R007

DELTADIENST
WATERLOOPK. AFD.

DDWT-BEN-1957.08

NOTA BETREFFENDE DE ONTWIKKELING VAN EEN METHODE VOOR ZANDTRANSPORTMETINGEN MET BEHULP VAN RADIOACTIEVE TRACERS

Rapport nr. 8

RIJKSWATERSTAAT
DELTADIENST
Waterloopkundige Afdeling

augustus 1957

Rapport nr. 8, 1957.

augustus 1957

Titel : Nota betreffende de ontwikkeling van een methode voor zandtransportmetingen met behulp van radioactieve tracers.

Korte inhoud : Het rapport geeft een verslag van de onderzoekingen, welke werden verricht na het verschijnen van de eerste nota op dit gebied (rapport nr. 12, 1956), wat betreft de ontwikkeling van de methode van het meten van sedimenttransport m.b.v. radioactieve tracers. Vooral is aandacht besteed aan het toe te passen tracermateriaal en de apparatuur. Het verslag van de in het Waterloopkundig Laboratorium "de Voorst" uitgevoerde proefmeting is in het rapport opgenomen.

Conclusies : Zie hoofdstuk 2.0.0., blz. 2.
Voor de conclusies met de proef, uitgevoerd in het Waterloopkundig Laboratorium "de Voorst", zie paragraaf 7.9.0., blz. 30.

Redactie : Ir J.J. Arlman (Philips-Roxane, N.V.), Ir P. Santema, Ir J.N. Svasek.

Algemeen gebruik.

Opmerkingen : Men zie ook: "Movement of bottom sediment in coastal waters by currents and waves; measurements with the aid of radioactive tracers in The Netherlands"; J.J. Arlman, P. Santema, J.N. Svasek; Rijkswaterstaat, Deltadienst; june 1957.

Nota betreffende de ontwikkeling van een methode voor zandtransportmetingen met behulp van radioactieve tracers.

1.0.0. Inleiding.

Deze nota dient beschouwd te worden een deel van een serie toelichtingen omtrent de voortgang van de ontwikkeling van de bovengenoemde meetmethode. Het 1e deel van deze serie is verschenen in 1956 (Rapport nr.12 van de Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst:"Nota betreffende het onderzoek naar de mogelijkheden van zandtransportmetingen met gemerkt zand").

Door de voortgang van het onderzoek zijn sommige, reeds in deel 1 behandelde aspecten in een nieuw licht komen te staan en is het noodzakelijk ze in deze nota opnieuw te behandelen.

Sinds het verschijnen van de eerste nota zijn er verschillende onderzoekingen en studies voltooid, waarvan de resultaten zodanig waren, dat men thans tot de metingen in de natuur zou kunnen overgaan. Enkele kleine aanvullende proeven zullen nog moeten worden uitgevoerd, doch daar ze slechts betrekking hebben op technische details van de metingen, kunnen ze worden uitgevoerd in de tijd, die nodig is voor het aanschaffen van de nodige instrumentarium.

Het één en ander wordt behandeld in de volgende hoofdstukken:

2. Samenvatting van de conclusies,
3. Radioactieve tracers,
4. Apparatuur voor het waarnemen van radioactieve straling op de zeebodem,
5. Overige apparatuur (menging, plaatsing, monstername),
6. Bescherming van het personeel, eisen t.a.v. de volksgezondheid,
7. Proefmeting in het Waterloopkundig Laboratorium "de Voorst",
8. Programma van metingen en verder onderzoek.

2.0.0. Conclusies:

2.1.0. Het materiaaltransport door stromend water kan met behulp van radioactieve tracers kwalitatief en kwantitatief worden gemeten.

2.2.0. Greensand, d.i. een ionenwisselaar, ook bekend als Ionac C 50, kan in gegloeide toestand worden gebruikt als tracer voor metingen van materiaaltransport.

2.3.0. Het radioactieve isotoop van scandium (Sc-46) is geschikt voor de metingen van materiaaltransport en kan aan het gegloeide greensand gebonden worden.

2.4.0. Voor metingen in de omgeving van de stortplaats wordt een scintillatie-detector, een ratemeter en een disoriminator aanbevolen.

2.5.0. Voor metingen op grote afstand van de stortplaats heeft het gebruik van scintillatie-plastics of scintillatie-vloeistoffen voordelen.

2.6.0. Gegevens over de verdeling van de tracerkorrels in bodemverticalen kunnen verkregen worden door middel van monstername, waarvoor in Nederland een apparatuur is ontwikkeld.

2.7.0. De bediening van de apparatuur voor de metingen van het materiaaltransport kan aan het aanwezige meetpersoneel van de Rijkswaterstaat worden toevertrouwd.

2.8.0. Deskundigen op het gebied van de kernphysica zullen intensief toezicht moeten houden bij de vervaardiging van het radioactieve tracermateriaal en bij het aanbrengen hiervan in het meetgebied. Daarna is een normale contrôle in verband met de veiligheid voldoende.

2.9.0. In het geval van een sedimenttransport met een uitgesproken richting kan de totaal benodigde radioactiviteit en hoeveelheid tracermateriaal beperkt worden door middel van herhaalde stortingen.

- 3.0.0. -

3.0.0. Radioactieve tracers.

3.1.0. Wat betreft het maken van radioactieve tracers, geschikt voor het meten van het sediment transport, kunnen de volgende mogelijkheden worden onderscheiden.

3.1.1. Radioactief maken van natuurlijk zand in een reactor is mogelijk, indien de te gebruiken zandsoort een dusdanige chemische samenstelling heeft, dat door de bestraling een eenvoudige, geschikte vorm van radioactiviteit ontstaat. Inman en Goldberg[1]) hebben enkele zandsoorten in een reactor aan straling blootgesteld en gevonden, dat St.Peter-sandstone een radioactiviteit verkregen had, die identiek was met de 1,7 MeV β-straling van fosfor P^{32}. Silicoon Si^{31}, dat ontstaat bij bestraling van SiO_2, is helaas een kortlevend isotoop, met een halveringstijd van omstreeks 3 uur; bovendien is het een zuvere β-straler met β's tot maximaal 1,8 MeV.

Nadelen van deze methode zijn de volgende. In verband met de gewenste statistische verdeling van de tracer in het sediment, dient een groot aantal korrels van het tracer materiaal te worden bestraald. De volumineuze hoeveelheden te bestralen materiaal kunnen niet ineens worden ondergebracht in de beperkt beschikbare ruimte in de reactor, terwijl bovendien een gelijkmatige bestralingsintensiteit niet kan worden bereikt. Een bezwaar is ook de inhomogeniteit, wat betreft de chemische samenstelling van de natuurlijke zandsoorten.

3.1.2. Een andere methode, is om in een carrier-material, b.v. glas of plastic, een element op te lossen, dat door bestraling in een reactor in een geschikt radioactief isotoop overgaat. Reeds vóór de bestraling zou de drager van dit element de eigenschappen van het bodemsediment moeten bezitten. Een voordeel boven de voorgaande methode is, dat een betere chemische homogeniteit

- van -

---

[1]) E.D. Goldberg, D.L. Inman,
Neutron-irradiated quartz as a tracer of sand movements,
Scripps Inst.Oceanogr., new series nr.761, 1955.

van het te bestralen materiaal bereikbaar is; overigens zijn de bezwaren dezelfde.

3.1.3. De methode, waarbij <u>een element radioactief wordt gemaakt, dat daarna in glas, plastic of een ander carrier-materiaal wordt geincorporeerd</u>, heeft reeds verschillende malen toepassing gevonden [1-4]. Deze methode heeft het voordeel, dat, uitgaande van een relatief kleine hoeveelheid stof, het radioactieve isotoop met hoge specifieke activiteit gemaakt kan worden in een reactor of cyclotron. Doordat bij deze methode ook van een cyclotron gebruik kan worden gemaakt, wordt de keuze van het isotoop ruimer. Ingeval het betreffende element schaars en bijzonder kostbaar is, is het met het oog op de kosten van groot belang de gewenste totale activiteit in een geringe hoeveelheid stof te kunnen aanbrengen, d.w.z. dat deze in een hoge flux bestraald moet worden. Een bezwaar is, dat het verwerken van de radioactieve carriermassa tot de uiteindelijk korrelvormige tracer bijzondere maatregelen vergt

- ter -

---

1) J.L. Putnam, D.B. Smith, R.M. Welles, F. Allen, G. Rowan, Thames siltation investigation-Preliminary experiment on the use of radioactieve tracers for indicating mud movements, Atomic Energy Res. Establ., Harwell; Hydr.Res.Stat., D.S.I.R., Wallingford; 1954.

