bylae I. Die bydrae van water tot die massa van die oester *C. gigas* is dus ongeveer 89% en bereik reeds konstante massa na droging by 90°C vir 48 uur. Alhoewel die persentasie verlies 'n geringe toename toon met styging in drogings-
temperatuur, kan hierdie toename nie toegeskryf word aan oksidasie van die organiese materiaal nie, aangesien die toename binne die foutgrense van die metings val.

Droging vir 48 uur by 50°C was nie genoegsaam om die monsters tot 'n konstante massa te droog nie. Individuele monsters met 'n nat massa groter as 3 g, toon 'n merkbare kleiner persentasie massaverlies gedurende die 48 uur droging by 50°C en is verantwoordelik vir die relatiewe hoër foutgrens van 8.5%. Indien biologiese materiaal van hierdie aard dus by temperature so laag as 50°C tot 'n konstante massa gedroog moet word, sal die duurre van die droging verleng moet word na gelang die nat massa van die monster toeneem.

Aangesien die tydsduurre van sublimasie gedurende die vries-
drogingsproses 'n funksie is van die dampdruk, kan die tempo van droging met hierdie proses nie direk vergelyk word met die van oonddroging nie.

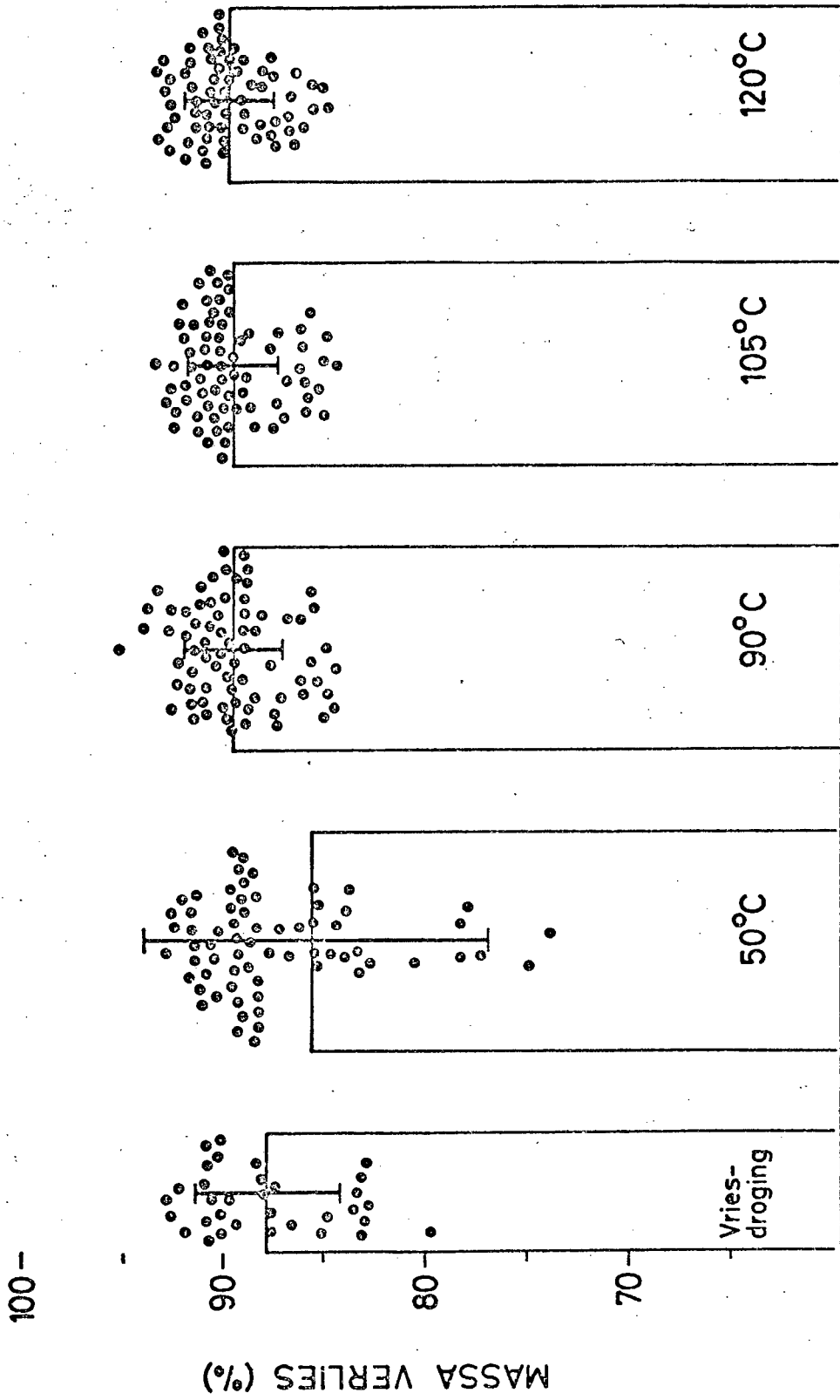


Fig. 3.1: Individuele metings van massa verlies met droging van oesters.

3.3 Aktiwiteitsmetings

Individuele metings van die verskillende elemente word aangegee in tabelle en figure in Bylae 2. Die resultate van geweegde gemiddeldes word getoon in tabel 3.0 op bladsy 44 en in figure naas die bespreking van elke element. Weens die omvangrykheid van die resultate, word voorts met die bespreking daarvan, slegs verwys na die bladsy waarop die betrokke resultate verskyn.

3.3.1 Kroom

Die redelike konsentrasie waartoe kroom geakkumuleer is, word weerspieël deur die lae foutgrense op die individuele meting soos getoon op bladsye 78 en 79. Die gelykmatige assimilasië van individuele oesters teenoor hierdie element word ook weerspieël deur die klein variasie op die foutgrense van die persentasie veranderings soos gemeet vir elke individu en aangedui in kolomme 5, 8, 11 en 14 op bladsy 78. Alhoewel die geweegde gemiddeldes op bladsy 45 slegs geringe verliese van -2.2%, -1.8%, -1.8% en -0.11% toon vir 50°C, 90°C, 105°C en 120°C onderskeidelik, is hierdie verliese tog betekenisvol omdat die verliese groter is as die geweegde foutgrense, behalwe in die geval van 120°C.

Dieselfde tendens t.o.v. gelykmatige assimilasië is ook waarneembaar by die monsters wat vriesdroging ondergaan het. Die geweegde gemiddelde van 4.2% in hierdie geval met 'n foutgrens van 3.3%, impliseer egter dat verliese met hierdie metode nie waargeneem kon word nie.

T A B E L 3.0

Persentasie van gemiddelde, geweegde veranderinge

Element	Vriesdrogging	Oondrogingstemperatuur			
		50°C %	90°C %	105°C %	120°C %
Cr	4.2 ± 3.3	-2.2 ± 0.87	-1.8 ± 0.97	-1.8 ± 0.91	-0.11 ± 0.94
Mn	---	---	---	---	---
Fe	1.0 ± 5.9	-2.3 ± 1.1	-1.3 ± 1.5	-0.42 ± 2.4	---
Co	3.2 ± 4.6	-1.8 ± 1.6	-1.4 ± 1.7	-1.9 ± 1.8	-2.8 ± 1.8
Zn	-0.30 ± 0.47	1.7 ± 1.0	2.2 ± 1.1	1.3 ± 0.96	1.1 ± 1.3
Se	-4.9 ± 2.4	-3.8 ± 1.2	-5.1 ± 1.2	-3.6 ± 1.1	-14.8 ± 1.4
Cd	-11.9 ± 2.4	-1.2 ± 2.4	-8.7 ± 2.9	-8.4 ± 2.6	-8.6 ± 3.1
Pb	-14.0 ± 3.3	-8.9 ± 0.92	-14.0 ± 1.0	-17.8 ± 1.2	-20.3 ± 1.3

3.3.2 Mangaan

Die resultate van die individuele monsters word op bladsy 80 getoon. Alhoewel ^{54}Mn in dieselfde konsentrasies toegedien was as die ander radionukliedes, was die akkumulاسie in al die monsters behalwe 1-5 en 16-18 ontoereikend om 'n behoorlike studie van hierdie element met drogingsprosedures te maak.

Alhoewel die resultate van daardie monsters wat wel 'n hoër akkumulاسie van ^{54}Mn getoon het nie in tabel ingesluit is nie, is die berekende ooreenstemmende waardes vir monsters 1-5 wat oonddroging by 50°C ondergaan het $2.3 \pm 2.9\%$ en die by 90°C $3.5 \pm 1.4\%$. Hierdie monsters wil egter daarop dui dat geen verliese van ^{54}Mn in die biologiese materiaal tydens drogingsprosedures plaasvind nie.

3.3.3 Yster

Tabel 2.1 op bladsy 18 toon dat geen oesters die akkumulاسie van yster, antimoon en arseen oorleef het nie. Omdat hierdie mortaliteit moontlik toegeskryf kon word aan toksikologiese effekte van antimoon en arseen was die eksperiment herhaal met alleenlik ^{59}Fe as toegevoegde nuklied. Hierdie herhaling het egter ook 'n mortaliteit van 70% tot gevolg gehad, wat daarop dui dat yster in die toegediende vorm ook waarskynlik toksies was.

Alhoewel stabiele yster tot hoë konsentrasies deur mariene organismes geakkumuleer word, is groot verskille wel waargeneem (Ro 71) in die gedrag van ^{55}Fe , afkōstig vanaf atmosferiese uitval, en stabiele yster in die mariene omgewing, wat toegeskryf is aan

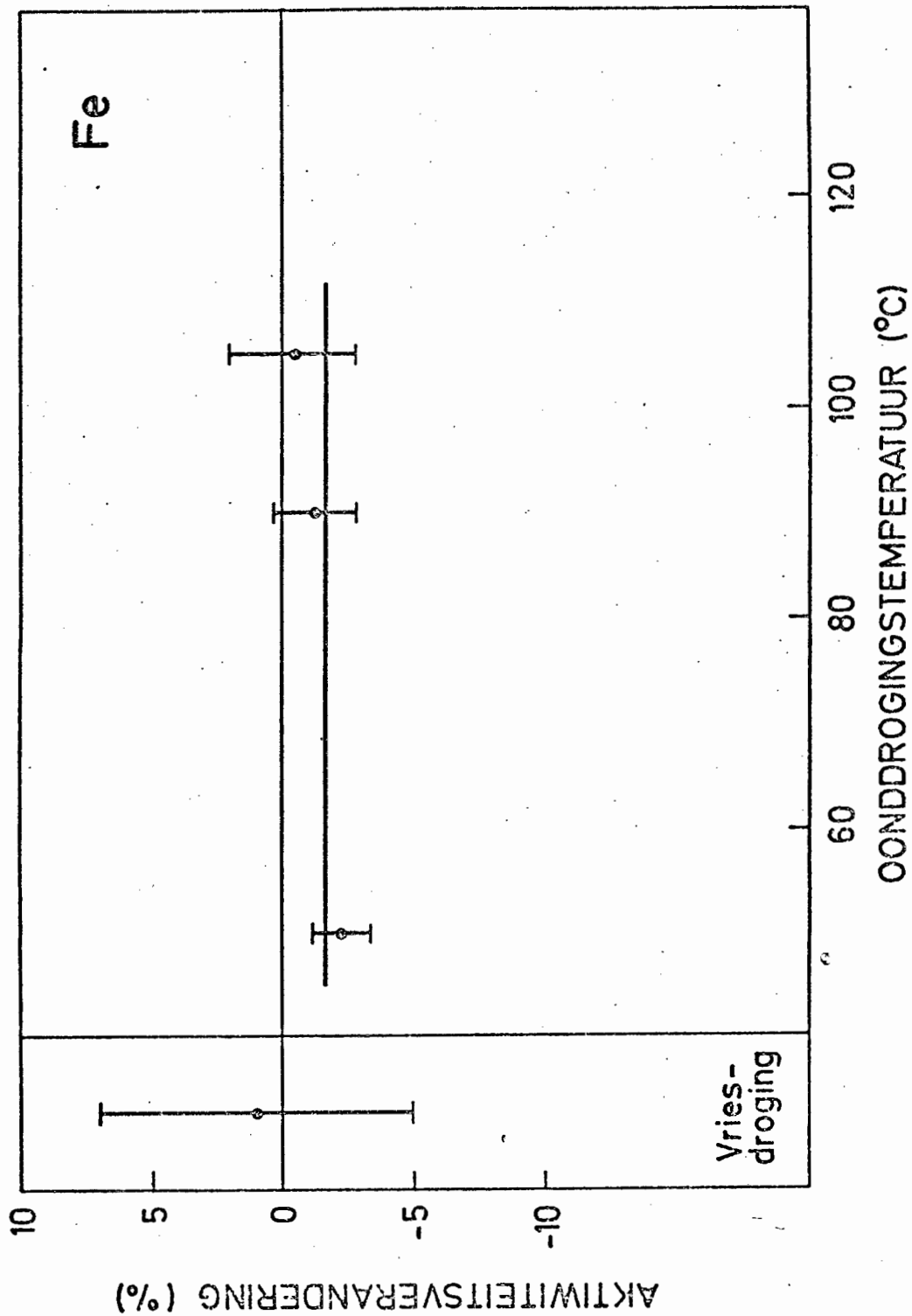


Fig. 3.3: Geweegde aktiviteitsverandering van geakkumuleerde yster, tydens die droging van oesters.

moontlike verskillende fisiese-chemiese vorms van hierdie element. Die vermoede bestaan dan ook dat yster in 'n oplosbare, organiese-chelaatvorm meer aanneemlik is vir akkumulاسie uit seewater (Ro 71).

Stabiele yster kom hoofsaaklik voor in die 3^+ oksidasie-staat in seewater. Soos in tabel 2.1 aangedui, was die radioisotoop ^{59}Fe in 'n soortgelyke anorganiese vorm, FeCl_3 , toegedien. Die swak akkumulاسie in hierdie eksperiment onderskryf dus die vermoede dat yster in 'n oplosbare, organiese verbinding waarskynlik meer aanneemlik vir akkumulاسie sou wees.

Uit die beperkte beskikbare data, soos aangetoon op bladsy 47 en 80 kan egter wel afgelei word dat yster geen verliese toon met oonddroging en vriesdroging prosedures nie.

3.3.4 Kobalt

Alhoewel ^{58}Co in hoër konsentrasies toegedien was, (3 en 5 $\mu\text{Ci/l}$), as al die ander elemente behalwe lood, toon die data op bladsy 83 dat 'n uiters geringe persentasie wel geakkumuleer is.