2) R. Hours, W.D. Nesteroff, V. Romanovsky, P. Pruvost, Utilisation d'un traceur radioactif dans l'étude de l'évolution d'une plage, Ac.Sc., 1955.

3) Shizuo Inose, Naofumi Shiraishi, Measurements of littoral drift by radio-isotopes, Nat. Hokkaido Development Bur., Japan, 1956.

4)) R. Hours, W.D. Nesteroff, V. Romanovsky, Méthode d'étude de l'évolution des plages par traceurs radioactifs, Trav. Centre Rech. Etudes Océanogr., V. 1, 1955.

ter bescherming van de arbeiders en ter voorkoming van radioactieve besmetting in de fabriek of laboratorium.

3.1.4. Een methode, welke eveneens reeds toepassing heeft gevonden, bestaat in het afzetten van een radioactief isotoop op de oppervlakte van de korrels van het bodem sediment. In het Laboratorio Nacional de Engenharia Civil in Portugal heeft men radioactief zand gemaakt, door radioactief zilver (Ag^{110}) uit zilvernitraat op zandkorrels neer te slaan[1]). Uit de proeven bleek, dat 30% van het oorspronkelijk aan de zandkorrels gehechte zilver losliet, onder invloed van de uitwassing door het zeewater en de schurende werking van het zand zelf. Vooral dit laatste effect, waardoor bij proeven van lange duur de tracer geheel zijn kenmerkende eigenschappen zal verliezen, is een groot nadeel van de toegepaste methode. Men zou deze methode misschien kunnen verbeteren door, na het chemisch neerslaan van een radioactief element op de zandkorrels, deze te gloeien tegen de sintertemperatuur aan, waarbij door diffusie het radioactief element in de zandkorrels zou kunnen indringen.

3.1.5. Een andere methode, welke voor de toepassing in Nederland het meest in aanmerking komt, berust op het inbouwen van een radioactief isotoop in een ionenwisselaar, b.v. in een zeoliet. De zeolieten zijn natuurlijke en synthetische aluminiumsiticaten, die in hun kristalrooster eenwaardige (Na^{+}) of tweewaardige (Ca^{++}) ionen ingesloten hebben; deze ionen kunnen echter door drie- of hoger-waardige ionen worden vervangen. De omwisseling heeft uiteraard plaats in een milieu, waarin zich de hogerwaardige ionen bevinden.

Men kan nu een radioisotoop, waarvan een hogerwaardig ion bestaat, in een zodanige zeoliet inbouwen, die zo goed mogelijk voldoet aan de voorwaarden inzake het transport, genoemd

- in -

---

[1]) A. Gibert,
Essai sur la possibilité d'employer Ag^{110} dans l'étude du transport du sable par la mer,
Lab. Nac. de Engenharia Civil, Lissabon, 1954.

in 3.2.1. Behalve het feit, dat men radioactieve stof met hoge specifieke activiteit kan gebruiken, biedt ook de mogelijkheid van het toepassen van radioactieve isotopen van zeldzame aarden en "fission products" voordelen; de afvalproducten behoren in de regel tot de goedkoopste radio-actieve stoffen.

3.2.0. Eigenschappen van de ionenwisselaar "greensand".

3.2.1. De meeste, tegenwoordig in de chemische industrie gebruikte ionenwisselaars zijn kunstharsen met een laag specifiek gewicht, die als tracers voor het nagaan van zandtransport onbruikbaar zijn. Van de anorganische zeolieten heeft slechts greensand, in de handel bekend als Ionac C 50, een specifiek gewicht (s.g. = 2,75 à 2,78), dat het specifiek gewicht van het in de kustwateren van Nederland aanwezige bodemsediment (s.g. = 2,65 à 2,68) voldoende dicht benadert.

Een nadeel van greensand is echter zijn geringe hardheid, die ver beneden die van zand ligt. Het is gebleken, bij schuurproeven met een mengsel van greensand en gewoon kwartszand in water, dat reeds na enkele minuten zeer kleine deeltjes greensand waren gevormd, terwijl bij langer durende schuurproeven een verschuiving naar de fijnere fracties optrad in de zeefkromme van het mengsel. Een aanmerkelijke vergroting van de hardheid van het greensand werd bereikt door het gloeien van dit materiaal op ca. 900°C; de snelheid van ionen-uitwisseling en de opnamecapaciteit werden hierdoor echter verlaagd. Gezien het streven om een kleine hoeveelheid radioactieve stof, met hoge specifieke activiteit, aan de korrels te binden, en in de tweede plaats de wenselijkheid om de activiteit van de individuele korrels te beperken, met het oog op de veiligheidseisen, levert dit echter geen bezwaren op.

3.2.2. Hardheidsproeven met gegloeid greensand hebben uitgewezen, dat er ook na geruime tijd geen merkbare afslijting plaats vond. Figuur 1.
Voor het nagaan van de afslijting, die overeenkomt met een langdurig verblijf in de zee, onder invloed van golven en stroom, dienen nog hardheidsproeven van langere duur te worden verricht.

3.2.3. Met greensand werden proeven uitgevoerd, betreffende de opnamecapaciteit en de opnamesnelheid voor Sc^{46} uit een Sc_2O_3-oplossing. Hierbij is gebleken, dat ongegloeid greensand reeds