Die effek van verskillende fisiese-chemiese vorms van radiospoorders in akkumulاسie studies (Sh75) het veral wat kobalt aanbetref 'n duidelike verskil getoon. In 'n vergelykende studie met die sandmossel *Donax denticulatus*, was die akkumulاسie van toegediende organiese kobalt (^{57}Co -kobaltamien) en anorganiese kobalt (^{58}Co -ionies), bestudeer. Die resultate het getoon dat hierdie organisme na 'n tydperk van 21 dae, organiese ^{57}Co vyf maal hoër

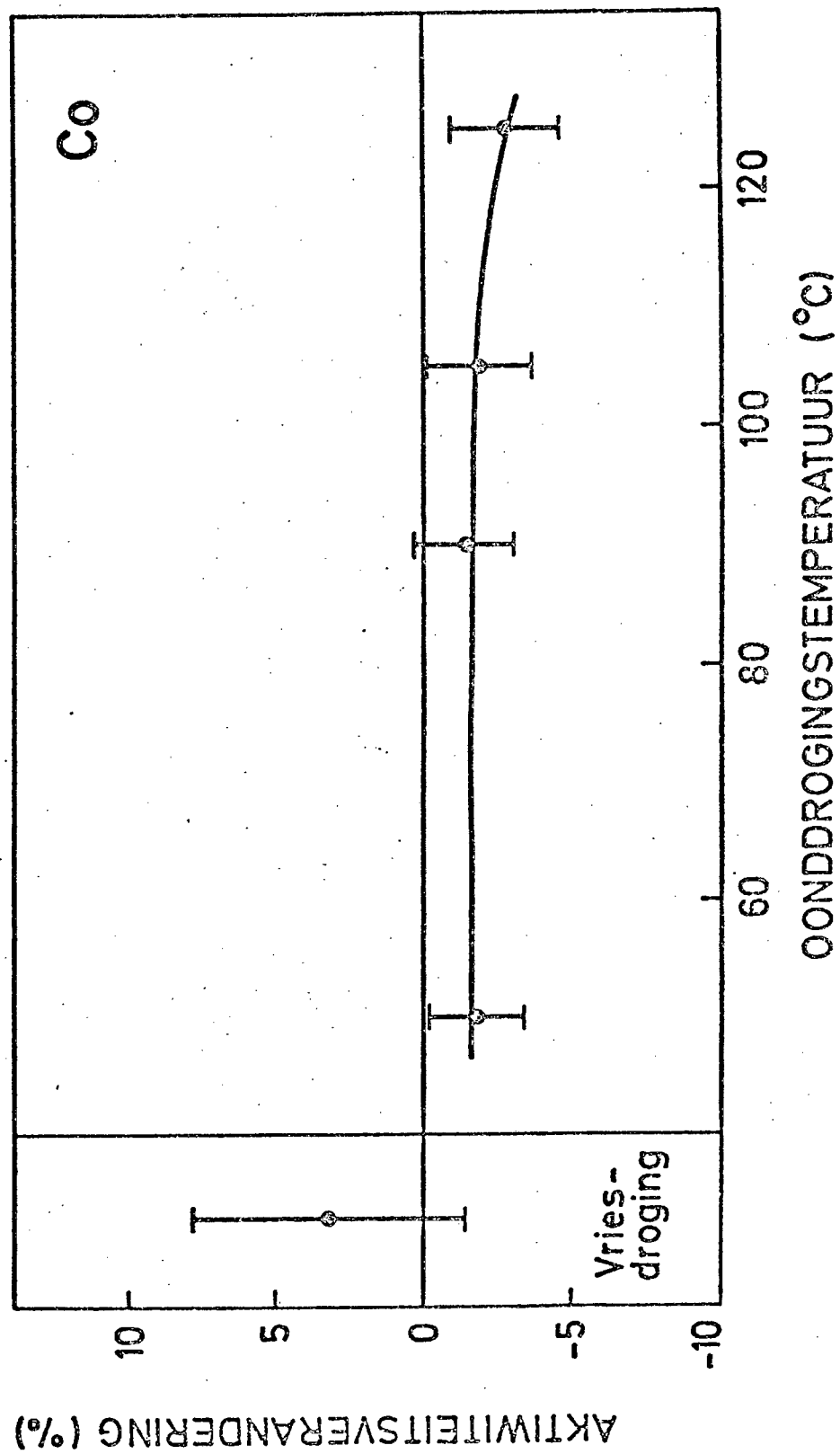


Fig. 3.4: Geweegde aktiviteitsverandering van geakkumuleerde kobalt, tydens die droging van oesters.

gekonsentreer het as die ioniese ^{58}Co .

As gevolg van die lae akkumulاسie van ^{58}Co in hierdie eksperiment, toon die geweegde gemiddeldes op bladsy 50, foutgrense van dieselfde orde as die waardes en kan dus geen afleiding t.o.v. die moontlike vorming van organiese verbindings tydens metabolisme gemaak word nie. Uit 'n analitiese standpunt gesien, toon kobalt dus geen verliese met die oond- of vriesdroging van hierdie biologiese materiaal nie.

3.3.5 Sink.

Uit die akkumulاسie data op bladsy 85, is dit waarneembaar dat ^{65}Zn nie teen dieselfde tempo of in gelyke konsentrasies deur individuele oesters ge-assimileer word nie. In vergelyking met die ander elemente, is die affiniteit vir sink – soos ook die geval met kadmium – vir sommige van die individuele oesters hoër as vir die ander. Met vriesdroging, sowel as oonddroging tot by 120°C , was geen verliese waarneembaar nie, en wil dit voorkom dat sink in die anorganiese vorm deur die organisme gestoor word of dat moontlik gevormde organiese verbindings nie-vlugtig is onder hierdie toestande nie.

Sink is biologies noodsaaklik in die marieneomgewing en is 'n bestanddeel van verskeie belangrike ensiemes (Ro 71). In 'n studie van hierdie ensiemes – organiese verbindings of proteiene met katalitiese eienskappe – in oesters, was gevind dat byna al die sink gebind word aan proteiene van 'n hoë molekulêre gewig (Ro 71). Die sink wat deur die oesters benodig word, verteen-

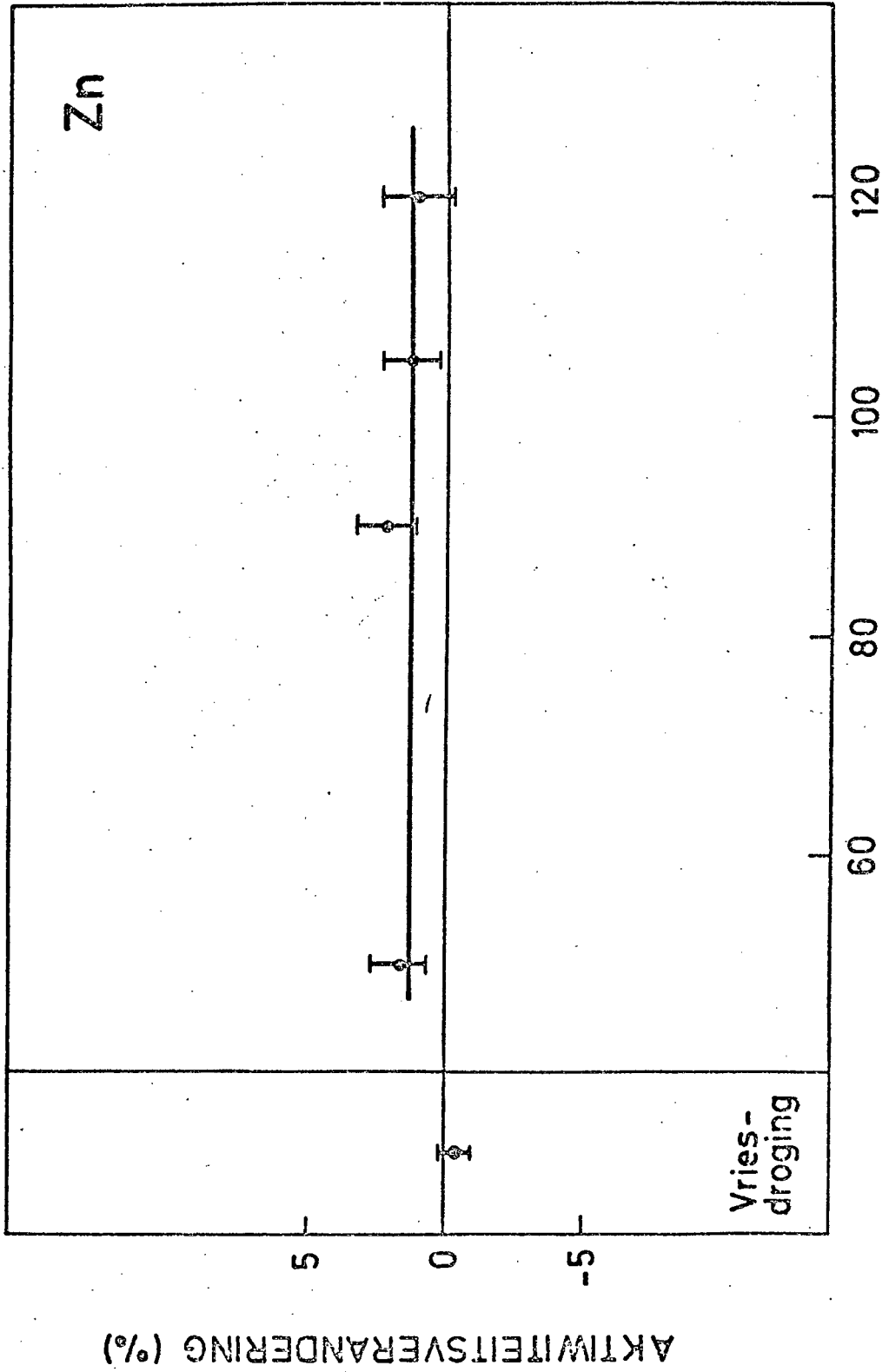


Fig. 3.5: Geweegde aktiwiteitsverandering van geakkumuleerde sink, tydens die droging van oesters.

woordig egter alleenlik ongeveer 4% van die totale sink wat so 'n organisme akkumuleer. Die afleiding is gemaak dat die oormaat (96%) sink met akkumulاسie, *nie-metabolies* beheer word. Die oneweredige akkumulاسie van sink, m.b.t. die konsentrasie verskille in individuele oesters, soos gevind met hierdie eksperiment, kon dus verklaar word deur die geringe persentasie geakkumuleerde sink wat benodig word vir ensiematiese bedrywighede en dat die oormaat dus slegs a.g.v. 'n filteraksie geabsorbeer word. Die feit dat geen sink verliese met droging in hierdie ondersoek waargeneem is nie, onderskryf die afleiding dat hierdie element in oormaat, *nie-metabolies* deur oesters geakkumuleer word, en sink dus as die anorganiese verbinding in die organisme bly voortbestaan.

3.3.6 Selenium

Selenium is 'n nie-metaal met 'n smeltpunt van 217°C en kookpunt van $484 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$. Dit het 'n valensie van -2, +4 of +6 en val in dieselfde groep as swawel. Alhoewel die element nie-toksies voorkom, is waterstofseleniede (H_2Se) en verskeie ander seleniumverbindinge wel toksies en reageer fisiologies ooreenkomstig met arseen. Behalwe vir H_2Se wat vervlugtig by ongeveer -41°C , ontbind en sublimeer die meeste anorganiese verbindinge van selenium met verhitting. Die seleniedes van die alkaliemetale (Na_2SeO_3 , K_2SeO_3), wat oplosbaar is in water, vorm egter verbindinge wat stabiel is m.b.t. verhitting.

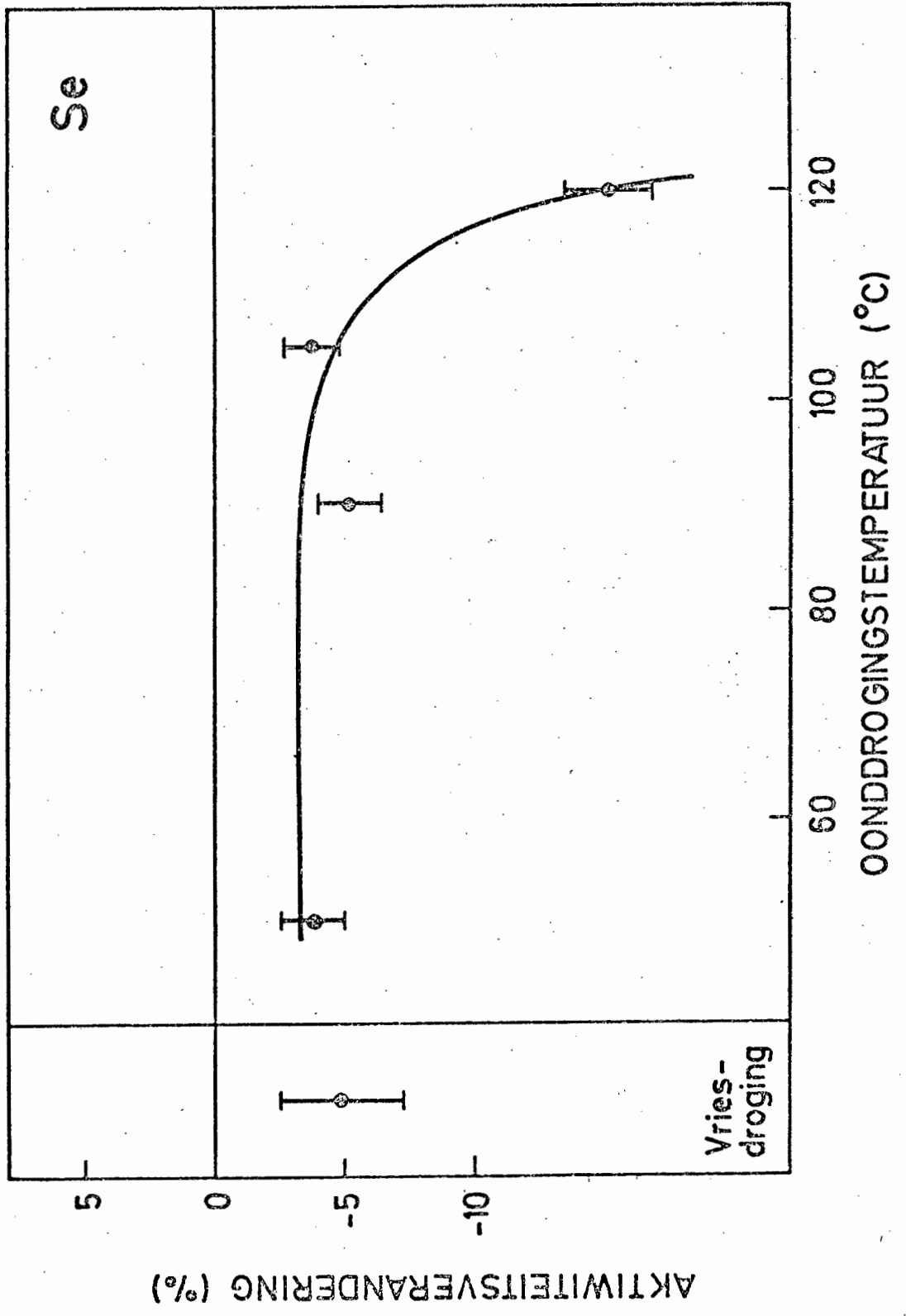


Fig. 3.6: Geweegde aktiviteitsverandering van geakkumuleerde selenium, tydens die droging van oesters.

Die resultate van die akkumulاسie en vervlugting van selenium in individuele monsters, word aangetoon op bladsy 86 en 87, die geweegde gemiddeldes op bladsy 53, en toon oor die algemeen 'n eweredige assimilasie van die seleniumisotoop. Verliese van *gemetaboliseerde* selenium met oond- sowel as vriesdroging van die biologiese materiaal word duidelik weerspieël in figuur op bladsy 53. Alhoewel hierdie verliese relatief gering is met vriesdroging - $4.9 \pm 2.4\%$, sowel as by die laer temperature met oonddroging nl. $\leq 5\%$ by 50°C , 90°C en 105°C , word 'n ingryp-ende verlies van -14.8% waargeneem by 120°C .

Selenium was toegevoeg as die isotoop van die oplosbare natrium-seleniet wat, soos reeds genoem, stabiel is met verhitting. Indien hierdie soutverbinding in seewater sou reduceer tot natriumseleniede, en as sulks gemetaboliseer was, sou dit geen verskil gemaak het aan die eksperiment nie, weens die hoë ontbindingstemperatuur van natriumseleniede ($>800^{\circ}\text{C}$). Verdere reduksie tot H_2Se het ook nie plaasgevind nie, omdat selenium, as hierdie verbinding, nie beskikbaar sou wees vir akkumulاسie vanweë sy lae kookpunt - 41°C , nie.

Met die metabolisme van selenium het organiese-metaalverbindings en/of die chelering met organiese verbindings, dus wel plaasgevind. Alhoewel die geweegde gemiddelde 'n verlies van -14.8% by 120°C aandui, toon die individuele metings verliese so hoog as -23% soos weergegee op bladsy 87 en kan die droging van biologiese materiale vir die kwantitatiewe bepaling van selenium tot ernstige eksperimentele foute lei.

3.3.7 Kadmium

In die periodieke tabel word kadmium groepeer saam met die elemente sink en kwik. Die chemie van kadmium val dan ook nou saam met die van sink, behalwe dat kadmium 'n groter neiging toon tot kompleksvorming. Die kookpunte van die metale kadmium en sink is 765°C en 907°C en die kookpunte van hul chloriedes 960°C en 732°C respektiewelik.

Die konsentrasievlakke waartoe kadmium en sink in hierdie eksperiment geakkumuleer het, kon nie direk vergelyk word nie, aangesien ^{65}Zn ($2\mu\text{Ci/l}$) in 'n hoër konsentrasie toegedien was as ^{109}Cd ($1\mu\text{Ci/l}$). Soos die individuele resultate van kadmium op bladsy 89 en 90 egter toon, vind dieselfde tendens van oneweredige akkumulاسie t.o.v. individuele oesters plaas. Anders as die geval met sink, toon die geweegde gemiddeldes groot verliese met die droging van biologiese materiaal soos weergegee op bladsy 56. Behalwe met droging tot 50°C , waar geen verliese waarneembaar was nie, was die geweegde gemiddelde verliese in alle gevalle, vriesdroging ingesluit, groter as 8%, met verliese van individuele metings so hoog as 20%.

Die afleiding dat oesters sink in oormaat en nie-metabolies akkumuleer, is dus nie van toepassing op kadmium nie, eerder wel die eienskap dat kadmium in 'n groter mate geneig is tot kompleksvorming.

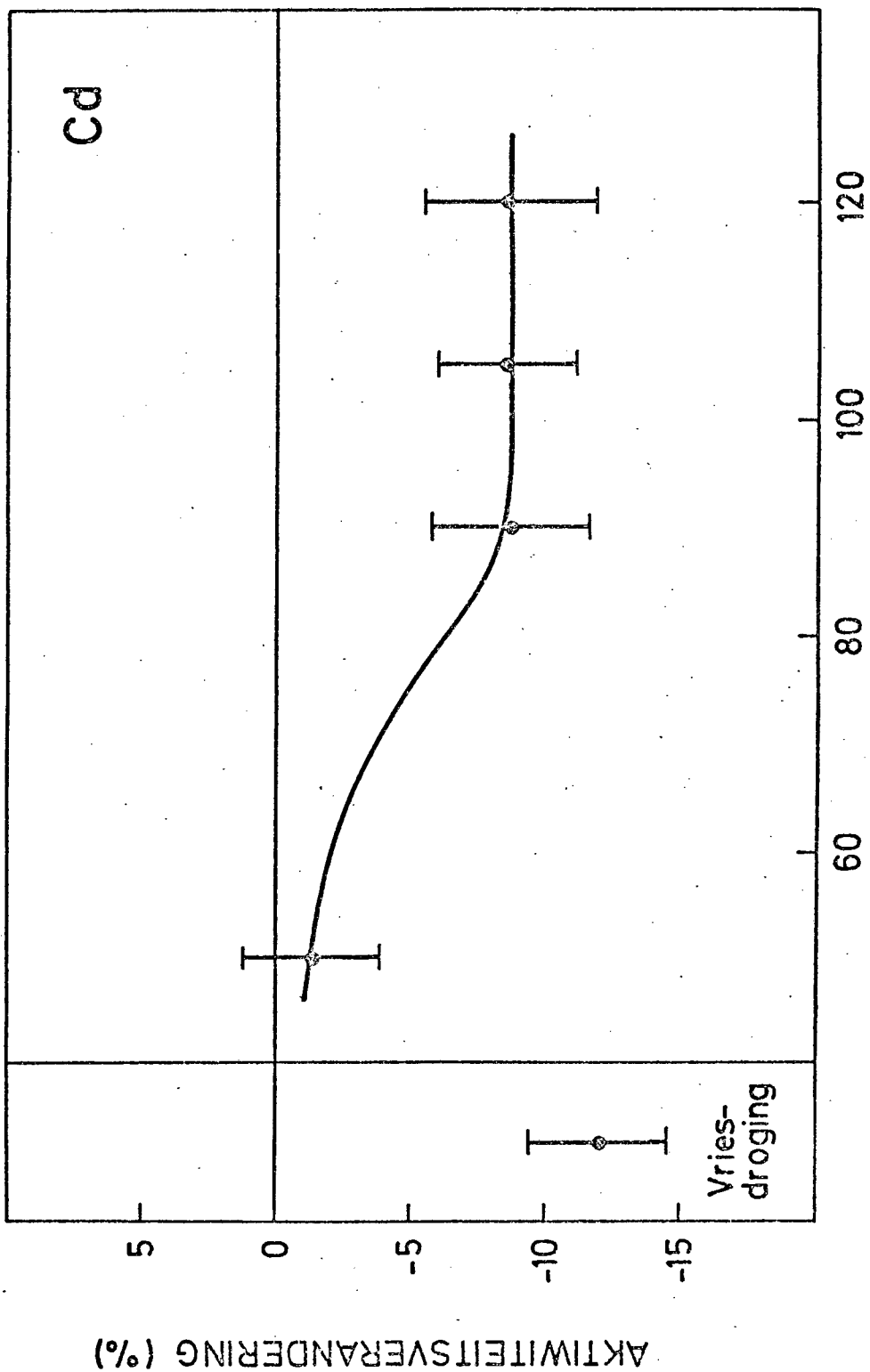


Fig. 3.7: Geweegde aktiviteitsverandering van geakkumuleerde kadmium, tydens die droging van oesters.

Die belangrikste afleidings wat van hierdie resultate gemaak kan word, is:

- (i) kadmium toon betekenisvolle verliese tydens die droging van biologiese materiaal;
- (ii) die geweegde gemiddeldes toon dat die *totale* kadmium verlies met oonddroging plaasvind by 'n temperatuur tussen 50°C en 90°C ;
- (iii) die dampdrukke, van die organiese verbindings wat tydens metabolisme gevorm het, hoog genoeg is om verliese te bevorder met vriesdroging van die materiaal;
- (iv) die geweegde verliese tydens vriesdroging (-11.9%) groter is as die van oonddroging by 120°C (-8.6%) en hierdie verskil betekenisvol is omdat dit van dieselfde orde grote is as die geweegde fout van die bepaling. Aangesien die moontlikheid van chemiese ontbinding groter is by 120°C as by 'n gevriesde monster, is dit moontlik dat hierdie verskil toegeskryf kan word aan die vorming van verbindings met 'n laer dampdruk. Op hierdie aanname kon dit dus gebeur dat verliese by die hoër drogings-temperatuur minder sal wees as met vriesdroging; en
- (v) individuele metings, betekenisvolle verliese tot 20% aandui wat ernstige gevolge by die analise van spoor-konsentrasies van kadmium kan meebring.

3.3.8 Lood

Die resultate van individuele metings word aangegee op bladsy 91 en 92 en die geweegde gemiddeldes op bladsy 59. Soos getoon op bladsy 91 was die akkumulاسie van ^{210}Pb eweredig tussen die individuele monsters en kon die geakkumuleerde isotoop ook redelik maklik waargeneem word weens die hoë konsentrasies van die loodisotoop toegedien.

Met droging van die biologiese materiaal toon lood ernstige verliese. In teenstelling met die ander elemente wat verliese toon, word 'n styging in verliese van die gestoorde loodverbinding waargeneem, na gelang die oonddrogingstemperatuur toeneem, nl., -8.9%, -14.0%, -17.8% en -20.3% vir 50°C , 90°C , 105°C en 120°C onderskeidelik. Die toename in verlies met styging in temperatuur, toon egter eerstens 'n dalende tempo:

$\leq 50^{\circ}\text{C}$: -8.9%; 50°C tot 90°C : -5.1%; 90°C tot 105°C : -3.8%;
 en 105°C tot 120°C : -2.5%, wat impliseer dat ekstrapolasie van hierdie dalende toenames na zero mag neig namate die gevormde loodverbinding vervlugtig.

Tweedens, aangesien die toegediende PbCl_2 nie vervlugtig is nie, dui die dalende tendens daarop dat 'n ander verbinding gevorm is, en dat hierdie verbinding van 'n organiese gemetaboliseerde aard moet wees.

Insgelyks word 'n sorgelyke verlies van -14% waargeneem met vriesdroging van die monster en is dit baie duidelik dat die konvensionele metodes wat gebruik word om biologiese materiaal te droog,

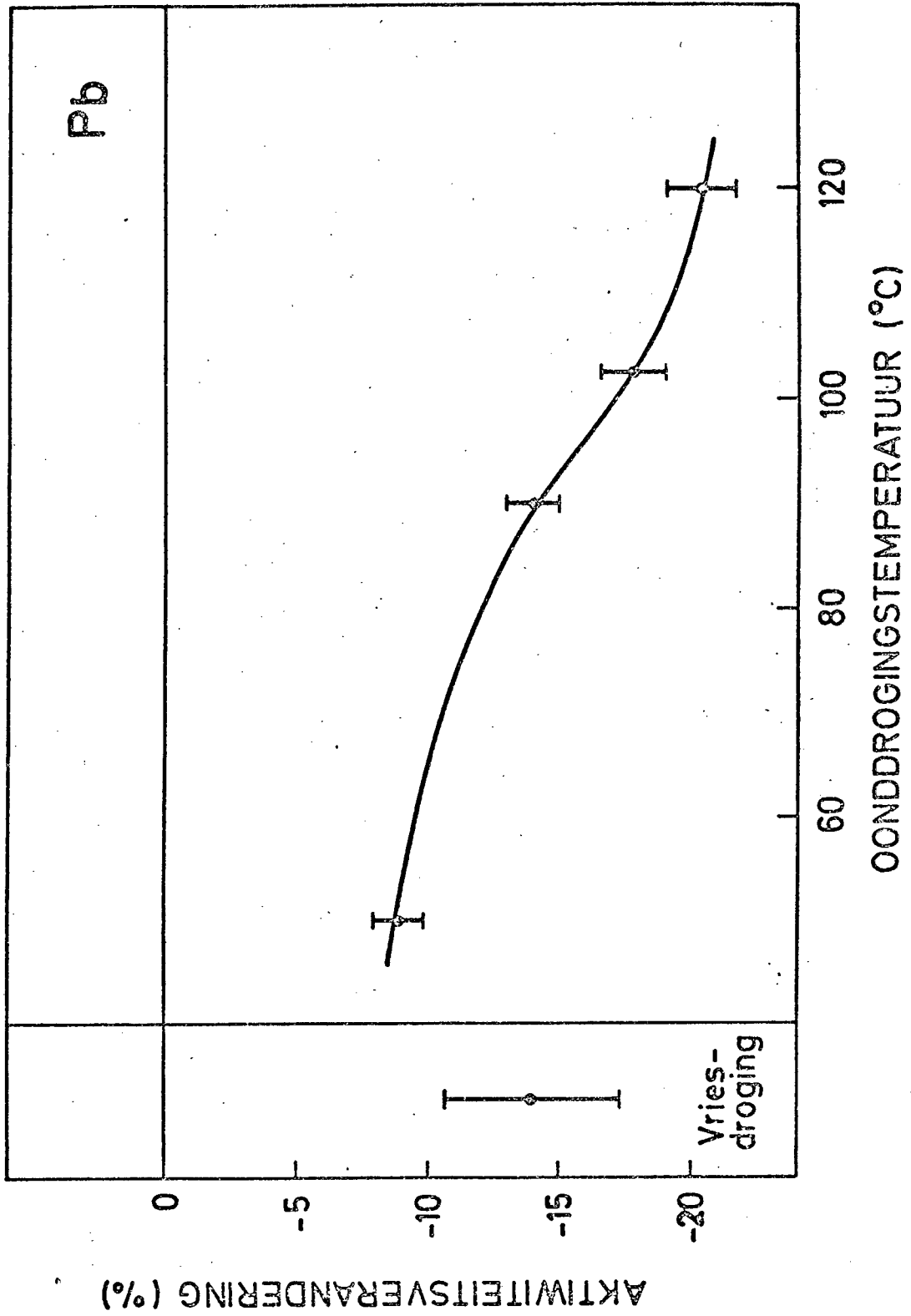


Fig. 3.8: Geweegde aktiviteitsverandering van geakkumuleerde lood, tydens die droging van oesters.

ernstige foute meebring in die kwantitatiewe bepaling van lood.

Die wesentliche verskil wat bestaan tussen die gedrag van lood en die van selenium en kadmium, wat ook verliese aandui, word bespreek in die opvolgende afdeling.

3.4 Bespreking.

Die hoofdoel van hierdie ondersoek was om vanuit 'n analitiese oogpunt gesien, vas te stel of die bestaande metodiek, vir die voorbereiding van biologiese monsters vir die kwantitatiewe ontleding van spoorelemente, aanvaarbaar is.

Die bestaande benadering berus op die aanname dat spoorelemente wat in die natuur deur lewende organismes geakkumuleer word, kwantitatief beskikbaar bly tydens die voorbereidende droging van die materiaal. Selfs in daardie gevalle waar die vermoede bestaan dat verliese wel voorkom, word dit aanvaar dat die verliese gemeet kan word deur die gebruik van anorganiese spoorders. In hierdie ondersoek egter, is hierdie aanname bevraagteken.

In hierdie projek waar gebruik gemaak is van die oester *C. gigas*, as verteenwoordigend van biologiese materiaal, is spoorelemente d.m.v. hul radioaktiewe isotope beskikbaar gestel aan die lewende organismes in 'n akwarium omgewing, wat die natuurlike toestande naboots. Na 'n tydperk van akkumulاسie is gevind dat die oesters die betrokke isotope geassimileer het, en is die aanname dan

gemaak dat die geakkumuleerde isotoop in dieselfde chemiese vorms in die oester voorkom as wat die geval sou wees met die ooreenkomstige stabiele spoorelemente. Hierna is die radioaktiwiteit in die nat monsters, en weer na elke drogingsproses, gemeet. In elke geval is die gemete aktiwiteit met die oorspronklike in elke individuele oester, vergelyk sodat verskille in die gedrag van oesters, nie in aanmerking geneem hoef te word nie.

Die elemente wat ondersoek was, is Cr, Mn, Fe, Co, Zn, Se, Cd en Pb. Die resultate van die ondersoek dui daarop dat die elemente as volg gegroepeer kan word:

- (i) elemente wat geen verliese getoon het met beide vries- en oonddroging nie, nl. Zn.
- (ii) elemente wat waarskynlik geen verliese toon nie, nl. Cr, Fe en Co. In hierdie gevalle was die foutgrense van die metings van dieselfde orde grootte as die gemete verliese, en kan dus geen gevolgtrekking gemaak word nie, en
- (iii) elemente wat wel betekenisvolle verliese getoon het, nl., Se, Cd en Pb.

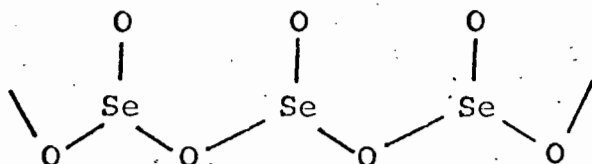
Met die elemente wat geen of geringe verliese toon, word dit aanvaar dat die chemiese vorm van die geakkumuleerde spoorelement in die organisme, anorganies gebind is, en indien die element wel organies gebind is, is die organiese vorms nie vlugtig nie. Dit volg dus dat die aannames wat algemeen aanvaar word vir hierdie elemente geldig is.

Met die elemente Se, Cd en Pb het die resultate egter getoon dat daardie aannames onaanvaarbaar is, en dat selfs vriesdroging van die biologiese materiaal tot verliese lei. Dit dui dus daarop dat 'n gedeelte van hierdie elemente tot die organiese vorm gemetaboliseer word en dat *ten minste* 'n gedeelte van die organiese verbindings vlugtig is.

Selenium

Die verliese verkry met oonddroging tot by 105°C is vergelykbaar met die vanaf vriesdroging, maar by die hoër temperatuur (120°C) vind 'n aansienlike toename plaas. Dit impliseer dus dat die selenium-verbindings, wat met oonddroging tot by 105°C verwyder word, vlugtige verbindings is, en daarom dan ook die verliese met vriesdroging.

Oksidasie in lug is by die hoër temperatuur van 120°C waarskynlik. Die toegediende vorm van die selenium was natriumseleniet (Na_2SeO_3). Indien hierdie verbinding sou oksideer na selenium-oksiede (SeO_2), sou die waarskynlike vorm van die oksied, die kettingstruktuur (We 45)



wees, wat onder hierdie omstandighede nie vlugtig is nie.

Sou dit egter gebeur dat die *organiese vorm* oksideer na SeO_2 , sal die seleenatome ver geskei wees van mekaar, en is dus die waarskynlikste vorm molekulêre SeO_2 wat afdamp. Die waargenome eksperimentele resultate kan deur hierdie aannames verduidelik word.

Kadmium

Veranderings verkry met oonddroging toon dat die totale kadmium wat verloor word, afkom tussen 50°C en 90°C . Die totale verliese by 90°C oonddroging, is van dieselfde orde grootte as die waargeneem met vriesdroging, alhoewel eersgenoemde effens kleiner is.