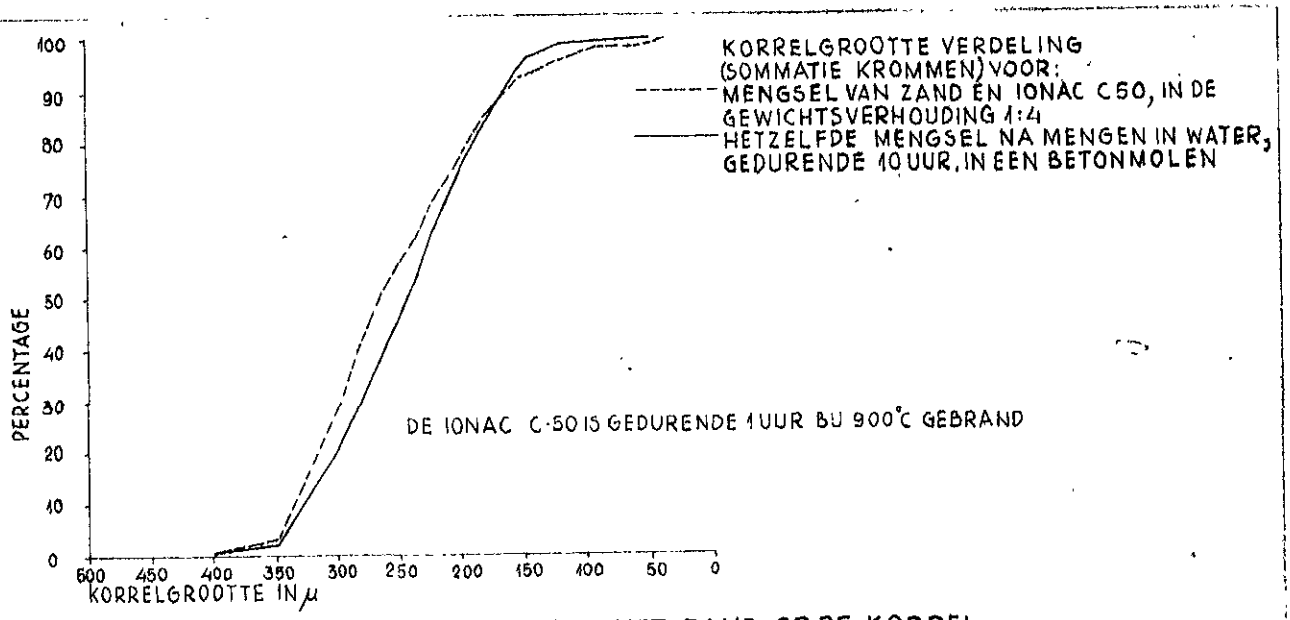


Fig.1 INVLOED VAN HET SCHUREN MET ZAND OP DE KORRELGROOTTEVERDELING VAN IONAC C-50

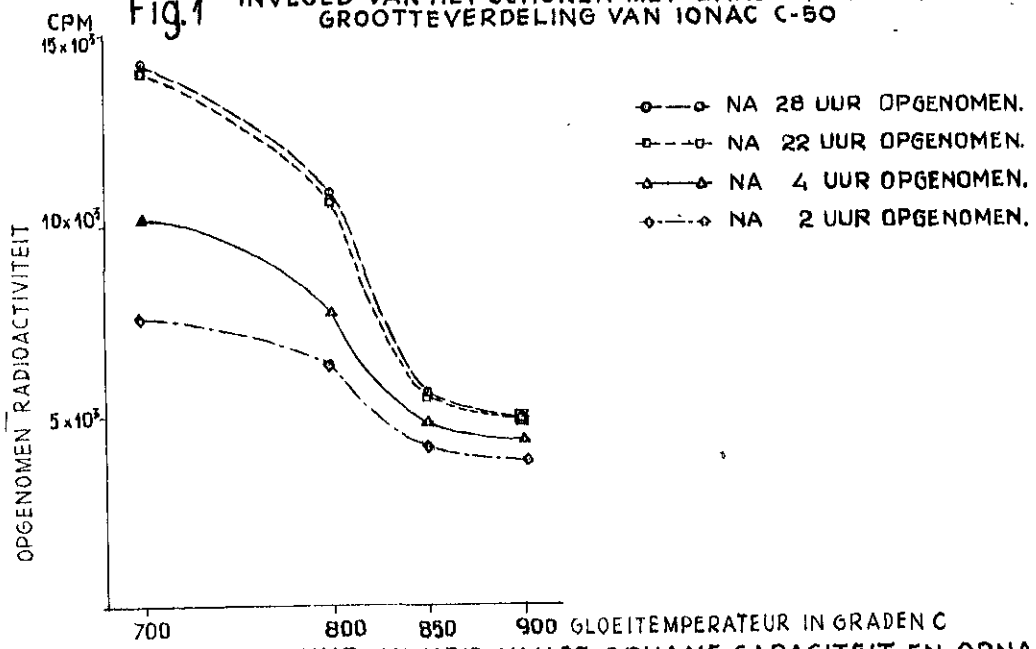


Fig.2 AFHANKELIJKHEID VAN DE OPNAME CAPACITEIT EN OPNAMESNELHEID VAN IONAC C-50 VOOR Sc^{46} UIT EEN Sc_2O_3 OPLOSSING, VAN DE GLOEITEMP.

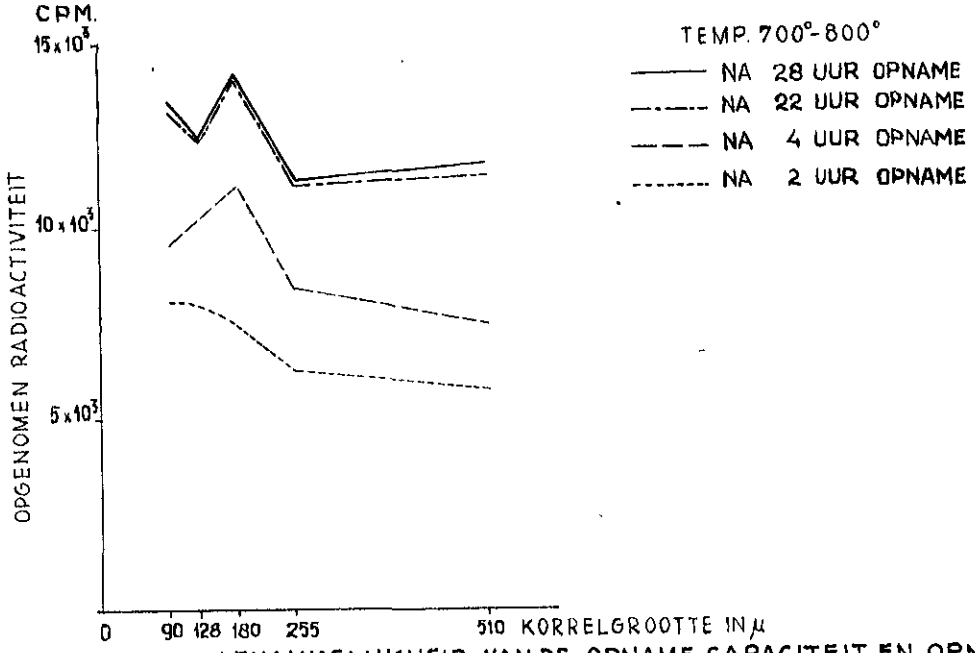


Fig.3 AFHANKELIJKHEID VAN DE OPNAME CAPACITEIT EN OPNAMESNELHEID VAN IONAC C-50 VOOR Sc^{46} UIT EEN Sc_2O_3 OPLOSSING, VAN DE KORRELGROOTTE

na 3 minuten de benodigde hoeveelheid Sc^{46} opnam, terwijl de opnamecapaciteit nog aanzienlijk hoger was. Het gegloeide greensand nam dezelfde hoeveelheid pas op na ca. 2 uur.

Verder is nog nagegaan de mate waarin Sc^{46} door zeewater wordt uitgewassen. Bij de betreffende proef kon, na 48 uur roeren, in het zeewater geen spoor radioactief Sc worden aangetoond.

3.2.4. Bij een tweede serie proeven werd nagegaan de opnamecapaciteit voor Sc^{46} van greensand, dat gegloeid was bij verschillende temperaturen (700°; 800°; 850°; 900°C) en wel voor verschillende korrelgroottes van dit greensand. Hierbij is gebleken dat de gunstigste gloeitemperatuur tussen 700° en 800° C ligt, daar in dit gebied de opnamecapaciteit slechts weinig verandert en dus een minder grote nauwkeurigheid wat betreft de gloeitemperatuur vereist wordt. Boven 800°C neemt de opnamecapaciteit sterk af, waardoor een niet homogene verwarming reeds grote afwijkingen in de opnamecapaciteit tengevolge heeft. Figuur 2. De afhankelijkheid van de opnamecapaciteit van de korrelgrootte is slechts gering, zodat aangenomen mag worden, dat de opgenomen activiteit per gram greensand voor alle fracties constant is. Figuur 3.

3.3.0. <u>De toe te passen radioactieve isotoop</u>.

De keuze van de toe te passen radioactieve isotoop wordt door verschillende factoren bepaald, welke hieronder behandeld zullen worden.

3.3.1. Als eerste kan worden genoemd de <u>aard van de radioactieve straling</u>.

Wil men metingen van sedimenttransport rechtstreeks op de bodem in het meetgebied uitvoeren en niet uitsluitend zijn aangewezen op het nemen van bodemmonsters, die in het laboratorium moeten worden onderzocht, dan dient men bij de keuze van het radioactieve isotoop rekening te houden met een relatief grote absorptie van de straling in het zeewater en in het bodemsediment zelf. Daarom zijn α- en β- stralers voor dit doel practisch onbruikbaar en zelfs zachte γ-stralers dienen bij voorkeur niet gekozen te worden. Harde γ-straling is t.o.v. de voorgaande stralingsvormen in het voordeel, door zijn geringere gevoeligheid voor de variaties in de dikte van de laag water, die onder het instrument voor de opname van de radio-

activiteit ongetwijfeld zal voorkomen, t.g.v. oneffenheden in de bodem (b.v. zandribbels). Bovendien zal, bij dezelfde hoeveelheid tracerkorrels en bij dezelfde eisen t.a.v. de statistiek van de telling, het te bestrijken gebied groter zijn, naarmate de γ-straling harder is.

Gebruikt men Geiger-Müller-(G.M.) tellers in het opnameinstrument, dan is de efficiency voor harde straling groter dan voor zachte γ-straling. Gebruikt men een scintillatie-kristal, dan is de absorptie in het kristal voor zachte γ-straling groter dan voor harde straling. De absorptie voor harde γ-straling kan echter voldoende vergroot worden door de dikte van het kristal te vergroten.

3.3.2. Om practische redenen zal men een <u>halveringstijd</u> van de radioactiviteit van het betreffende isotoop van tenminste 1 week dienen te eisen, in verband met de speling t.a.v. het tijdstip der metingen, die noodzakelijk is met het oog op de weersomstandigheden; deze laatste zullen n.l. niet altijd een meting op het geplande tijdstip toelaten. Bovendien is het wenselijk de kans op metingen vóór en na het optreden van een storm te vergroten.

Een halveringstijd van 1 jaar is aan de andere kant te lang, omdat latere metingen dan door de voorafgaande gestoord kunnen worden; bovendien zal aan een kortere halveringstijd de voorkeur worden gegeven, met het oog op eventuele gevaren voor het besmetten van badstranden. Een voordeel van een kortere halveringstijd is bovendien, dat in de regel isotopen met een korte halveringstijd snel in grote hoeveelheid kunnen worden geproduceerd en per desintegratie een groot energietransport vertonen, zodat de kans op het voorkomen van harde γ-straling bij deze isotopen groot is.

Voor het meten van het sedimenttransport in de kustgebieden lijkt een halveringstijd in de orde van grootte van 1 à 3 maanden wel geschikt.

3.3.3. De onder 3.1.2, 3.1.3, 3.1.4 en 3.1.5 beschreven technieken stellen bepaalde eisen aan de <u>chemische eigenschappen</u> van het radioisotoop.