Indien daar oksidasie van die gemetaboliseerde kadmium na CdO , met oonddroging sou plaasvind, impliseer dit 'n kleiner verlies onder hierdie toestande in vergelyking met die waardes verkry met vriesdroging omdat die oksiedes van kadmium nie vlugtig is nie.

Lood

Die aansienlike verliese van lood wat plaasvind tydens vries- en oonddroging, dui daarop dat hierdie metodiek nie gebruik kan word vir die akkurate bepaling van gemetaboliseerde lood nie. Dit bevraagteken selfs ook die gebruik van nat-verassingsmetodes, wat met temperatuur styging gepaard gaan.

Uit hierdie resultate kan dit afgelei word dat daar gemetaboliseerde lood bestaan in chemiese vorms met aansienlike dampdrukke, selfs by lae temperature. Die vorm van die kromme in figuur 3.8 wil daarop dui dat oonddroging in lug lei tot die oksidasie van loodverbindinge met die vorming van vlugtige produkte, hetsy organiese verbindinge gevorm deur dissosiasie, of oksiedes. Dit sal meebring dat oonddroging by hoër temperature (125°C of hoër) verliese sal toon groter as die wat met vriesdroging verkry word.

VERWYSINGS

- Ba 67 Baric, A. and Branica M., (1967)
Polarography of sea water. 1. Ionic state
of Cd and Zn in sea water.
Journal of the Polarographic Soc., 13, 4-8
- Ba 73 Bartasch, H-J (1973)
Toshenbuch Mathematischer Formeln. Verlag
Harri Deutsch Frankfurt/M., 451
- Br 65 Brooks, R.R., Rumsley M.G., (1965)
The biogeochemistry of trace element uptake by
some New Zealand bivalves.
Limnology and Oceanography, 10, 521-527
- Br 66 Bryan, G.W. (1966)
The metabolism of zinc and Zn-65 in crabs,
lobsters and freshwater crayfish.
Symp. Radioecological concentration processes,
Stockholm, Sweden. 1005-1016. Oxford Pergamon Press.
- Br 67 Bryan, G.W. (1967)
Zinc regulation in the freshwater crayfish
(including some comparative copper analyses)
J. Exp. Biol. 46, 281-296
- Br 69 Bryan, G.W. (1969)
The absorption of Zinc and other metals by
the brown seaweed *Laminaria digitata*.
J. Mar. Biol. Ass., UK 49, 225-243
- Br 71 Bryan, G.W. (1971)
The effects of heavy metals (other than Mercury)
on marine and estuarine organisms.
Proc. Roy. Soc. Lond. B 177, 389-410

- Bu 71 Burrows, E.M. (1971)
Assessment of pollution effects by the use
of algae.
Proc. Roy. Soc. Lond. B 177, 295-306
- Ca 73 Carey, A.G., Cutshall, N.H. (1973)
Zn-65 specific activities from Oregon and
Washington continental shelf sediments and
benthic invertebrate fauna.
Radioactive contamination of the marine environment.
I.A.E.A. - SM-158/13
- Eb 72 Ebdon, L., Kirkbright, G.F., West, T.S. (1972)
Atomic absorption and fluorescence spectroscopy
with a carbon filament atom reservoir. Part XI.
The determination of iron by atomic absorption
spectroscopy.
Anal. Chim. Acta, 61, 15
- Ei 72 Eisler, R., Zariogian, G.E., Hennekey, R.J. (1972)
Cadmium uptake by marine organisms.
J. Fish. Res. B. Canada 29
- Eu 74 Eustace, I.J. (1974)
Zinc, cadmium, copper and manganese in species
of finfish and shellfish caught in the Derwent
estuary, Tasmania.
Aust. J. Mar. Freshwat. Res., 25, 209-220
- Fa 71 Fagerström, Jernelöv, A. (1971)
Water Research 5, 121
- Fe 67 Feldman, F.J., Knoblock E.C. (1967)
The determination of Cr in biological materials
by A.A.
Anal. Chim. Acta., 38, 489

- Fo 75 Fourie, H.O. (1976)
Trace metals in Saldanha Bay.
A paper presented at a Symposium on research in
the natural sciences at Saldanha, February 3-5,
1976, arranged by the Royal Society of South Africa.
- Fo 76 Fourie, H.O. (1976)
Metals in marine organisms from Saldanha Bay
and Langebaan Lagoon prior to industrialisation.
Aanvaar deur S.A. J. Sci. vir publikasie.
- Fr 71 Friberg, L., et al. (1971)
Cadmium in the environment. A toxicological and
epidemiological appraisal.
Nat. Tech. Inf. Serv., US Dept. of Commerce,
Springfield, USA
- Fu 59 Fukai, R., Meinke, W.W. (1959)
Trace analyses of marine organisms. A com-
parison of activation analyses and conventional
methods.
Limno. Oceanogr., 4, 398-408
- Ge 75 Geldiay R., Uysal, H. (1975)
Comparative behaviour of toxic metals in a marine
ecosystem. Origin and fate of chemical residues
in food, agriculture and fisheries.
I.A.E.A., Vienna, STI/PUB/399
- Hi 75 Hiatt, V., Huff, J.E. (1975)
The environmental impact of Cadmium: an overview.
Intern. J. Environ. Studies, 7, 277-285
- Hw 73 Hwang, J.Y., Ullucci, P.A., Mokeler, C.J. (1973)
Direct flameless atomic absorption determination
of lead in blood.
Anal. Chem. 45

- Je 72 Jensen, S., Jernelöv, A. (1972)
Behaviour of Mercury in the environment.
Mercury Contamination in Man and his Environment,
Tech. Report series 137, I.A.E.A., Vienna.
- Lo 72 Lovett, R.J., Gutenmann, W.H., Pakkala, I.S.,
Youngs, W.D., Lisk, D.J. (1972)
A survey of the total Cadmium content of 406
fish from 49 New York state fresh waters.
J. Fish. Res. B. Canada, 29, no. 9
- Mu 66 Mulford, C.E. (1966)
Low-temperature ashing for the determination of
volatile metals by atomic absorption spectroscopy.
A.A. Newsletter 5 no. 6
- No. 74 Norval, E., Butler, L.R.P. (1974)
Trace metals in the human context and their
determination by Atomic Absorption Spectrometry.
National Physical Research Laboratory, CSIR,
Pretoria, South Africa
- Or 71 Orren, M.J. (1971)
The determination of Copper, Zinc, Iron, Manganese,
Potassium, Lithium and Rubidium in sea water by
Atomic Absorption Spectrophotometry.
J. S.A. Chem. Inst. 24
- O'S 71 O'Sullivan, A.J. (1971)
Ecological effects of sewage discharge in the
marine environment.
Proc. Roy. Soc. Lond. B 177, 331-351
- Pa 73 Patel, B., et al. (1973)
Radioecology of certain molluscs in Indian
coastal waters. Radioactive contamination of
the marine environment.
I.A.E.A., - SM - 158/13

- Pe 73 Pentreath, R.J. (1973)
The accumulation from water of Zn-65, Mn-54,
Co-58 and Fe-59 by the mussel *Mytilus edulis*.
J. Mar. Biol. Ass., U.K. 53, 127-143
- Pi 70 Piro, A. (1970)
Physicochemical states of some trace metals in sea
water which are of interest from the radiocontami-
nation standpoint.
Revue Internationale d'Océanographie Medicale,
20, 133-149
- Pr 68 Pringle, B.H., Hissong, D.E., Katz, E.L.,
Mulawka, S.T. (1968)
Trace metal accumulation by estuarine molluscs
J. Sanit. Eng. Div. ASCE, 94, 455-475
- Pr 69 Preston, A., Jefferies, D.F. (1969)
Aquatic aspects in chronic and acute contamination
situations.
Env. Cont. Rad. Mat. 183-211 Vienna, I.A.E.A.
- Ro 71 Robertson, D.E. (1971)
Influence of the physicochemical forms of radio-
nuclides and stable trace elements in sea water
in relation to uptake by the marine biosphere.
BNWL-SA-4048
- Ro 57 Rochow, E.G. Hurd, D.T., Lewis, R.N. (1957)
The chemistry of organometallic compounds.
John Wiley and Sons Inc., New York, USA.
- Sc 73 Scobbie, R. (1973)
Trace metals in sea water.
Tech. Topics, Varian Techtron, Springvale, Australia.

- Se 71 Segar, D.A., Collins, J.D., Riley, J.P. (1971)
The distribution of the major and some minor
elements in marine animals.
Part II. Molluscs.
J. Mar. Biol. Ass. U.K., 51, 131-136
- Sh 75 Shimizu, M. (1975)
Procedures for radioecological studies with
molluscs.
I.A.E.A. Technical Report series no. 167, Vienna.
- Si 66 Sienko, M.J., Plane, R.A. (1966)
Chemistry: Principles and Properties.
McGraw-Hill Inc., New York, USA.
- Sl 71 Slowey, J.F., Hood, D.W. (1971)
Copper, Manganese, and Zinc concentrations in
Gulf of Mexico waters.
Geochimica et Cosmochimica Acta, 35, 121-138
- Va 71 van As, D., Fourie, H.O. Vleggaar, C.M. (1975)
Trace element concentrations in marine organisms
from the Cape West coast.
S.A. J. Sci., 71, 151-154
- We 73 van Weers, A.W. (1973)
Uptake and loss of Zn-65 and Co-60 by the
mussel *Mytilus edulis*.
Radioactive contamination of the marine environment.
I.A.E.A. - SM 158/24
- We 45 Wells, A.F. (1945)
Structural inorganic chemistry.
Clarendon Press, Oxford.

BYLAE I

MASSAMETINGS

MASS MEASUREMENTS

CHROMIUM CHROOM

MASSAMETINGS

27.8 D CR-51

OVEN DRYING

OONDDROGING

SAMPLE NUMBER	WET MASS	50-DEGREES		90-DEGREES		105-DEGREES		120-DEGREES	
		MASS	LOSS PERCENT	MASS	LOSS PERCENT	MASS	LOSS PERCENT	MASS	LOSS PERCENT
1	2.63	.28	89.4	.22	91.6	.25	90.5	.24	90.9
2	1.73	.19	89.0	.18	89.6	.18	89.6	.16	90.8
3	2.56	.28	89.1	.26	89.8	.25	90.2	.23	91.0
4	1.57	.12	92.4	.13	91.7	.12	92.4	.11	93.0
5	1.87	.18	90.4	.17	90.9	.16	91.4	.15	92.0
6	1.48	.19	87.2	.17	88.5	.15	89.9	.17	88.5
7	3.10	.36	88.4	.26	91.6	.30	90.3	.29	90.6
8	2.40	.21	91.2	.18	92.5	.18	92.5	.16	93.3
9	2.27	.25	89.0	.22	90.3	.20	91.2	.21	90.7
10	1.19	.11	90.8	.06	95.0	.09	92.4	.08	93.3
11	2.87	.31	89.2	.28	90.2	.28	90.2	.28	90.2
12	2.32	.22	90.5	.21	90.9	.21	90.9	.19	91.8
13	2.25	.18	92.0	.15	93.3	.15	93.3	.16	92.9
14	2.79	.29	89.6	.25	91.0	.27	90.3	.24	91.4
15	2.46	.23	90.7	.19	92.3	.20	91.9	.18	92.7
16	1.64	.18	89.0	.14	91.5	.15	90.9	.14	91.5
17	1.86	.18	90.3	.15	91.9	.15	91.9	.14	92.5
18	1.75	.15	91.4	.13	92.6	.16	90.9	.15	91.4
19	2.18	.18	91.7	.13	94.0	.18	91.7	.16	92.7

FREEZE DRYING

VRIESDROGING

20	2.66	.32	88.0
21	1.52	.16	89.5
22	1.59	.19	88.1
23	.87	.09	89.7

MASS MEASUREMENTS

MANGANESE MANGAAN

MASSAMETINGS

303. D MN-54

OVEN DRYING

OONDDROGING

SAMPLE NUMBER	WET MASS	50-DEGREES		90-DEGREES		105-DEGREES		120-DEGREES	
		MASS	LOSS PERCENT	MASS	LOSS PERCENT	MASS	LOSS PERCENT	MASS	LOSS PERCENT
1	3.52	.41	88.4	.37	89.5	.38	89.2	.38	89.2
2	4.63	.53	88.6	.47	89.8	.49	89.4	.49	89.4
3	3.02	.37	87.7	.33	89.1	.33	89.1	.33	89.1
4	3.25	.52	84.0	.32	90.2	.30	90.8	.40	87.7
5	3.00	.68	77.3	.28	90.7	.29	90.3	.30	90.0
6	2.10	.16	92.4	.13	93.8	.15	92.9	.14	93.3
7	3.41	.89	73.9	.33	90.3	.32	90.6	.32	90.6
8	3.37	.74	78.0	.29	91.4	.28	91.7	.28	91.7
9	3.23	.81	74.9	.42	87.0	.40	87.6	.40	87.6
10	2.60	.27	89.6	.20	92.3	.19	92.7	.19	92.7
11	2.67	.28	89.5	.29	89.1	.26	90.3	.26	90.3
12	2.12	.18	91.5	.20	90.6	.17	92.0	.17	92.0
13	3.74	.81	78.3	.41	89.0	.38	89.8	.37	90.1
14	2.96	.25	91.6	.25	91.6	.23	92.2	.24	91.9
15	2.48	.26	89.5	.27	89.1	.25	89.9	.25	89.9

FREEZE DRYING

VRIESDROGING

16	3.18	.23	92.8
17	3.80	.35	90.8
18	3.15	.30	90.5
19	3.59	.28	92.2
20	1.04	.13	87.5
21	2.12	.21	90.1
22	2.64	.31	88.3

MASS MEASUREMENTS

IRON YSTER

MASSAMETINGS

45.6 D FE-59

OVEN DRYING

00NDDROGING

SAMPLE NUMBER	WET MASS	50-DEGREES		90-DEGREES		105-DEGREES		120-DEGREES	
		MASS	LOSS PERCENT	MASS	LOSS PERCENT	MASS	LOSS PERCENT	MASS	LOSS PERCENT
1	3.54	.69	80.5	.30	91.5	.30	91.5	.00	100.0
2	1.49	.16	89.3	.11	92.6	.13	91.3	.00	100.0
3	1.42	.16	88.7	.13	90.8	.14	90.1	.00	100.0
4	1.79	.26	85.5	.19	89.4	.20	88.8	.00	100.0
5	1.10	.11	90.0	.09	91.8	.10	90.9	.00	100.0
6	1.79	.19	89.4	.16	91.1	.16	91.1	.00	100.0

FREEZE DRYING

VRIESDROGING

7	4.74	.59	87.6
8	2.71	.20	92.6
9	3.55	.48	86.5

MASS MEASUREMENTS

COBALT KOBALT

MASSAMETINGS

71.3 D CO-58

OVEN DRYING

00NDDR0GING

SAMPLE NUMBER	50-DEGREES		90-DEGREES		105-DEGREES		120-DEGREES	
	WET MASS	LOSS PERCENT	MASS	LOSS PERCENT	MASS	LOSS PERCENT	MASS	LOSS PERCENT
1	5.77	.62	.59	89.3	.57	89.8	.56	90.3
2	4.31	.47	.45	89.1	.43	89.6	.42	90.3
3	6.43	.69	.65	89.3	.62	89.9	.63	90.2
4	4.37	1.78	.63	59.3	.62	85.6	.59	86.5
5	4.50	2.21	.62	50.9	.62	86.2	.56	87.6
6	2.52	.55	.29	78.2	.32	88.5	.30	88.1
7	4.55	2.09	.54	54.1	.56	88.1	.52	88.6
8	4.31	1.93	.53	55.2	.56	87.7	.51	88.2
9	2.82	.33	.31	88.3	.31	89.0	.31	89.0
10	2.33	.26	.26	88.8	.26	88.8	.23	90.1
11	1.93	.17	.17	91.2	.17	91.2	.16	91.7
12	2.25	.20	.20	91.1	.18	91.1	.20	91.1
13	3.51	.36	.37	89.7	.32	89.5	.32	90.9
14	1.92	.14	.19	92.7	.18	90.1	.17	91.1