3.3.4. In verband met de mogelijkheid van aanschaffen van het radioactieve isotoop komen in de praktijk voor metingen op grote schaal alleen reactorisotopen of "fission products" in aanmerking. Gezien het aantal plaatsen in Europa en Noord-Amerika, waar bestralingen kunnen worden uitgevoerd, is het verkrijgen van voldoende radioactiviteit geen probleem. Voor proeven op laboratorium-schaal zal de benodigde geringe radioactiviteit in vele gevallen door een cyclotron geleverd kunnen worden.

3.3.5. In tabel I is een overzicht gegeven van een aantal radioactieve isotopen, die geheel of tendele voldoen aan de gestelde voorwaarden. Het nader onderzoek van de isotopen uit tabel I heeft uitgewezen, dat voorlopig scandium Sc^{46} het meest in aanmerking komt voor het inbouwen in "greensand". Sc^{46} heeft een halveringstijd van 85 dagen en per desintegratie komen twee γ-'s voor van 0,89 MeV (100%), resp. 1,12 MeV (100%); ook overigens voldoet deze radioisotoop aan de in 3.3.1 - 3.3.4 gestelde voorwaarden.

4.0.0. Apparatuur voor het waarnemen van de radioactiviteit.

4.1.0. Voor de waarnemingen van radioactiviteit onder de omstandigheden, voorkomende bij de metingen in de natuur in water, kan de volgende apparatuur toegepast worden:

4.1.1. Een stralingsopnemer, ingebouwd in een waterdicht lichaam, dat vanaf een vaartuig op de bodem neergelaten kan worden. De diverse typen van de opnemers worden besproken onder 4.3.0 e.v.

4.1.2. Een voedingseenheid, die de gewenste spanning voor de opnemer levert (zelf wordt deze eenheid gevoed met behulp van een 220 V. aggregaat). Deze kan voor alle typen opnemers dezelfde zijn.

4.1.3. Een tellereenheid met een klokeenheid die de waargenomen stralingsquanten als functie van tijd registreert (b.v. 1500 stralen per 1 minuut of 3000 stralen per 2 minuten). Deze is geschikt voor puntmetingen.

4.1.4. Een "ratemeter", die direct registreert het stralingsniveau uitgedrukt in aantal stralen per minuut en geschikt is voor continuemetingen vanaf een varend schip. De gevoeligheid van dit instrument is echter ca. 5 maal zo klein als van de tellereenheid; registratie m.b.v. een recorder is echter mogelijk.

4.1.5. Een discriminator van de stralingsenergie. Met behulp hiervan is het mogelijk globaal de gemiddelde diepte van de tracerkorrels te bepalen t.o.v. het bodemoppervlak en dus ook de juiste plaatsen aan te wijzen, waar een nader onderzoek m.b.v. monstername noodzakelijk is.

4.2.0. Bij de beschouwingen, betreffende de apparatuur voor het meten van het sedimenttransport m.b.v. radioactieve tracers, zal voorlopig worden uitgegaan van de veronderstelling, dat de tracer gevolgd moet kunnen worden over een afstand van minstens 1000 m, vanaf het punt, waar de tracer aan het begin van de meting werd gedeponeerd; daarbij wordt aangenomen, dat de tracer zich gelijkelijk verdeelt over een cirkeloppervlak met een diameter van 2000 m, d.w.z. een oppervlak van ruim 3.10^6 m^2. Hierbij valt nog te bedenken, dat de tracer niet uitsluitend aan de oppervlakte van de bodem zal blijven tijdens het transport, maar over een laag met een zekere dikte zal worden verdeeld. Over deze ver-

deling in verticale zin dient men door discriminatie van de stralingsenergie en door monsterneming gegevens te verzamelen.

4.2.1. Om bij een dergelijke verspreiding van de radioactiviteit nog goed te kunnen meten, zal voldaan moeten zijn aan de volgende voorwaarden:

a. het aantal korrels, waarvan door de detector de radioactiviteit wordt waargenomen, dient voldoende groot te zijn, teneinde de statistische afwijkingen van dit aantal beneden een zeker percentage, b.v. 10% te houden.

b. de statistische afwijkingen van het aantal in de meettijd geregistreerde quanten dienen eveneens beneden een zeker percentage, b.v. 10% te blijven.

In verband met de gewenste kleine statistische afwijkingen in de tracerkorrel-distributie, zal men met zoveel mogelijk korrels willen werken. Aan deze hoeveelheid wordt echter door practische overwegingen een grens gesteld. Het is in de praktijk bezwaarlijk b.v. 1000 kg radioactieve tracerkorrels op de zeebodem te deponeren. Ook t.a.v. de totale hoeveelheid radioactiviteit stelt de praktijk grenzen, met het oog op de eisen van volksgezondheid en de moeilijkheden bij de handeling van te grote hoeveelheden radioactief materiaal.

4.2.2. Uit het bovenstaande volgt, dat de opnameapparatuur, behalve aan de algemene eis van betrouwbaarheid, moet voldoen aan de volgende voorwaarden:

a. grote efficiency voor de harde γ-quanten, uitgezonden door de radioactieve tracer (zie 3.3.1.),

b. het volume van waaruit quanten bijdragen tot de "countrate" dient zo groot mogelijk te zijn (zie 4.4.0.),

c. over de verdeling van de activiteit in verticale zin moet zoveel mogelijk informatie worden geleverd, teneinde de bepaling van de meest gewenste plaatsen voor de monsterneming te vergemakkelijken (zie 4.6.0.).

Teneinde de verschillende apparaturen met elkaar te kunnen vergelijken, zal worden uitgegaan van één bepaald radioisotoop, en wel Sc^{46} (zie 3.3.5).

4.3.0. De harde γ-straling kan gemeten worden met de volgende opnemers:

a. Geiger-Müller (GM)-tellers,

b. Scintillatie (sc)-plastics of scintillatie-vloeistoffen,

c. Scintillatie (sc)-kristallen (NaJ).

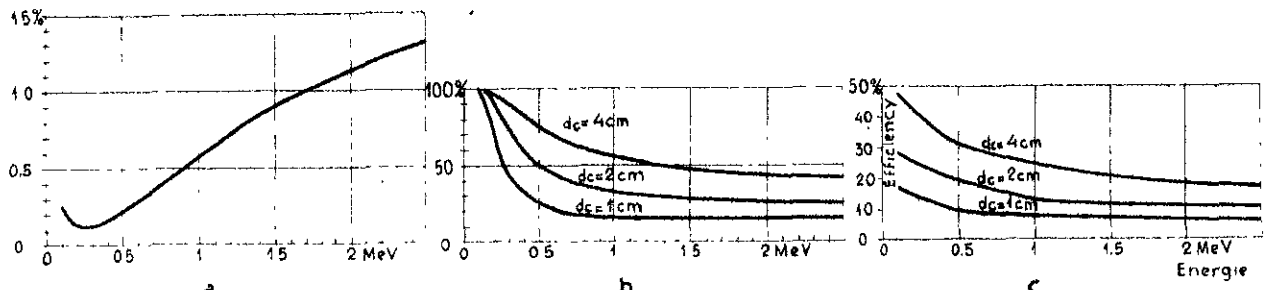
De efficiency van GM-tellers voor 1 MeV γ-straling ligt tussen 0,5 en 2%. De efficiency van NaJ-kristallen en sc-plastics hangt af van hun hoogte. Figuur 4.

4.3.1. De GM-teller heeft als voordeel, dat het een eenvoudig instrument is. De zeer lage efficiency voor γ-straling maakt echter het gebruik van GM-tellers vooral bij "scanning" van de bodem, weinig aantrekkelijk. Discriminatie van de impulsen is met deze tellers niet mogelijk.

4.3.2. Het voordeel van sc-plastics en -vloeistoffen is, dat grote afmetingen zonder bezwaar kunnen worden vervaardigd. Bovendien zijn ze relatief goedkoper dan de sc-kristallen. Daar tegenover staat, dat bij de normale sc-plastics en -vloeistoffen discriminatie van de stralingsenergie niet mogelijk is, terwijl zulks voor NaJ kristallen zonder enig bezwaar is te verwezenlijken (zie ook 4.6.0.). Teneinde de discriminatie ook bij sc-plastics en -vloeistoffen mogelijk te maken zou men deze moeten laden met b.v. Pb-atomen. Over deze "loaded-scintillators" zijn momenteel echter nog weinig gegevens bekend.

4.3.3. Sc-kristallen van NaJ met een diameter van 12,5 cm en een hoogte van 10 cm zijn leverbaar, maar dit zijn toch wel de maximale afmetingen.

4.4.0. Het is van belang na te gaan, uit welk deel van het bed een detector het voornaamste deel van de totaal ontvangen straling opneemt. Daartoe wordt in het onderstaande uitgegaan van de volgende vereenvoudigde veronderstellingen. De tracerkorrels en de radioactiviteit zijn homogeen verdeeld over een laagdikte y. Figuur 5. In deze laag is dus het aantal tracerkorrels per cm^3 constant, men kan ook zeggen, dat het aantal desintegraties in het bedmateriaal, per minuut, per cm^3, constant is. De detector beweegt zich op een afstand y_o boven de bodem,



a
NORMALE GM TELLER

b
NaJ(TL) SCINTILLATIE DETECTORS VAN VERSCHILLENDE DIKTE (GEEN DISCRIMINATIE VAN ENERGIEEN)

c
SCINTILLATIE MATERIAAL VAN VERSCHILLENDE DIKTE (GEEN DISCRIMINATIE VAN ENERGIEEN)

Fig. 4

EFFICIENCY VOOR γ-STRALING VAN VERSCHILLENDE TELLERS

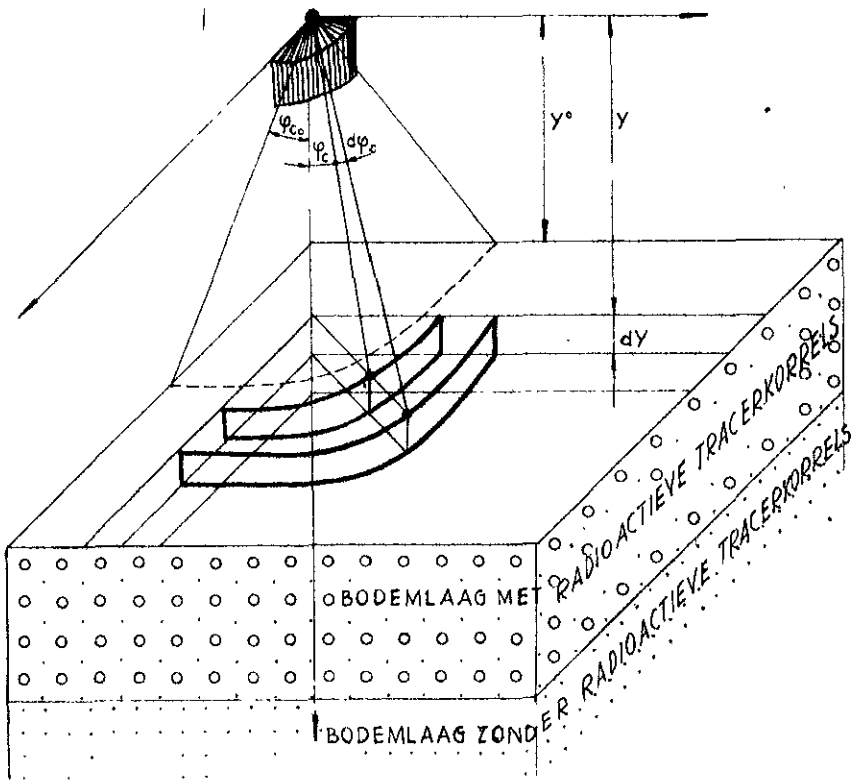


Fig. 5

waarbij zich tussen de detector en de bodem lucht bevindt. Alleen straling, uitgezonden door tracerkorrels binnen de kegel, met een halve tophoek φ_{co}, kan de detector bereiken, waarbij dus wordt verondersteld, dat het materiaal, buiten deze kegel gelegen, een oneindig grote absorptiecapaciteit heeft.

Men beschouwt nu een tracerkorrel, gelegen op een diepte y en op een lijn, die een hoek φ_c maakt met de as van de bovengenoemde kegel. De fractie van de straling, uitgezonden door deze korrel, die de detector met grondvlak A passeert, is evenredig met

$$\frac{A \cdot \cos^3\varphi_c}{4 \cdot \pi y^2}$$ bij verwaarlozing van de absorptie in de bodem.

Integratie over het volume, met een dikte $y - y_o$, gelegen binnen de bovengenoemde kegel met een halve tophoek φ_{co}, leert, dat voor de waargenomen activiteit (zonder absorptie) geldt:

$$\text{"countrate"} :: \frac{A}{2} \cdot (y - y_o) \cdot (1 - \cos\varphi_{co}) \qquad (1)$$

De "countrate" neemt dus lineair toe met de dikte van de laag, waarin zich de radioactieve tracerkorrels bevinden, bij verwaarlozing van de absorptie.

Houdt men rekening met de absorptie in de bodem dan gaat de uitdrukking (1) over in:

$$\text{"countrate"} :: \frac{A}{2} \cdot \int_{y_o}^{y} dy \cdot \int_{0}^{\varphi_{co}} \sin\varphi_c \cdot e^{-0{,}693 \frac{y - y_o}{d \cdot \cos\varphi_c}} d\varphi_c \text{ -------} (2)$$

waarin d = de halveringsdikte voor nat sediment (voor nat zand voor 1 MeV γ-straling is dit 9 cm).

In de tabellen II en III zijn de evenredigheidsfactoren (1) en (2) aangegeven als functie van de dikte van de laag met radioactieve tracerkorrels (uitgedrukt in de halveringsdikte d voor het natte bodemmateriaal) en van de halve tophoek φ_{co}; tevens is aangegeven de relatieve bijdrage tot de "countrate" van de op verschillende diepte gelegen lagen met radioactieve tracerkorrels.

- Tabel II -

Tabel II

Waarde van de uitdrukking (1); zonder absorptie in de bodem

Actieve laag van y_o tot y	Totale "countrate"			
	$\varphi_{co} = 45^o$		$\varphi_{co} = 90^o$	
	Evenredig met	Percentage	Evenredig met	Percentage
$y_o-(y+\frac{d}{2})$	$\frac{A.d.}{2}$ 0,147	25	$\frac{A.d.}{2}$ 0,5	25
$y_o-(y+d)$	$\frac{A.d.}{2}$ 0,294	50	$\frac{A.d.}{2}$ 1,0	50
$y_o-(y+2.d)$	$\frac{A.d.}{2}$ 0,588	100	$\frac{A.d.}{2}$ 2,0	100

Tabel III

Waardevan de uitdrukking (2); met absorptie in het bed

Actieve laag van y_o tot y	Totale "countrate"							
	$\varphi_{co} = 6^o$		$\varphi_{co} = 30^o$		$\varphi_{co} = 45^o$		$\varphi_{co} = 90^o$	
	Evenredig met	Perc.	Evenredig met	Perc.	Evenredig met	Perc.	Evenr. met	Perc.
$y_o-(y+\frac{d}{2})$	$\frac{A.d}{2}$ 0,00230	39	$\frac{A.d.}{2}$ 0,056	40	$\frac{A.d.}{2}$ 0,120	41	$\frac{A.d.}{2}$ 0,319	51
$y_o-(y+d)$	$\frac{A.d.}{2}$ 0,00394	67	$\frac{A.d}{2}$ 0,094	68	$\frac{A.d.}{2}$ 0,200	69	$\frac{A.d.}{2}$ 0,480	77
$y_o-(y+2.d)$	$\frac{A.d}{2}$ 0,00388	100	$\frac{A.d.}{2}$ 0,139	100	$\frac{A.d.}{2}$ 0,289	100	$\frac{A.d.}{2}$ 0,626	100
$y_o-\infty$	$\frac{A.d.}{2}$ 0,00790	134	$\frac{A.d.}{2}$ 0,180	129	$\frac{A.d.}{2}$ 0,360	125	$\frac{A.d.}{2}$ 0,722	115

Uit de tabellen blijkt, dat de toepassing van een kegelvormige begrenzing de opstelling relatief gevoeliger maakt voor de diepte waarop de radioactiviteit zich bevindt. Aangezien de genoemde percentages voor $\varphi_{co} = 45^o$ echter nog niet al te veel verschillen van die voor $\varphi_{co} = 6^o$, zal de winst aan "countrate", welke men overigens bereikt door toepassing van een grote tophoek, doorslaggevend zijn, en dus voeren tot de keuze van een grote tophoek.

Uit de berekeningen blijkt voorts, dat wanneer y_o voldoende groot is t.o.v. de afmetingen van het oppervlak A, de "countrate" onafhankelijk is van y_o.