FREEZE DRYING

VRIESDR0GING

15	3.14	.39	87.6
16	3.10	.25	91.9
17	3.12	.31	90.1
18	4.55	.45	90.1
19	4.55	.68	85.1
20	2.24	.21	90.6
21	2.39	.22	90.8
22	2.10	.19	91.0
23	2.28	.21	90.8
24	5.43	.50	90.8

MASS MEASUREMENTS

ZINC SINK

MASSAMETINGS

245. D ZN-65

OVEN DRYING

00NDDROGING

SAMPLE NUMBER	50-DEGREES		90-DEGREES		105-DEGREES		120-DEGREES	
	WET MASS	LOSS PERCENT	MASS	LOSS PERCENT	MASS	LOSS PERCENT	MASS	LOSS PERCENT
1	3.52	88.4	.41	89.5	.37	89.2	.38	89.2
2	4.63	88.6	.53	89.8	.47	89.4	.49	89.4
3	3.02	87.7	.37	89.1	.33	89.1	.33	89.1
4	3.25	84.0	.52	90.2	.32	90.8	.40	87.7
5	3.00	77.3	.68	90.7	.28	90.3	.30	90.0
6	2.10	92.4	.16	93.8	.13	92.9	.14	93.3
7	3.41	73.9	.89	90.3	.33	90.6	.32	90.6
8	3.37	78.0	.74	91.4	.29	91.7	.28	91.7
9	3.23	74.9	.81	87.0	.42	87.6	.40	87.6
10	2.60	89.6	.27	92.3	.20	92.7	.19	92.7
11	2.67	89.5	.28	89.1	.29	90.3	.26	90.3
12	2.12	91.5	.18	90.6	.20	92.0	.17	92.0
13	3.74	78.3	.81	89.0	.41	89.8	.37	90.1
14	2.96	91.6	.25	91.6	.25	92.2	.24	91.9
15	2.48	89.5	.26	89.1	.27	89.9	.25	89.9

FREEZE DRYING

VRIESDROGING

16	3.18	.23	92.8
17	3.80	.35	90.8
18	3.15	.30	90.5
19	3.59	.28	92.2
20	1.04	.13	87.5
21	2.12	.21	90.1
22	2.64	.31	88.3

MASS MEASUREMENTS

SELENIUM

MASSAMETINGS

120.4 D SE-75

OVEN DRYING

00NDDROGING

SAMPLE NUMBER	WET MASS	50-DEGREES		90-DEGREES		105-DEGREES		120-DEGREES	
		MASS	LOSS PERCENT	MASS	LOSS PERCENT	MASS	LOSS PERCENT	MASS	LOSS PERCENT
1	3.52	.41	88.4	.37	89.5	.38	89.2	.38	89.2
2	4.63	.53	88.6	.47	89.8	.49	89.4	.49	89.4
3	3.02	.37	87.7	.33	89.1	.33	89.1	.33	89.1
4	3.25	.52	84.0	.32	90.2	.30	90.8	.41	87.4
5	3.00	.68	77.3	.28	90.7	.29	90.3	.35	88.3
6	2.10	.16	92.4	.13	93.8	.15	92.9	.14	93.3
7	3.41	.89	73.9	.33	90.3	.32	90.6	.32	90.6
8	3.37	.74	78.0	.29	91.4	.28	91.7	.28	91.7
9	3.23	.81	74.9	.42	87.0	.40	87.6	.40	87.6
10	2.60	.27	89.6	.20	92.3	.19	92.7	.19	92.7
11	2.67	.28	89.5	.29	89.1	.26	90.3	.26	90.3
12	2.12	.18	91.5	.20	90.6	.17	92.0	.17	92.0
13	3.74	.81	78.3	.41	89.0	.38	89.8	.37	90.1
14	2.96	.25	91.6	.25	91.6	.23	92.2	.24	91.9
15	2.48	.26	89.5	.27	89.1	.25	89.9	.25	89.9

FREEZE DRYING

VRIESDROGING

16	3.18	.23	92.8
17	3.80	.35	90.8
18	3.15	.30	90.5
19	3.59	.28	92.2
20	1.04	.13	87.5
21	2.12	.21	90.1
22	2.64	.31	88.3

MASS MEASUREMENTS

CADMIUM KADMIUM

MASSAMETINGS

453. D CD-109

OVEN DRYING

OONDDROGING

SAMPLE NUMBER	WET MASS	50-DEGREES		90-DEGREES		105-DEGREES		120-DEGREES	
		MASS	LOSS PERCENT	MASS	LOSS PERCENT	MASS	LOSS PERCENT	MASS	LOSS PERCENT
1	5.77	.62	89.3	.59	89.8	.57	90.1	.56	90.3
2	4.31	.47	89.1	.45	89.6	.43	90.0	.42	90.3
3	6.43	.69	89.3	.65	89.9	.62	90.4	.63	90.2
4	4.37	1.78	59.3	.63	85.6	.62	85.8	.59	86.5
5	4.50	2.21	50.9	.62	86.2	.62	86.2	.56	87.6
6	2.52	.55	78.2	.29	88.5	.32	87.3	.30	88.1
7	4.55	2.09	54.1	.54	88.1	.56	87.7	.52	88.6
8	4.31	1.93	55.2	.53	87.7	.56	87.0	.51	88.2
9	2.82	.33	88.3	.31	89.0	.31	89.0	.31	89.0
10	2.33	.26	88.8	.26	88.8	.26	88.8	.23	90.1
11	1.93	.17	91.2	.17	91.2	.17	91.2	.16	91.7
12	2.25	.20	91.1	.20	91.1	.18	92.0	.20	91.1
13	3.51	.36	89.7	.37	89.5	.32	90.9	.32	90.9
14	1.92	.14	92.7	.19	90.1	.18	90.6	.17	91.1

FREEZE DRYING

VRIESDROGING

15	3.14	.39	87.6
16	3.10	.25	91.9
17	3.12	.31	90.1
18	4.55	.45	90.1
19	4.55	.68	85.1
20	2.24	.21	90.6
21	2.39	.22	90.8
22	2.10	.19	91.0
23	2.28	.21	90.8
24	5.43	.50	90.8

MASS MEASUREMENTS

LEAD LOOD

MASSAMETINGS

7446. D PB-210

OVEN DRYING

OONDDROGING

SAMPLE NUMBER	WET MASS	50-DEGREES		90-DEGREES		105-DEGREES		120-DEGREES	
		MASS	LOSS PERCENT	MASS	LOSS PERCENT	MASS	LOSS PERCENT	MASS	LOSS PERCENT
1	2.26	.26	88.5	.25	88.9	.22	90.3	.21	90.7
2	3.16	.37	88.3	.35	88.9	.33	89.6	.32	89.9
3	4.35	.51	88.3	.46	89.4	.44	89.9	.42	90.3
4	3.84	.63	83.6	.55	85.7	.53	86.2	.51	86.7
5	2.20	.19	91.4	.22	90.0	.20	90.9	.20	90.9
6	3.33	.48	85.6	.44	86.8	.43	87.1	.41	87.7
7	2.79	.37	86.7	.35	87.5	.32	88.5	.30	89.2
8	2.27	.22	90.3	.23	89.9	.21	90.7	.20	91.2
9	4.47	.66	85.2	.64	85.7	.62	86.1	.60	86.6
10	2.33	.34	85.4	.35	85.0	.33	85.8	.29	87.6
11	3.71	.64	82.7	.58	84.4	.56	84.9	.55	85.2
12	3.74	.63	83.2	.58	84.5	.58	84.5	.57	84.8
13	3.48	.58	83.3	.53	84.8	.52	85.1	.50	85.6
14	3.95	.61	84.6	.55	86.1	.55	86.1	.52	86.8
15	4.10	.66	83.9	.61	85.1	.61	85.1	.59	85.6
16	2.66	.31	88.3	.29	89.1	.30	88.7	.28	89.5
17	4.32	.68	84.3	.63	85.4	.62	85.6	.60	86.1
18	2.81	.39	86.1	.36	87.2	.35	87.5	.33	88.3
19	4.09	.60	85.3	.56	86.3	.56	86.3	.54	86.8

FREEZE DRYING

VRIESDROGING

20	3.60	.61	83.1
21	3.52	.60	83.0
22	3.64	.60	83.5
23	3.95	.60	84.8
24	4.97	.86	82.7
25	5.33	.89	83.3
26	3.52	.59	83.2
27	3.20	.65	79.7
28	3.68	.63	82.9

BYLAE II

AKTIWITEITSMETINGS

ACTIVITY MEASUREMENTS

CHROMIUM CHROOM

AKTIVITEITSMETINGS

27.8 D CR-51

OONDDROGING

OVEN DRYING

SAMPLE NUMBER	WET	50-DEGREES			90-DEGREES			105-DEGREES			120-DEGREES		
		COUNTS	PERCENTAGE CHANGE ERROR	PERCENTAGE ERROR	COUNTS	PERCENTAGE CHANGE ERROR	PERCENTAGE ERROR	COUNTS	PERCENTAGE CHANGE ERROR	PERCENTAGE ERROR	COUNTS	PERCENTAGE CHANGE ERROR	PERCENTAGE ERROR
1	2515	2626	4.4	3.2	2491	-9	3.3	2410	-4.1	3.7	2561	1.9	3.9
2	2484	2396	-3.6	3.3	2647	6.5	3.3	2374	-4.5	3.7	2713	9.2	3.7
3	2978	2927	-1.7	2.9	2880	-3.3	3.0	2843	-4.5	3.4	2932	-1.5	3.5
4	1874	1825	-2.6	4.0	1867	-4	4.1	1638	-12.6	4.8	1816	-3.1	4.9
5	2513	2423	-3.6	3.3	2426	-3.4	3.4	2469	-1.7	3.6	2342	-6.8	4.1
6	2013	2114	5.0	3.7	1849	-8.2	4.1	2071	2.9	4.1	2051	1.9	4.5
7	4803	4519	-5.9	2.3	4770	-7	2.3	4778	-5	2.4	4796	-1	2.6
8	2415	2370	-1.8	3.3	2471	2.3	3.4	2486	2.9	3.6	2391	-1.0	4.1
9	2664	2467	-7.4	3.2	2656	-3	3.3	2556	-4.0	3.6	2644	-7	3.9
10	1944	1706	-12.2	4.0	1699	-12.6	4.2	1740	-10.5	4.6	1907	-1.9	4.7
11	3351	3303	-1.4	2.8	3340	-3	2.8	3320	-9	3.1	3511	4.7	3.2
12	2361	2305	-2.4	3.3	2304	-2.4	3.5	2464	4.3	3.6	2404	1.8	3.9
13	2200	2240	1.8	3.4	2208	.4	3.5	2061	-6.3	4.0	2012	-8.5	4.3
14	2873	2772	-3.5	3.0	2928	1.9	3.0	2777	-3.3	3.3	2731	-4.9	3.5
15	2970	2886	-2.8	2.9	2949	-7	3.0	2912	-1.9	3.3	2985	.5	3.4
16	2341	2346	.2	3.3	2170	-7.3	3.6	2410	2.9	3.7	2394	2.3	4.3
17	2049	1983	-3.2	3.7	1878	-8.3	4.1	2012	-1.8	4.1	2085	1.8	4.3
18	1563	1530	-2.1	4.4	1519	-2.8	4.7	1640	5.0	4.8	1609	3.0	5.1
19	2429	2481	2.1	3.2	2222	-8.5	3.7	2374	-2.3	3.7	2328	-4.2	4.0

VRIESDROGING

FREEZE DRYING

20	1646	1614	-1.9	4.3
21	931	1063	14.2	6.1
22	1455	1536	5.6	4.5
23	706	734	3.9	7.9

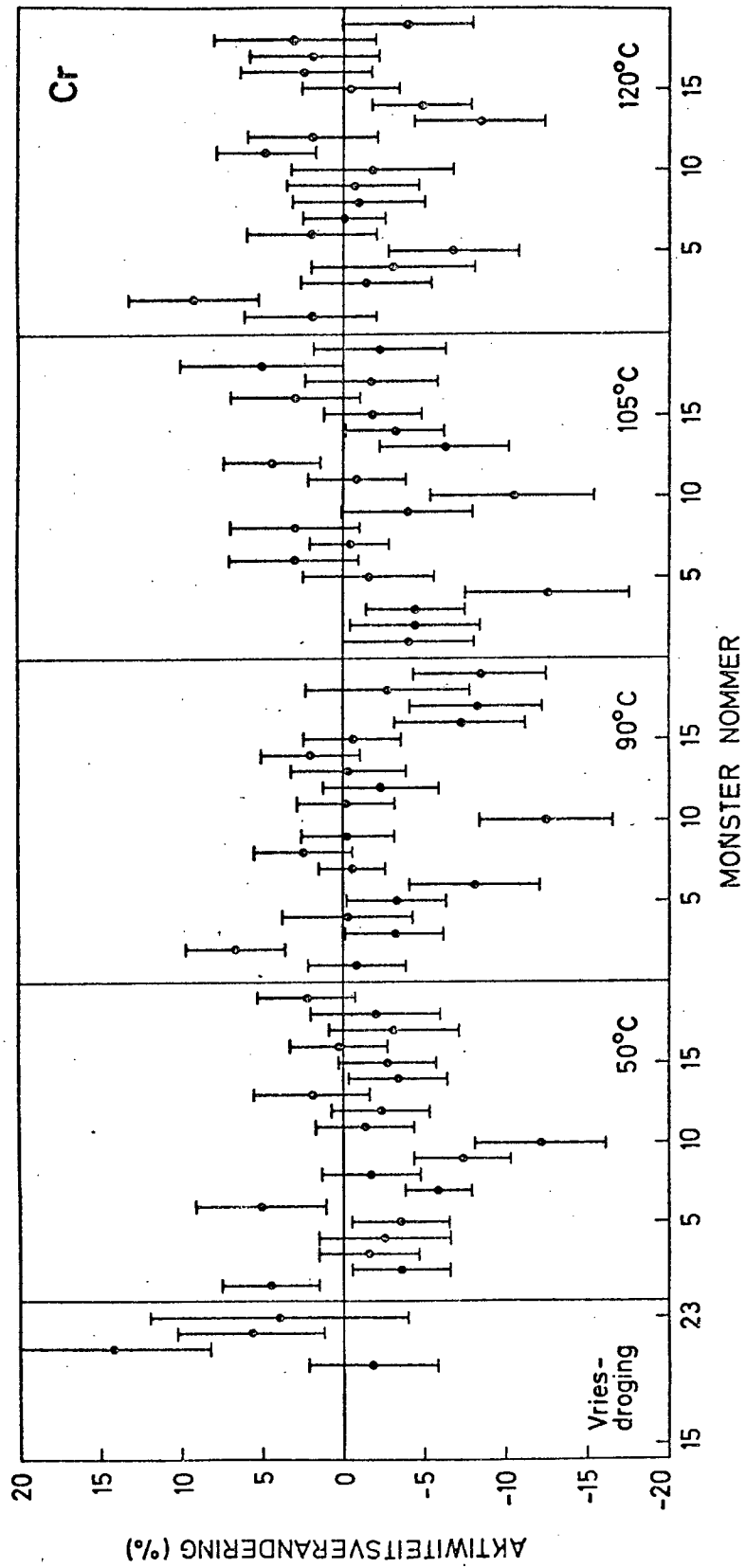


Fig. 4.1: Aktiviteitsverandering van individuele kroom metings tydens die droging van oesters.

ACTIVITY MEASUREMENTS

MANGANESE MANGAAN

AKTIWITEITSMETINGS

303. D MN-54

OVEN DRYING

OONDDROGING

SAMPLE NUMBER	WET	50-DEGREES			90-DEGREES			105-DEGREES			120-DEGREES		
		COUNTS	PERCENTAGE CHANGE	ERROR	COUNTS	PERCENTAGE CHANGE	ERROR	COUNTS	PERCENTAGE CHANGE	ERROR	COUNTS	PERCENTAGE CHANGE	ERROR
1	7096	7156	.8	2.3	7326	3.2	2.3	7394	4.2	2.3	7558	6.5	2.3
2	4245	4014	-5.5	3.3	4431	4.4	3.1	4284	.9	3.2	4374	3.0	3.2
3	3214	3601	12.0	4.1	3455	7.5	4.2	3376	5.0	4.3	3446	7.2	4.3
4	3925	4242	8.1	3.5	3868	-1.5	3.7	4145	5.6	3.6	4012	2.2	3.6
5	1844	1855	.6	6.9	1987	7.8	6.7	1839	-.3	6.9	1733	-6.0	7.2
6	190	265	39.4	25.4	149	-21.8	33.5	176	-7.3	30.1	216	13.4	27.8
7	317	327	3.1	17.7	244	-23.2	20.8	299	-5.6	18.7	161	-49.1	30.1
8	548	487	-11.1	13.8	535	-2.3	13.1	440	-19.6	15.1	514	-6.2	14.0
9	952	731	-23.2	10.4	890	-6.5	9.2	812	-14.7	9.6	899	-5.5	9.5
10	277	474	70.9	16.9	319	15.0	19.1	423	52.4	17.3	338	22.0	19.7
11	455	383	-15.9	13.5	319	-29.9	15.5	399	-12.3	13.3	523	14.9	12.0
12	483	443	-8.3	12.1	471	-2.5	11.7	460	-4.7	12.0	416	-13.8	13.3
13	678	874	28.8	10.4	736	8.5	11.2	837	23.3	10.6	808	19.1	11.1
14	237	345	45.9	20.0	355	50.3	20.1	272	15.2	21.9	221	-6.4	25.3
15	463	414	-10.5	15.2	576	24.5	12.9	414	-10.6	15.2	516	11.6	13.9

FREEZE DRYING

VRIESDROGING

16	1872	1231	-34.2	7.6
17	2557	2454	-4.0	4.6
18	1589	1444	-9.1	8.1
19	661	583	-11.8	9.5
20	155	207	33.8	29.8
21	157	143	-8.7	36.9
22	371	344	-7.4	15.9

ACTIVITY MEASUREMENTS

IRON YSTER

AKTIIVITEITSMETINGS

45.6 D FE-59

OVEN DRYING

00NDDROGING

SAMPLE NUMBER	WET	50-DEGREES			90-DEGREES			105-DEGREES			120-DEGREES		
		COUNTS	CHANGE	PERCENTAGE ERROR	COUNTS	CHANGE	PERCENTAGE ERROR	COUNTS	CHANGE	PERCENTAGE ERROR	COUNTS	CHANGE	PERCENTAGE ERROR
1	1485	1433	-3.5	3.7	1472	-9.9	3.8	1450	-2.3	3.9	0	*****	2.4
2	585	562	-3.9	6.3	608	3.9	6.1	573	-2.0	6.5	0	*****	3.9
3	798	803	.6	5.1	781	-2.2	5.4	854	7.1	5.2	0	*****	3.4
4	1536	1451	-5.5	3.7	1430	-6.9	3.9	1415	-7.9	3.9	0	*****	2.4
5	1061	1038	-2.2	4.4	1057	-3.3	4.6	1133	6.8	4.5	0	*****	2.9
6	1273	1292	1.5	4.1	1296	1.8	4.0	1272	-1.1	4.2	0	*****	2.6

FREEZE DRYING

VRIESDROGING

7	663	721	8.8	5.7
8	292	264	-9.7	9.5
9	387	361	-6.7	8.0

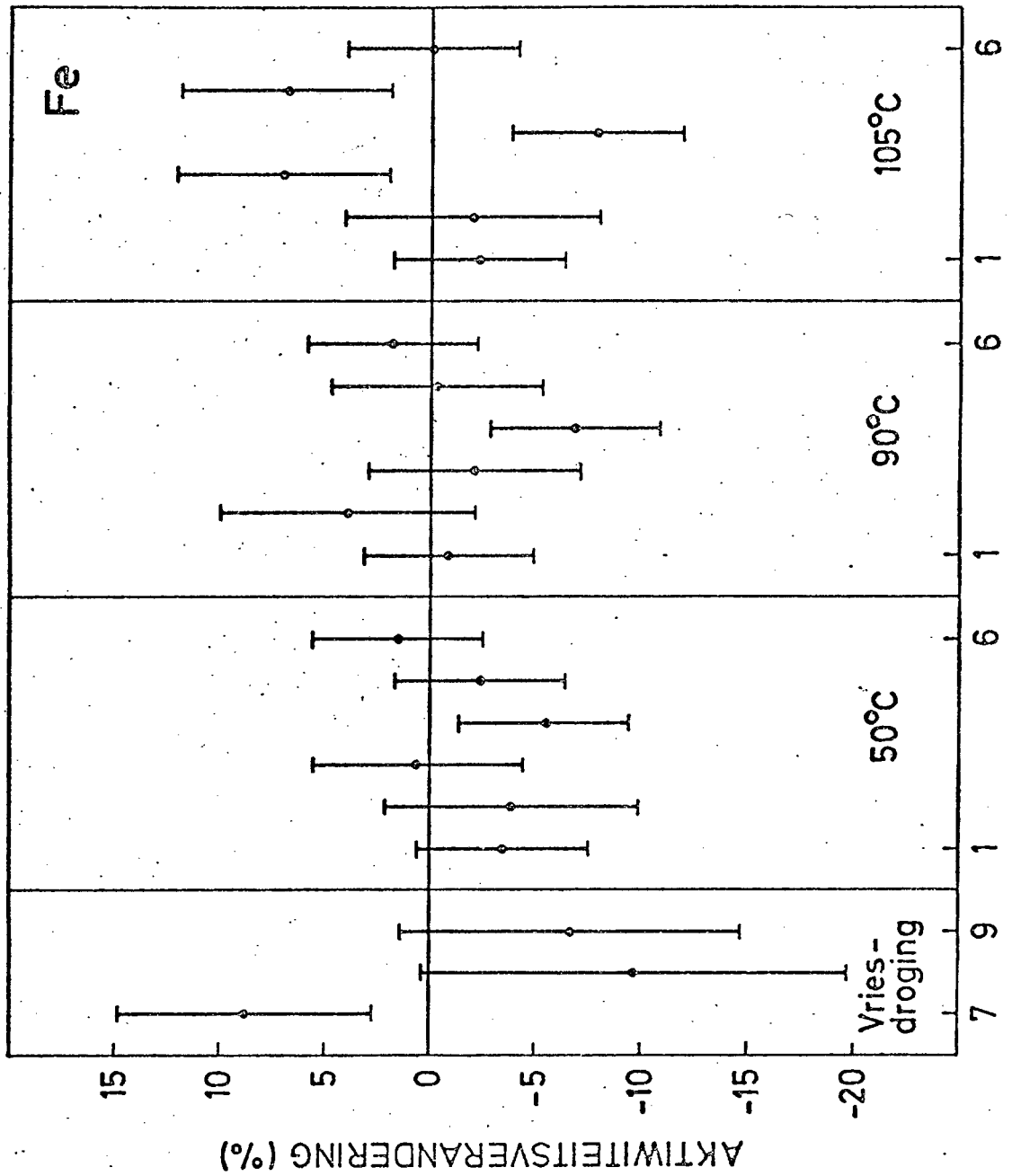


Fig. 4.2:

AKTIWITEITSVERANDERING VAN INDIVIDUELE YSTER METINGS TYDENS
 DIE DROGING VAN OESTERS.

MONSTER NOMMER

ACTIVITY MEASUREMENTS

COBALT KOBALT

AKTIVITEITSMETINGS

71.3 D CO-58

OONDDROGING

OVEN DRYING

SAMPLE NUMBER	WET	50-DEGREES			90-DEGREES			105-DEGREES			120-DEGREES		
		COUNTS	PERCENTAGE CHANGE ERROR	PERCENTAGE CHANGE ERROR	COUNTS	PERCENTAGE CHANGE ERROR	PERCENTAGE CHANGE ERROR	COUNTS	PERCENTAGE CHANGE ERROR	PERCENTAGE CHANGE ERROR	COUNTS	PERCENTAGE CHANGE ERROR	PERCENTAGE CHANGE ERROR
1	1185	1102	-7.0	4.6	1071	-9.6	4.8	1076	-9.2	5.0	1162	-1.9	4.6
2	749	778	3.8	5.8	782	4.4	5.9	744	-.7	6.3	773	3.2	5.7
3	727	688	-5.3	6.2	726	-.2	6.1	672	-7.5	6.6	657	-9.6	6.2
4	790	745	-5.6	6.2	721	-8.7	6.0	738	-6.5	6.1	746	-5.5	6.3
5	855	860	.6	5.9	830	-3.0	5.8	846	-1.0	5.9	887	3.7	5.9
6	884	929	5.1	5.6	879	-.5	5.5	850	-3.8	5.8	824	-6.8	5.9
7	784	764	-2.5	6.1	777	-.9	5.8	810	3.3	5.9	826	5.4	5.9
8	877	821	-6.4	5.8	791	-9.9	5.7	771	-12.2	5.9	725	-17.3	6.3
9	703	674	-4.1	6.0	691	-1.7	5.9	710	1.0	6.0	657	-6.6	6.6
10	557	633	13.6	6.4	607	8.9	6.9	568	1.9	6.9	570	2.2	7.3
11	432	403	-6.7	7.8	451	4.3	7.8	458	6.0	7.8	378	-12.5	9.3
12	422	408	-3.3	8.1	438	3.8	8.0	440	4.2	8.2	461	9.2	8.5
13	746	702	-5.9	5.7	730	-2.2	5.8	720	-3.4	5.9	717	-3.8	6.2
14	494	495	.3	7.2	552	11.8	7.2	578	17.2	7.1	490	-.7	8.1

FREEZE DRYING

VRIESDROGING

15	150	147	-2.0	14.1
16	154	208	34.8	10.8
17	128	98	-23.3	19.7
18	295	178	-39.8	11.5
19	723	785	8.6	5.1
20	241	184	-23.6	12.6
21	290	301	3.9	8.6
22	442	487	10.2	6.4
23	233	255	9.3	9.3
24	1023	1025	.2	4.6

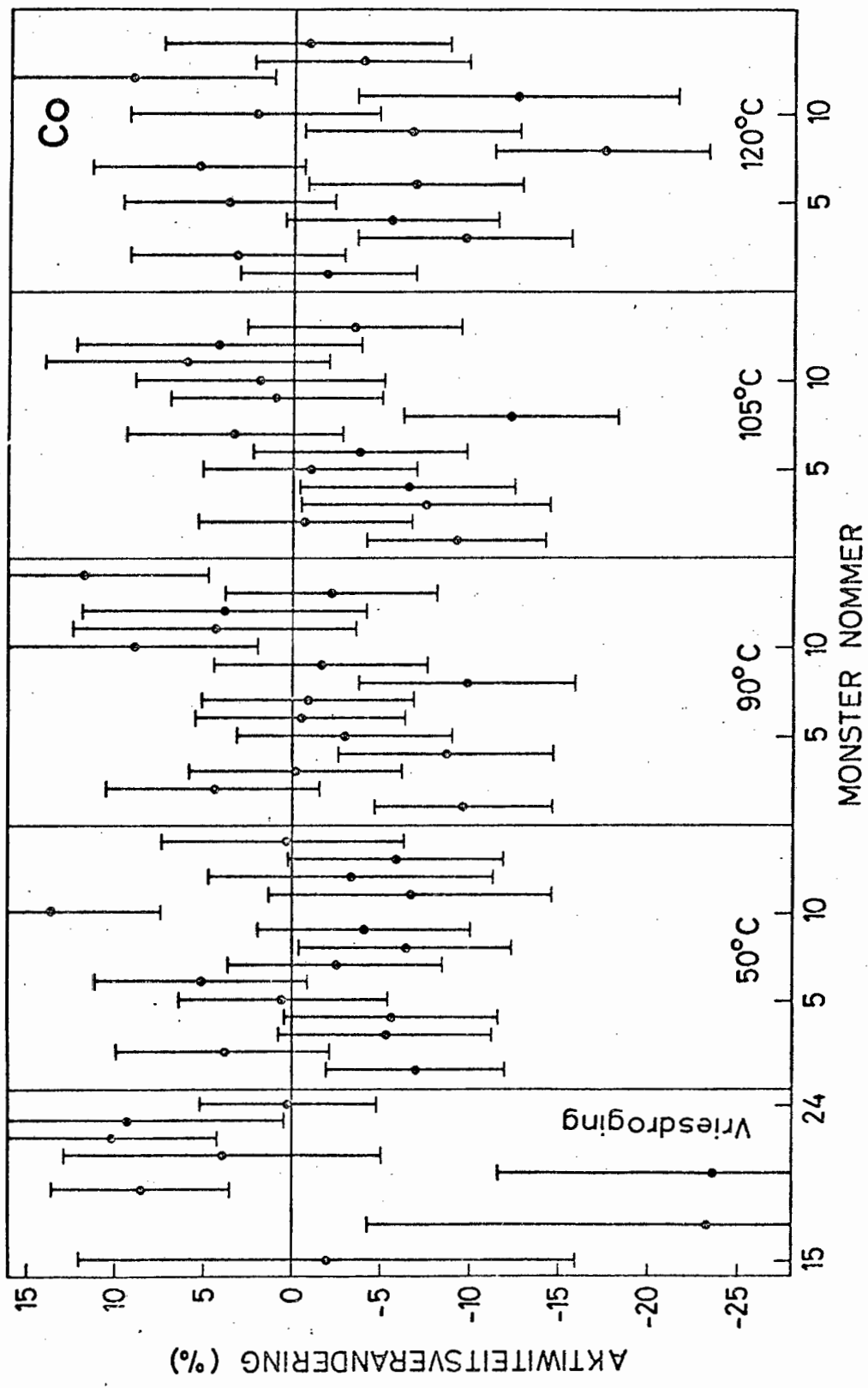


Fig. 4.3: Aktiviteitsverandering van individuele kobalt metings tydens die droging van oesters.

ACTIVITY MEASUREMENTS

ZINC

SINK

AKTIWITEITSMETINGS

245. D ZN-65

OVEN DRYING

OONDDROGING

SAMPLE NUMBER	WET	50-DEGREES			90-DEGREES			105-DEGREES			120-DEGREES		
		COUNTS	PERCENTAGE CHANGE ERROR	PERCENTAGE ERROR	COUNTS	PERCENTAGE CHANGE ERROR	PERCENTAGE ERROR	COUNTS	PERCENTAGE CHANGE ERROR	PERCENTAGE ERROR	COUNTS	PERCENTAGE CHANGE ERROR	PERCENTAGE ERROR
1	27310	29055	6.4	.9	29622	8.5	.9	29092	6.5	.9	29485	8.0	.9
2	21256	22058	3.8	1.0	22521	5.9	1.0	21769	2.4	1.0	22333	5.1	1.0
3	26667	29029	8.9	.9	28822	8.1	.9	28590	7.2	.9	28575	7.2	.9
4	27905	27737	-0.6	.9	27845	-0.2	.9	27314	-2.1	.9	25924	-7.1	.9
5	29320	28933	-1.3	.8	29077	-0.8	.9	29056	-0.9	.9	29066	-0.9	.9
6	5450	5408	-0.8	2.0	5506	1.0	2.0	5475	.5	2.0	5430	-0.4	2.1
7	6191	5971	-3.6	1.9	6042	-2.4	1.9	6065	-2.0	1.9	6108	-1.3	1.9
8	9548	9628	.8	1.5	9532	-0.2	1.5	9627	.8	1.5	9738	2.0	1.5
9	13201	12881	-2.4	1.3	13019	-1.4	1.3	12864	-2.6	1.3	12948	-1.9	1.3
10	5094	5162	1.3	2.0	5036	-1.1	2.1	5083	-0.2	2.0	5197	2.0	2.1
11	5311	5263	-0.9	2.0	5295	-0.3	2.0	5188	-2.3	2.0	5140	-3.2	2.1
12	4633	4594	-0.8	2.1	4505	-2.8	2.2	4498	-2.9	2.2	4399	-5.1	2.3
13	10827	10782	-0.4	1.4	10720	-1.0	1.4	10792	-0.3	1.4	10589	-2.2	1.5
14	5565	5501	-1.1	2.0	5582	.3	1.9	5580	.3	2.0	5418	-2.6	2.1
15	7625	7533	-1.2	1.7	7314	-4.1	1.7	7539	-1.1	1.7	7584	-0.5	1.7

FREEZE DRYING

VRIESDROGING

16	24377	24683	1.3	.9									
17	19027	18861	-0.9	1.0									
18	30042	29779	-0.9	.8									
19	5065	4903	-3.2	2.0									
20	5342	5292	-0.9	2.0									
21	6160	6163	.1	1.8									
22	5667	5711	.8	1.9									