4.4.1. Wanneer de detector gevormd wordt door een op 20 cm boven de bodem geplaatst klein sc-crystal van NaJ (diameter 2,5 cm, hoogte 2,0 cm) heeft het oppervlak, dat door de detector wordt gezien, bij $\varphi_{co} = 45^o$, een diameter van ruim 40 cm. Wanneer per cm^3 bodemmateriaal, in een laag ter dikte d onder de oppervlakte van de bodem, n_1 tracerkorrels voorkomen met elk n_2 microCurie, dan wordt de waarneming voor Sc^{46}, bij een efficiency η van het crystal, $3,7.10^4.60.2.n_1.n_2.\eta.\frac{A.d}{2}.0,200$;

met η = 0,35, A = 5 cm^2 en d = 9 cm wordt dit $7{,}0.10^6 . n_1 . n_2$ "counts per minute (cpm)". De stralingsachtergrond ("background") van deze sc-teller bedraagt ca. 300 cpm. Voor een meting, in korte tijd, op één bepaalde plaats, zal de waarneming tenminste 50% boven deze "background" dienen te liggen, zodat $7{,}0.10^6 . n_1 . n_2 \geqslant 150$, m.a.w. $n_1 n_2 \geqslant 2{,}15.10^{-5}$ μ Curie per cm^3 bedmateriaal. Voor een volume zand in het beschouwde gebied, met een oppervlak van ruim 3.10^6 m^2 (zie 4.2.0) en een dikte gelijk aan d = 9 cm, volgt hieruit een totaal benodigde radioactiviteit van ca. 6,1 Curie. Zou de activiteit zich homogeen verdelen over een diepte van 10.d = 90 cm, dan is voor het bezinken van dezelfde countrate 37 Curie nodig; hierbij valt te bedenken, dat de tracerkorrels in de bovenste laag ter dikte d verantwoordelijk zijn voor minstens 60% van de "countrate".

4.4.2. Teneinde geen last te hebben van grote statistische afwijkingen in het aantal korrels, dat vanuit de invloedrijke bovenste actieve laag van het bed de detector bestraalt, moeten er zich in het volume, dat door de detector wordt gezien, d.i. $\frac{\pi . 40^2}{4} . 9$ cm^3, voldoende tracerkorrels bevinden, b.v. ongeveer 100. Het totaal benodigd aantal tracerkorrels, voor het oppervlak van 3.10^6 m^2 en een dikte van 9 cm, kan zodoende worden becijferd op $2{,}4.10^9$ korrels. Veronderstelt men korrels met D = 200 μ, met een gewicht per korrel van 10^{-5} gram, dan is totaal benodigd $2{,}4.10^4$ gram of 24 kg radioactieve tracer. Bij een homogene verdeling over 10.d = 90 cm zou deze hoeveelheid 150 kg worden.

4.4.3. Voor "scanning" van de bodem d.w.z. meting m.b.v. een "ratemeter" (zie 4.1.4) kan worden aangenomen een "countrate" van 5-maal de "background", d.w.z. "scanning" is goed mogelijk, zolang de radioactiviteit zich nog niet verder dan over 0,1-deel van de eerder genoemde 3.10^6 m^2 heeft verspreid, of binnen een cirkel met een diameter van 600 m om het stortpunt is gebleven. Bij een effectieve integratietijd van de "ratemeter"

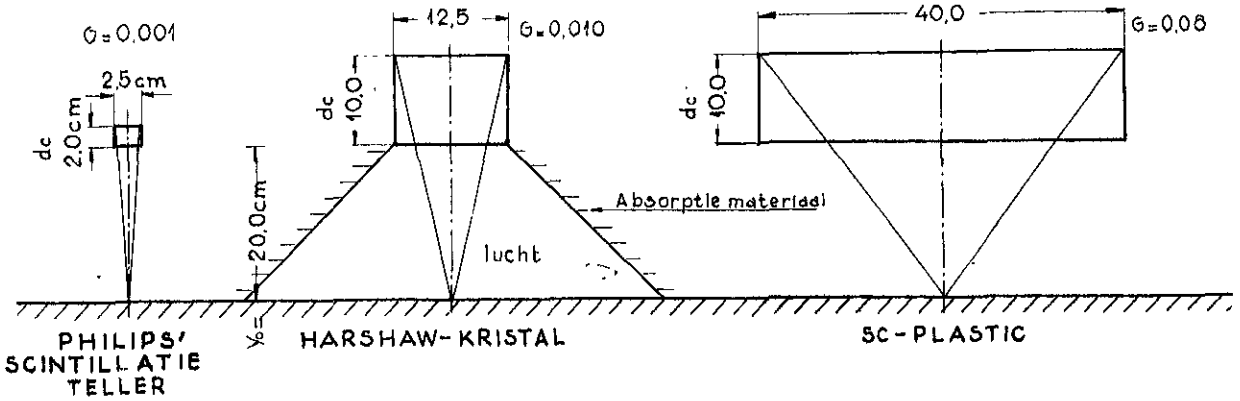
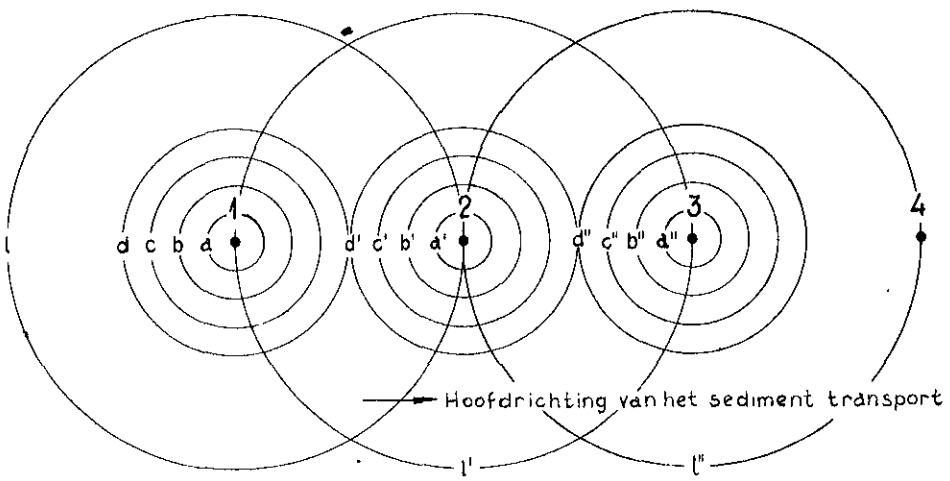


Fig.6

GEOMETRIE-FACTOREN G VOOR PUNT-BRONNEN EN VERSCHILLENDE SCINTIL-LATIE MATERIALEN



PRINCIPE VAN METING MET HERHAALDE STORTINGEN VAN RADIOACTIEF TRACERMATERIAAL 1,2,3,4,etc.

Fig.7

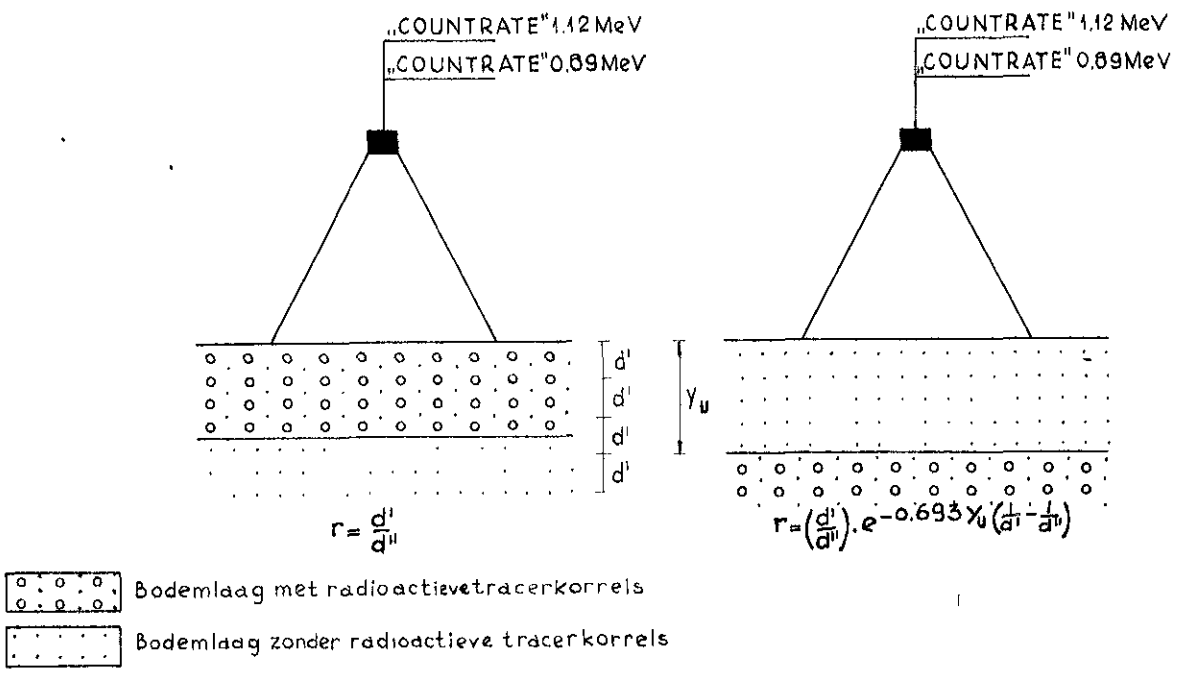


Fig.8

van 10 sec, komen in dat geval in deze 10 sec voldoende impulsen binnen, om de recorderaanwijzing niet al te zeer te beinvloeden door statistische afwijkingen. Bij langzaam voortbewegen van de detector over de bodem, b.v. met een snelheid van 1 m/sec (3,6 km/uur) is de verplaatsing in deze meettijd 10 m, d.i. klein t.o.v. de diameter van ruim 600 m van het genoemde beperkte gebied. Is de "countrate" hoger, in het begin van de meting in een gebied dichter rond het punt van storting, dan kan de integratietijd kleiner worden gehouden, zodat op kleinere afstand van het punt van storting de verplaatsing in de meettijd eveneens klein blijft t.o.v. die afstand.

4.4.4. Door gebruik te maken van een groot sc-kristal van NaJ-diameter 12,5 in plaats van 2,5 cm, hoogte 10 in plaats van 2 cm-, in een analoge opstelling als het kleine sc-kristal van NaJ, kan men de benodigde hoeveelheid radioactiviteit met een factor 30 verminderen, dan wel de meting uitvoeren in een gebied met een diameter van 11000 m bij gelijkblijvende activiteit. In het laatste geval zal het aantal tracerkorrels 30-maal groter dienen te zijn, d.w.z. dat,bij een homogene verdeling van deze tracerkorrels over een laag van 9 cm bedmateriaal, in totaal 720 kg tracermateriaal zou moeten worden geplaatst. Het vervaardigen en hanteren van dergelijke hoeveelheden radioactief materiaal stuit in de praktijk echter op bezwaren.

De bovengenoemde factor 30 volgt uit de verhouding van de volumes van de bodem die bijdragen tot de "countrate", van de efficiency van de detectors en van de geschatte geometriefactoren voor opstellingen met een groot en met een klein kristal.

In figuur 6 zijn de geometrie-factoren aangegeven voor puntbronnen voor enige opstellingen, bij een afstand van 20 cm tussen de onderkant van het kristal en de bodem. De geometriefactoren voor puntbronnen kunnen niet zonder meer toegepast worden voor vergelijking van deze opstellingen; een correctie i.v.m. de uitgebreidheid van de bron is nodig'). De aldus gecorri-

- geerde -

') G.B. Cook, J.F. Duncan, H.A. Hewits
Geometrical efficiency of end- windows GM-counters
Nucleonics, 8, no. 1, 1951.

geerde geometrie-factoren voor het sc-materiaal, weergegeven in fig.6, zijn resp. 0,0009, 0,006 en 0,032.

4.4.5. Door gebruik te maken van een groot sc-plastic - diameter 40 cm, hoogte 10 cm -, in een analoge opstelling als het kleine sc-crystal van NaJ, kan de hoeveelheid radioactiviteit met een factor 100 worden verminderd en de hoeveelheid tracerkorrels met een factor 4, dan wel kan men de meting uitvoeren in een gebied met een diameter van 20.000 m, bij gelijkblijvende activiteit. In het laatste geval zal het aantal tracerkorrels 25 - maal groter dienen te zijn, d.w.z. dat, bij een homogene verdeling van de tracerkorrels over een laag van 9 cm bedmateriaal, in totaal 600 kg tracermateriaal zou moeten worden geplaatst. Het vervaardigen en hanteren van dergelijke hoeveelheden radioactief materiaal stuit in de praktijk echter op bezwaren.

4.4.6. Bij gebruik van GM-tellers kan men de geringe efficiency hiervan voor γ-straling compenseren door het effectieve oppervlak van de teller groot te kiezen. Neemt men dezelfde waarde van η.A, als van het kleine sc-kristal van NaJ, nl. 1,75 cm^2, dan is een werkzame telbuisdoorsnede van 175 cm^2 nodig, bij een efficiency van 1% voor 1 MeV γ-straling. Deze 175 cm^2 kan men bereiken door het samenstellen van enkele grote telbuizen, dan wel van een groot aantal kleinere. Een 30-tal telbuizen van het type Philips - 18503 kan b.v. worden gemonteerd op een oppervlak van 20.20 cm^2, waarop de afgeknotte kegel met halve tophoek $\varphi_{co} = 45^o$ en een hoogte van 20 cm kan aansluiten. De "countrate" zal in dit geval ongeveer analoog zijn aan die, bij gebruik van het kleine sc-kristal. De benodigde hoeveelheid tracerkorrels zal ca. 2 - maal zo klein kunnen zijn.

4.5.0. De bovenstaande cijfers voor de benodigde radioactiviteit en de hoeveelheid tracerkorrels zijn berekend voor een meting, waarbij op één bepaalde plaats de totale hoeveelheid radioactief materiaal wordt geplaatst, waarvan de verspreiding daarna wordt gevolgd. Uit de verdeling van de radioactiviteit in het meetgebied op diverse tijdstippen, kunnen polaire diagrammen van de transportsnelheid afgeleid worden. Wanneer het grootste

deel van het radioactieve materiaal is gepasseerd en dus de "countrate" sterk is verminderd, zet men de meting op dezelfde wijze voort, op grotere afstand van het punt van storting, etc.

Op een gegeven moment is de diameter van het meetgebied zó groot geworden, dat geen radioactiviteit meer kan worden geconstateerd met voldoende nauwkeurigheid. Men heeft dan reeds enig inzicht in de sedimentbeweging verkregen. Om deze sedimentbeweging verder te vervolgen kan nu een nieuwe gelijke hoeveelheid radioactieve tracer worden geplaatst, op een punt van de laatst geëxploreerde cirkel. Om bepaalde redenen kan men daarvoor een bepaald punt van deze cirkel kiezen, b.v. dat punt, waar het sedimenttransport het grootste is.

In figuur 7 is het principe van de herhaalde stortingen van radioactief tracermateriaal nader aangegeven. De "scanning" verloopt langs cirkels in de volgorde:

a b c d - - - l
a' b' c' d' - - - l'
a'' b'' c'' d'' - - - l''

De tijdsintervallen, tussen de "scanning" van de verschillende cirkels, behoeven geenszins gelijk te zijn. Ook is het b.v. in principe mogelijk, dat punt 4 zich wederom naar links beweegt.

Deze methode heeft speciaal voordelen wanneer het sedimenttransport een uitgesproken richting heeft. Bij een diameter van de cirkel l van 200 m is "scanning" met het genoemde kleine sc-kristal van NaJ nog mogelijk, bij een totale activiteit van 3,7 Curie in een hoeveelheid tracerkorrels van 15 kg, homogeen verspreid over een laag bodemmateriaal met een dikte van 90 cm (zie ook 4.4.1). Met twee stortingen, met een totale activiteit van 7,4 Curie, omvat men zodoende een lengte van 300 m; bij één enkele storting zou men hiervoor 32 Curie gebruikt hebben. Een voordeel is ook, dat niet alle radioactieve tracermateriaal in één enkele storting over boord wordt gezet, maar dat men zich tijdens de proef bij het inmiddels gebleken sedimenttransport kan aanpassen; waarschijnlijk kan hierdoor aanzienlijk op het radioactieve tracermateriaal worden bespaard. Of de hier besproken methode in de praktijk

inderdaad kan worden toegepast, is o.m. afhankelijk van de transportsnelheid en van de tijd, welke verloopt tussen de tijdstippen, waarop metingen mogelijk zijn, met het oog op de weersomstandigheden.