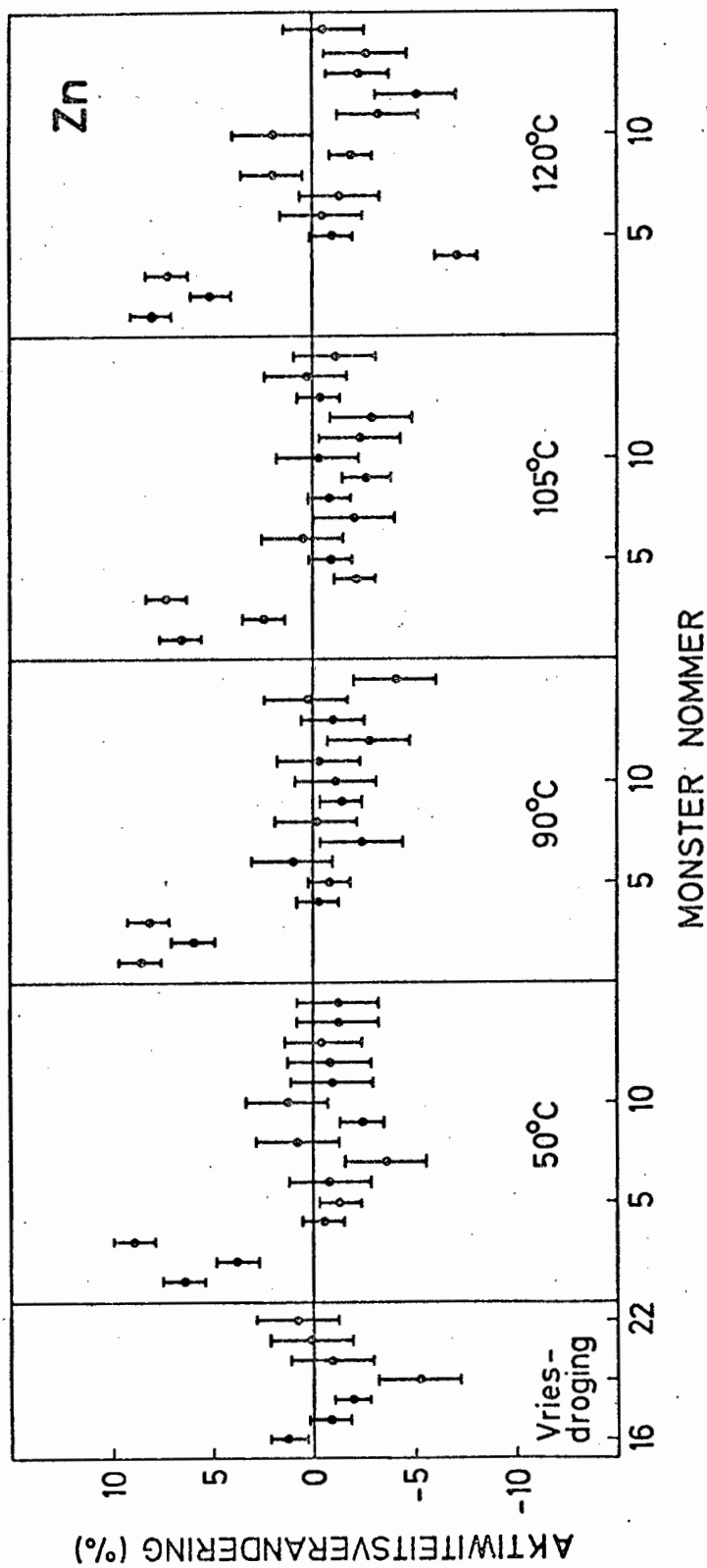


Fig. 4.4: Aktiviteitsverandering van individuele sink metings tydens die droging van oesters.

ACTIVITY MEASUREMENTS

SELENIUM

AKTIIVITEITSMETINGS

120.4 D SE-75

OVEN DRYING

OONDDROGING

SAMPLE NUMBER	WET	50-DEGREES			90-DEGREES			105-DEGREES			120-DEGREES		
		COUNTS	PERCENTAGE CHANGE	ERROR	COUNTS	PERCENTAGE CHANGE	ERROR	COUNTS	PERCENTAGE CHANGE	ERROR	COUNTS	PERCENTAGE CHANGE	ERROR
1	1705	1762	3.4	8.7	1684	-1.2	9.1	1647	-3.4	10.8	1680	-1.5	10.0
2	1390	1728	24.3	8.9	1696	22.0	9.1	1469	5.7	11.4	1302	-6.4	11.7
3	2193	2203	.5	6.8	2202	.4	6.9	2415	10.1	7.6	2258	3.0	7.7
4	2775	2467	-11.1	6.5	2706	-2.5	5.9	2560	-7.8	6.2	2420	-12.8	6.5
5	2402	2330	-3.0	6.7	2218	-7.7	6.9	1973	-17.9	7.4	1925	-19.9	7.7
6	2709	2548	-5.9	4.1	2510	-7.3	4.1	2625	-3.1	4.0	2292	-15.4	4.9
7	2846	2706	-4.9	4.0	2578	-9.4	4.1	2591	-8.9	4.1	2367	-16.8	4.9
8	3465	3579	3.3	3.6	3216	-7.2	3.8	3293	-5.0	3.7	2646	-23.6	4.7
9	5467	4987	-8.8	2.8	5260	-3.8	2.8	5317	-2.8	2.8	4692	-14.2	3.3
10	2096	2137	1.9	4.8	2200	4.9	4.8	2131	1.7	4.9	1736	-17.2	6.2
11	3025	2703	-10.6	3.8	2620	-13.4	3.8	2609	-13.7	3.9	2600	-14.0	4.4
12	2271	2324	2.3	4.4	2164	-4.7	4.5	1989	-12.4	4.8	1796	-20.9	5.8
13	4861	4651	-4.3	2.9	4773	-1.8	2.9	4747	-2.4	2.9	4307	-11.4	3.4
14	2212	2205	-.3	4.6	2195	-.8	4.7	2224	.6	4.6	2025	-8.4	5.5
15	3050	2970	-2.6	3.8	2752	-9.8	3.9	2891	-5.2	3.9	2437	-20.1	4.8

FREEZE DRYING

VRIESDROGING

16	2197	1811	-17.6	6.7
17	1102	1052	-4.5	11.0
18	2404	2279	-5.2	6.2
19	1957	1879	-4.0	4.8
20	1284	1143	-11.0	7.1
21	2398	2435	1.5	4.2
22	2219	2327	4.9	4.5

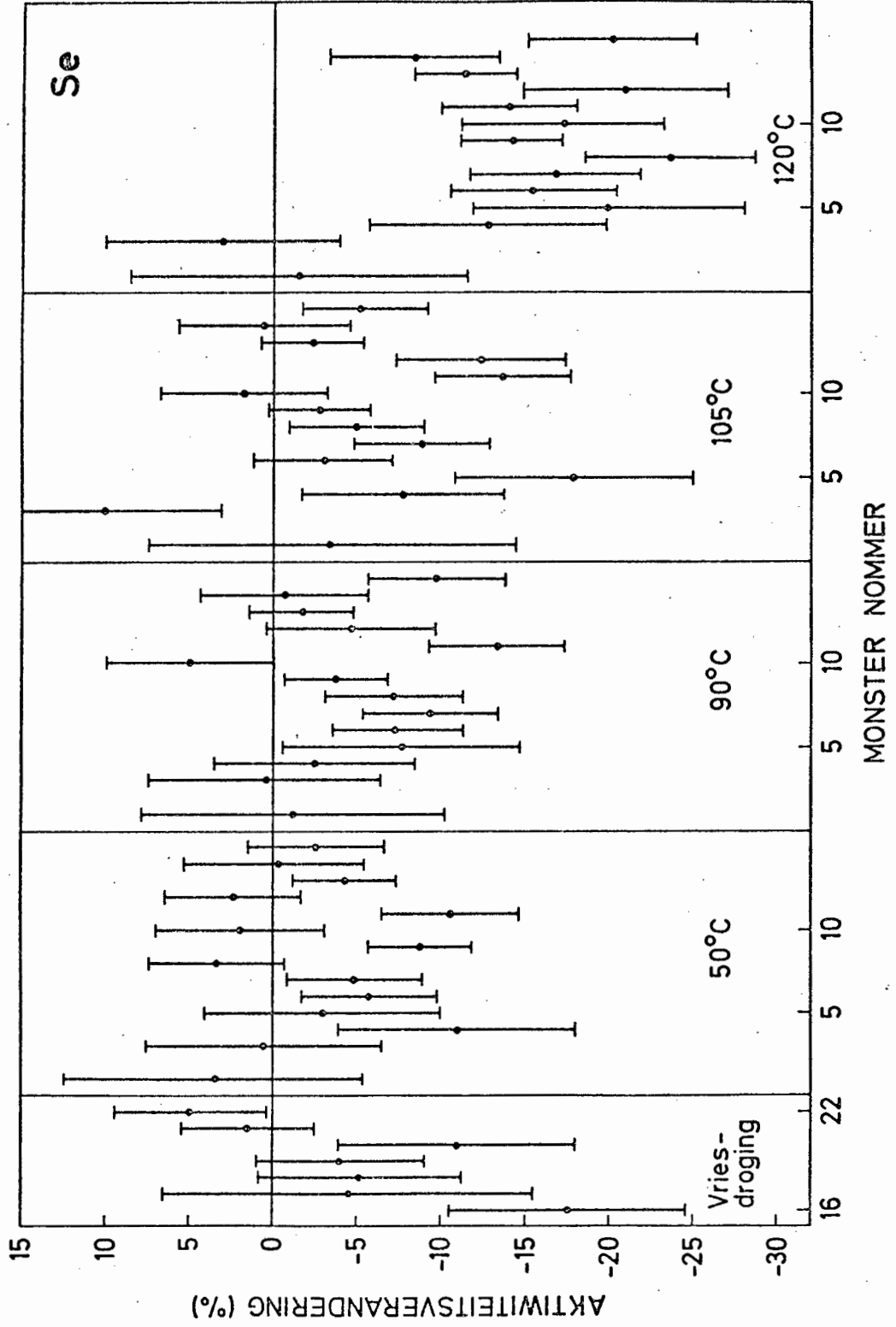


Fig. 4.5: Aktiwiteitsverandering van individuele selenium metings tydens die droging van oesters.

453. D. CD-109

OVEN DRYING OONDDROGING

SAMPLE NUMBER	WET	50-DEGREES			90-DEGREES			105-DEGREES			120-DEGREES		
		COUNTS	PERCENTAGE CHANGE ERROR	PERCENTAGE ERROR	COUNTS	PERCENTAGE CHANGE ERROR	PERCENTAGE ERROR	COUNTS	PERCENTAGE CHANGE ERROR	PERCENTAGE ERROR	COUNTS	PERCENTAGE CHANGE ERROR	PERCENTAGE ERROR
1	13303	14640	10.0	2.1	13961	4.9	1.9	13757	3.4	2.0	13169	-1.0	1.7
2	8141	8584	5.4	2.8	8564	5.2	2.8	8683	6.7	2.8	7573	-7.0	2.5
3	8922	10176	14.1	2.5	9257	3.8	2.6	9149	2.5	2.7	8899	-.3	2.3
4	12444	11193	-10.1	2.4	10053	-19.2	2.2	10197	-18.1	2.2	10607	-14.8	2.2
5	13765	12475	-9.4	2.3	11185	-18.7	2.1	11287	-18.0	2.1	11519	-16.3	2.1
6	8032	7648	-4.8	3.5	6804	-15.3	3.1	6358	-20.8	3.2	6902	-14.1	3.1
7	12366	11676	-5.6	2.4	10267	-17.0	2.3	11100	-10.2	2.2	10552	-14.7	2.2
8	9093	8650	-4.9	3.1	7357	-19.1	2.9	7720	-15.1	2.8	7809	-14.1	2.8
9	5350	5173	-3.3	3.2	5284	-1.2	3.2	5067	-5.3	3.3	5189	-3.0	3.3
10	3263	3167	-3.0	4.7	2623	-19.6	5.2	3146	-3.6	4.8	3137	-3.9	4.9
11	2388	2276	-4.7	6.2	2144	-10.2	6.6	2165	-9.3	6.4	2326	-2.6	6.3
12	2056	1698	-17.4	7.3	1683	-18.1	7.7	1743	-15.2	7.2	1832	-10.9	7.3
13	4519	4129	-8.6	3.7	4215	-6.7	3.8	4055	-10.3	3.8	4227	-6.5	3.8
14	2209	2064	-6.6	6.6	2229	.9	6.6	2115	-4.2	6.5	2108	-4.6	6.8

FREEZE DRYING VRIESDROGING

15	5292	5103	-3.6	3.1
16	8175	5856	-28.4	3.2
17	4921	4389	-10.8	3.5
18	4759	4376	-8.1	3.4
19	14148	12278	-13.2	1.9
20	6966	5857	-15.9	3.3
21	3105	2847	-8.3	4.8
22	2027	1964	-3.1	6.8
23	1774	1627	-8.3	7.8
24	4041	3990	-1.3	4.0

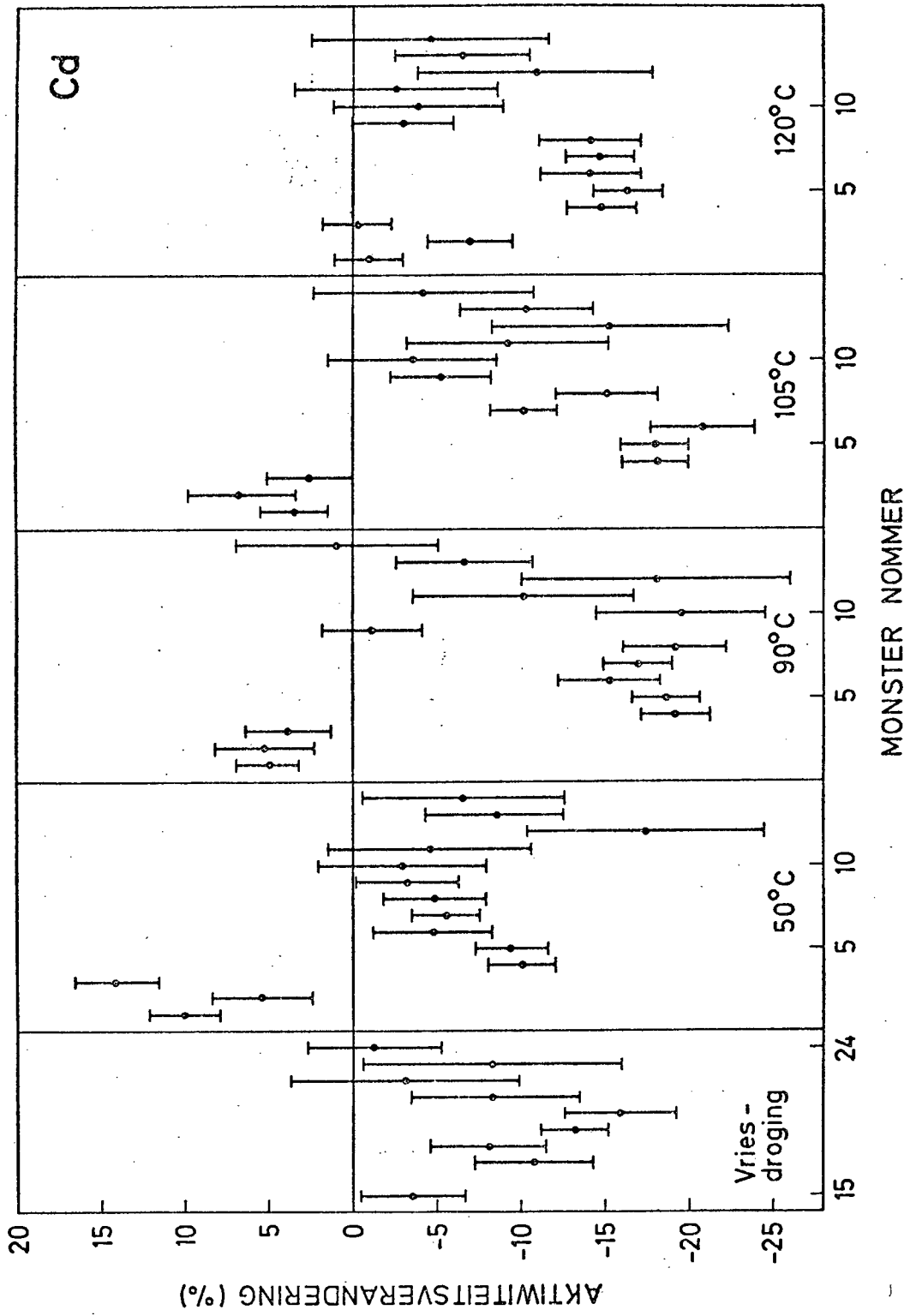


Fig. 4.6: Aktiviteitsverandering van individuele kadmium metings tydens die droging van oesters.

ACTIVITY MEASUREMENTS

LEAD

LOAD

AKTIVITEITSMETINGEN

7446. D PB-210

OVEN DRYING

OONDDROGING

SAMPLE NUMBER	WET	50-DEGREES			90-DEGREES			105-DEGREES			120-DEGREES		
		COUNTS	PERCENTAGE CHANGE ERROR	PERCENTAGE ERROR	COUNTS	PERCENTAGE CHANGE ERROR	PERCENTAGE ERROR	COUNTS	PERCENTAGE CHANGE ERROR	PERCENTAGE ERROR	COUNTS	PERCENTAGE CHANGE ERROR	PERCENTAGE ERROR
1	3051	2982	-2.2	4.9	2730	-10.5	5.1	2548	-16.5	5.3	2200	-27.9	5.7
2	2986	2766	-7.4	5.2	2772	-7.2	5.1	2779	-6.9	5.1	2557	-14.4	5.3
3	3951	3430	-13.2	4.1	2853	-27.8	4.5	2790	-29.4	4.6	2969	-24.9	4.4
4	4983	4363	-12.4	3.5	3837	-23.0	3.8	4132	-17.1	3.6	3783	-24.1	3.8
5	3202	2862	-10.6	5.0	2641	-17.5	5.2	2621	-18.2	5.1	2654	-17.1	5.1
6	4559	3946	-13.4	3.8	3724	-18.3	3.9	3764	-17.4	3.8	3427	-24.8	4.0
7	3973	3772	-5.1	4.2	3599	-9.4	4.3	3568	-10.2	4.2	3409	-14.2	4.3
8	2424	2076	-14.4	6.2	2071	-14.6	6.2	1969	-18.8	6.3	2061	-15.0	6.1
9	3332	2774	-16.7	5.0	2745	-17.6	4.9	2535	-23.9	5.1	2896	-13.1	4.8
10	3955	3742	-5.4	4.1	3410	-13.8	4.2	3394	-14.2	4.3	3487	-11.8	4.2
11	4522	4278	-5.4	3.7	4087	-9.6	3.8	3832	-15.3	3.8	3534	-21.9	4.0
12	4943	4742	-4.1	3.5	4693	-5.1	3.5	4175	-15.5	3.7	4076	-17.5	3.7
13	3916	3526	-10.0	4.2	3279	-16.3	4.3	3047	-22.2	4.4	3394	-13.3	4.2
14	5581	4822	-13.6	3.4	4700	-15.8	3.4	4637	-16.9	3.4	4663	-16.5	3.3
15	4263	3740	-12.3	4.1	3652	-14.3	4.0	3350	-21.4	4.2	3378	-20.8	4.1
16	3485	3248	-6.8	4.5	2768	-20.6	4.8	2736	-21.5	4.8	2715	-22.1	4.8
17	3237	2829	-12.6	5.0	2887	-10.8	4.9	2782	-14.1	4.9	2730	-15.7	5.0
18	1764	1766	.1	7.6	1500	-15.0	8.1	1239	-29.8	8.9	1769	.2	7.4
19	5749	5444	-5.3	3.2	5102	-11.3	3.2	5010	-12.8	3.3	4848	-15.7	3.3

FREEZE DRYING

VRIESDROGING

20	3681	3222	-12.5	4.4									
21	4167	3767	-9.6	3.9									
22	2254	2529	12.2	5.9									
23	3544	3110	-12.2	4.6									
24	3147	2460	-21.8	5.3									
25	2902	2360	-18.7	5.6									
26	3624	3126	-13.8	4.7									
27	1870	1723	-7.9	7.5									
28	2610	1992	-23.7	6.1									

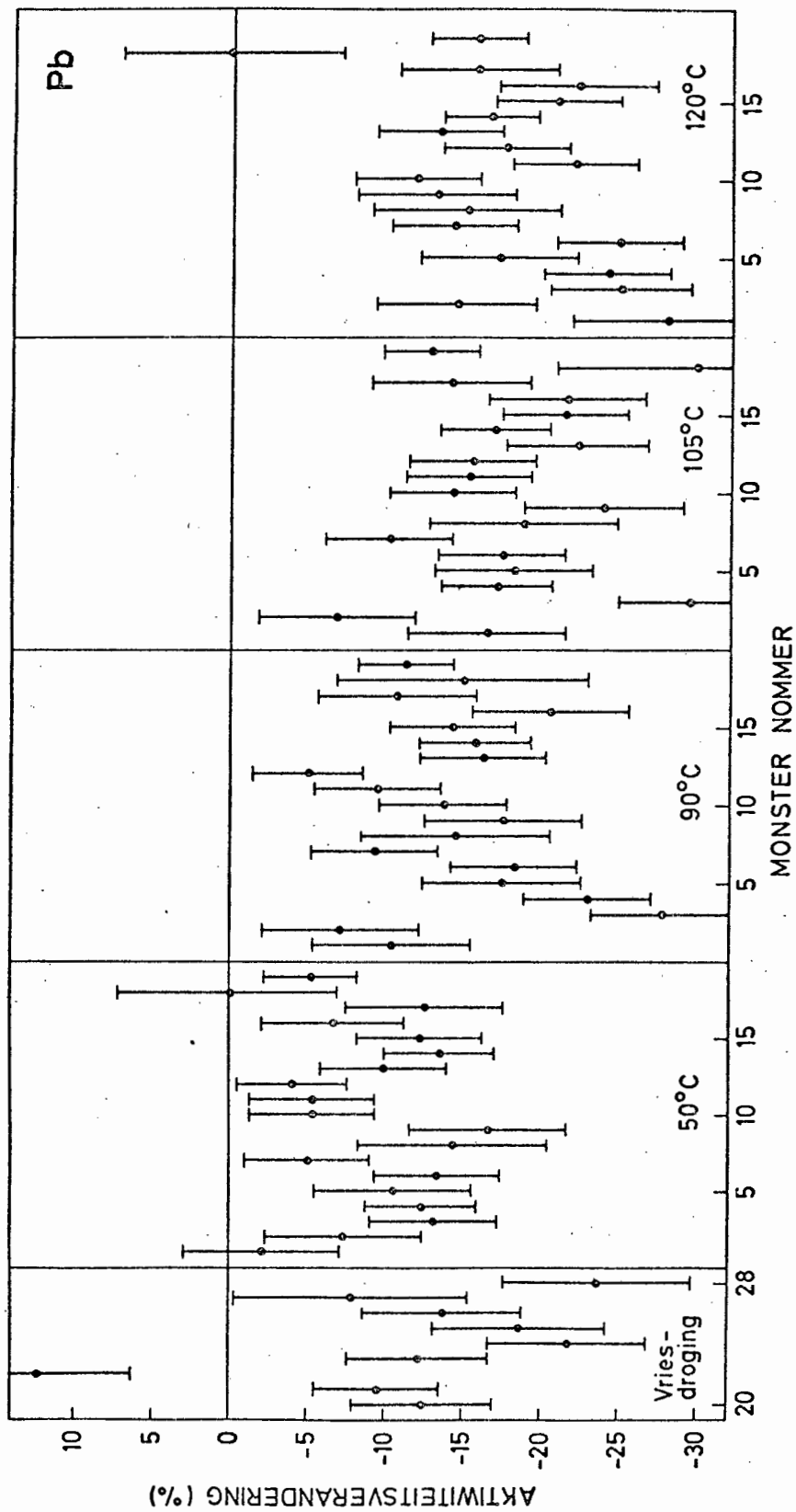


Fig. 4.7: Aktiviteitsverandering van individuele lood metings tydens die droging van oesters.

BYLAE III

SPEKTRUM EN FOTOS

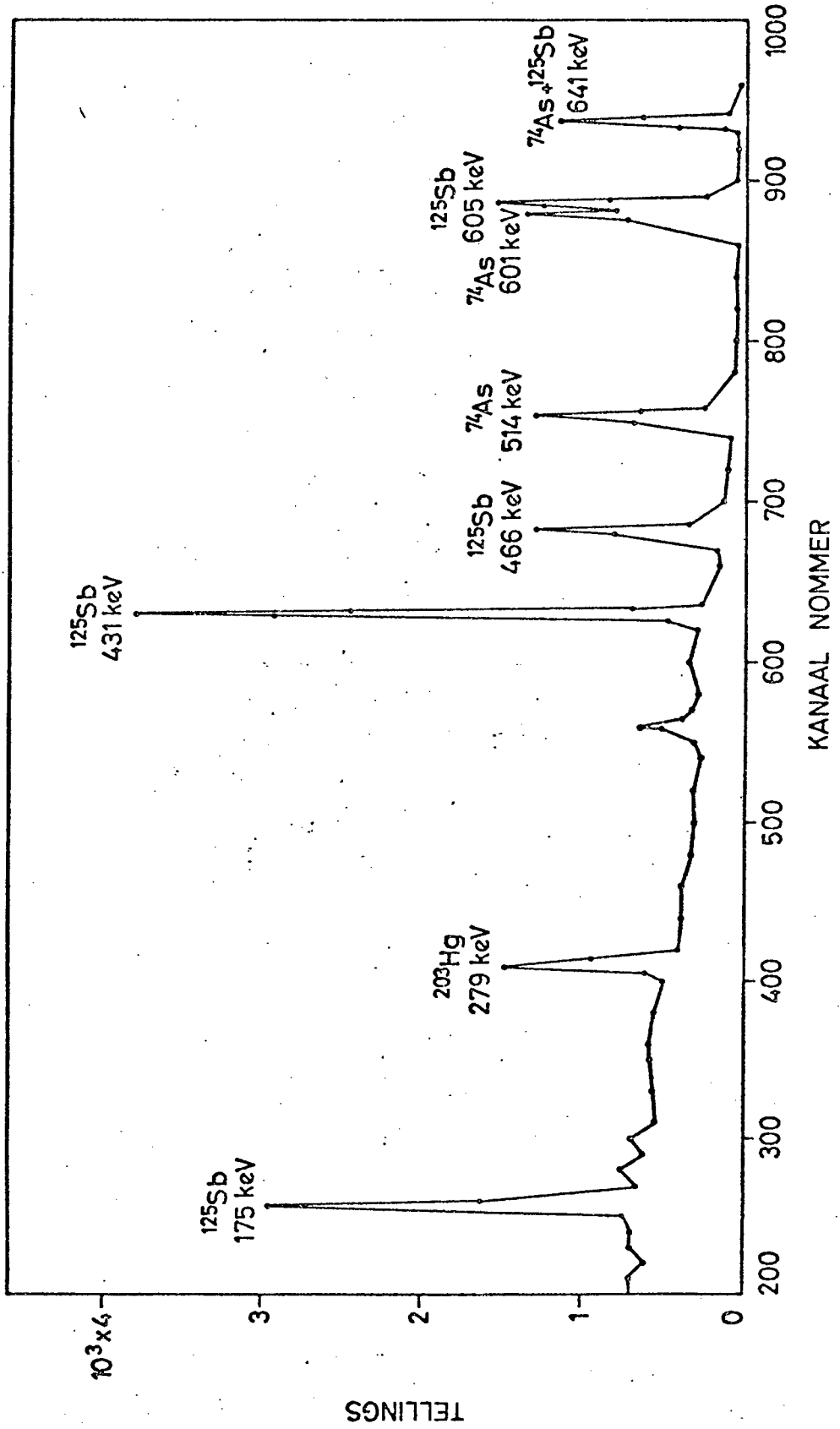


Fig. 5.1: γ -spektrum van die nukliedes ^{74}As en ^{125}Sb wat vermoedelik verantwoordelik was vir 100% mortaliteit in akwarium nr. 2.



Fig. 5.2: Akwariums vir die akkumulasie van metale deur die oester *C. gigas*.

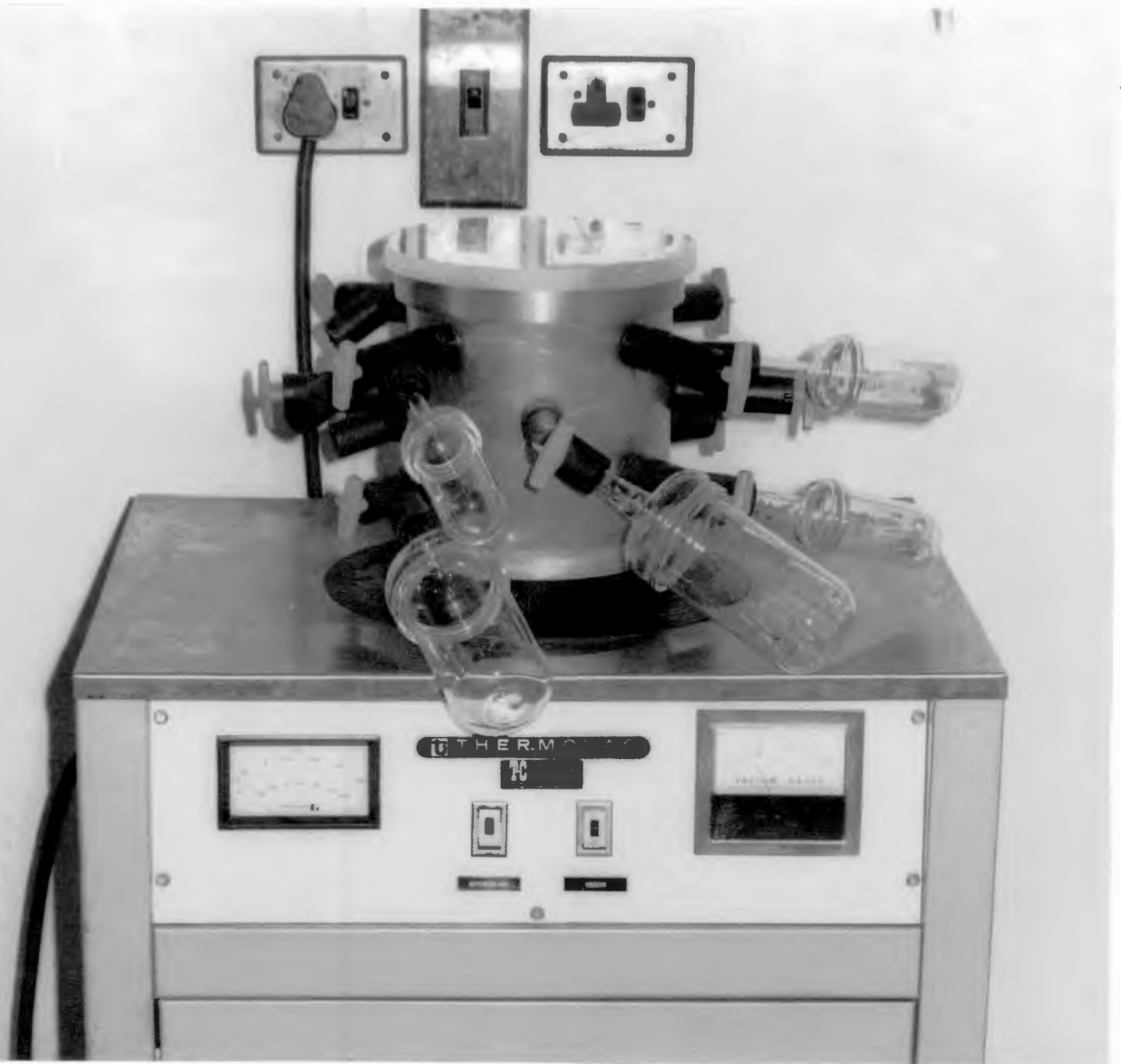


Fig. 5.3: Vriesdrogingsapparaat.



Fig. 5.4: Opstelling vir aktiwiteitsmetings.