4.6.0. Om een beeld te krijgen van de verdeling van de tracerkorrels in verticale zin, is het nemen van monsters noodzakelijk. De vraag is in hoeverre de boven besproken meting van de radioactiviteit steun kan verlenen bij de bepaling van de plaats van de monsterneming. In principe is het mogelijk gebruik te maken van het verschil in de energie van de door Sc^{46} uitgezonden γ-stralen : 0,89 en 1,12 MeV, om inlichtingen te verkrijgen over de diepteligging van het radioactieve tracermateriaal. Door toepassing van een kanaaldiscriminator is het nl. mogelijk de beide γ-'s gescheiden te meten. De verhouding van deze beide metingen is voor een aan de oppervlakte gelegen dikke laag bedmateriaal, waarin de radioactiviteit homogeen is verdeeld, gelijk aan $r = d'/d''$; d' en d'' zijn de halveringsdikten voor het bedmateriaal voor 0,89, resp. 1,12 MeV γ-straling. Figuur 8. Bevindt de radioactiviteit zich y_0 cm onder de oppervlakte, dan zal de verhouding van de metingen r niet zijn als d'/d'', maar zal deze verhouding worden beinvloed door de dikte van de laag zonder radioactief tracermateriaal. Op deze wijze is het dus mogelijk onderscheid te maken tussen lage radioactiviteit aan de oppervlakte en hoge radioactiviteit diep onder de oppervlakte en omgekeerd en dus de plaatsen aan te wijzen, waar het noodzakelijk is een nader onderzoek m.b.v. monstername in te stellen.

4.7.0. <u>Hydraulische aspecten van de onderwaterdetector</u>.

De detector moet in een zodanig lichaam geplaatst worden, dat bij een sleepsnelheid van 0,5 - 1,0 m/sec t.o.v. de bodem en bij een stroomsnelheid op 0,5 m boven de bodem van 0 - 1,5 m/sec de afstand tussen de detector en de bodem constant blijft. Dit is te bereiken door de juiste hydraulische vormgeving van het lichaam, die in het Waterloopkundig Laboratorium kan worden bepaald.

5.0.0. Overige apparatuur.

5.1.0. Menginstallatie.

5.1.1. Voor het binden van Sc^{46} aan greensand is het nodig Sc_2O_3 op te lossen in geconcentreerd HCl, waaraan geconcentreerd HNO_3 in verhouding 1:3 is toegevoegd. Aan deze oplossing, verdund met een relatief grote hoeveelheid water, moet het greensand worden toegevoegd en ca. 24 uur door mengen in een zodanige beweging worden gehouden, dat een hoge graad van homogeniteit bij het opnemen van Sc-ionen gewaarborgd is.

5.1.2. De activiteit van één mengsel zal in de orde van grootte van 5 Curie zijn. De inhoud van de mengbak moet voldoende zijn voor het verwerken van een orde van grootte van 100 l greensand ineens. Het mengen kan geschieden met behulp van luchttoevoer onder in de mengbak.

5.1.3. De constructie van de mengbak zal in verband met het stralingsgevaar eenvoudig en goed afgewerkt moeten zijn. De afscherming van de straling moet zodanig zijn, dat de vulling en de lediging van de bak geen stralingsgevaar oplevert voor het bedieningspersoneel. De mengbak moet op een dergelijke plaats worden opgesteld, dat er geen gevaren ontstaan voor de volksgezondheid, noch door de aanwezige radioactiviteit in de mengbak, noch tengevolge van het opruimen van de restactiviteit in het mengwater na de ionenuitwisseling.

5.2.0. Plaatsingsapparatuur voor de tracer.

De Japanse ervaringen op dit gebied') zijn belangrijk, doch de eisen op de verdeling van de tracer over de diepte zijn in verband met het streven naar een kwantitatieve transportmeting zodanig, dat een verdere ontwikkeling van de plaatsingsapparatuur noodzakelijk is.

5.3.0. Apparatuur voor het nemen van ongeroerde bodemmonsters onder water.

Nauwkeuriger dan met de discriminator kan de verdeling van de tracerkorrels over de verticaal nagegaan worden

- aan -

') Shizuo Inose, Naofumi Shiraishi,
Measurements of littoral drift by radio-isotopes,
Nat. Hokkaido Development Bur., Japan, 1956.

DELTADIENST
WATERLOOPK. AFD.

Fig. 9 TWEE HELFTEN VAN EEN ONGEROERD BODEMMONSTER, GESTOKEN IN HET HARINGVLIET IN 14 m DIEP WATER; LENGTE VAN HET MONSTER 1 m

aan de hand van onderzoek van ongeroerde bodemmonsters.

Een apparaat voor het nemen van ongeroerde bodemmonsters beneden de grondwaterspiegel is in Nederland ontwikkeld door het Laboratorium voor Grondmechanica te Delft en aangepast op monstername in water door het Mineraal Technologisch Instituut te Delft.

Met dit apparaat zijn in het Haringvliet op ca. 14 m beneden de waterspiegel bodemmonsters genomen ten hoogste van 2 m lengte en ca. 4 cm diameter, waarbij de juiste volgorde van de verschillende lagen bewaard bleef (figuur 9).

De monsters worden opgehaald in plastic buizen en het is dus wel mogelijk deze met een detector af te tasten, waarbij rechtstreeks een verdelingskromme voor de radioactiviteit in de bodemverticaal door een recorder geregistreerd kan worden.

In verband met het betrekkelijk geringe volume van de monsterbuis zullen voor de waarneembare concentraties andere grenzen gesteld moeten worden in verband met de deeltjesstatistiek. Het te onderzoeken areaal wordt kleiner, dan voor de directe metingen op de bodem, maar, dat is geen bezwaar, aangezien hierdoor reeds gegevens over de invloed van de zandribbels op het transport, en de gemiddelde correctie voor de absorptie bepaald kunnen worden.

6.0.0. Bescherming van het personeel; eisen ten aanzien van de volksgezondheid.

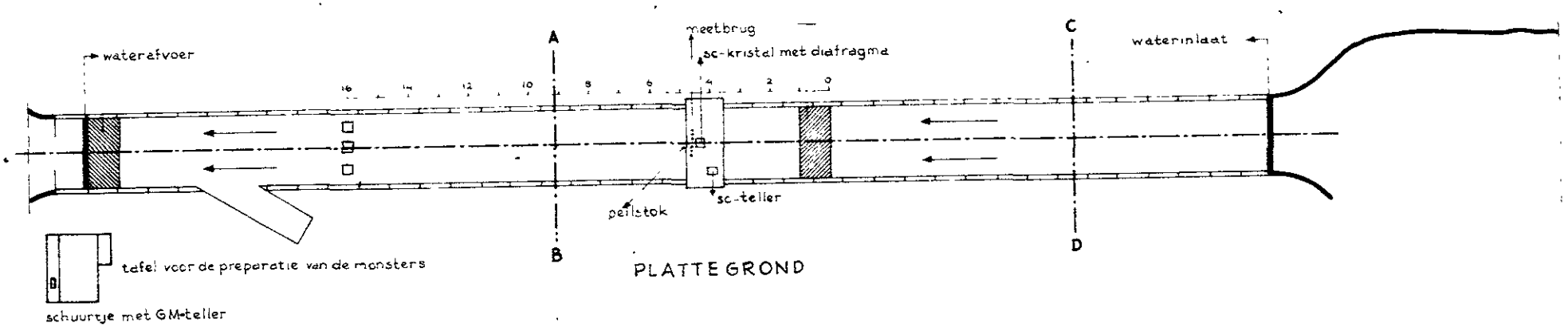
Het toezicht op al het werk met radioactieve isotopen berust bij de Isotopen Commissie van de Nederlandse Academie van Wetenschappen, die tevens de beveiligingsmaatregelen voorschrijft.

De voornaamste eisen betreffende de veiligheid, welke de keuze van de werkmethode bepalen, zijn:

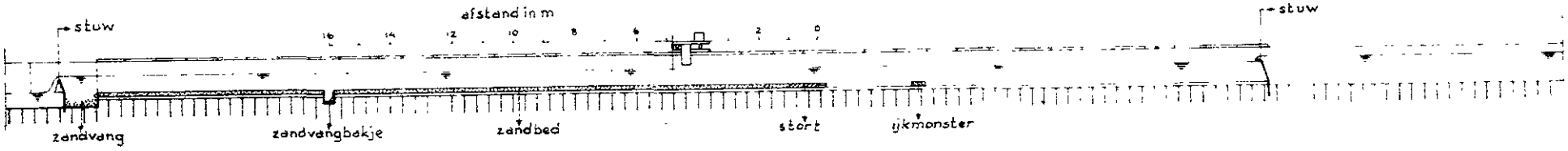
6.1.0. De halveringstijd van het toe te passen isotoop mag niet te lang zijn. Al zouden de proeven in afgelegen zeegebieden uitgevoerd worden, de radioactieve tracer zou toch op den duur op het strand kunnen komen. De activiteit van de individuele korrels moet dan reeds tot een ongevaarlijk niveau gedaald zijn.

6.2.0. Concentraties van radioactief materiaal moeten worden vermeden. Deze eis correspondeert met die voor de transporteigenschappen. Opgemerkt zij, dat de verdunning in het algemeen zo groot zal zijn, dat een badgast enkele kilogrammen zand zou dienen te eten, voordat de "maximum body burden" zou worden bereikt.

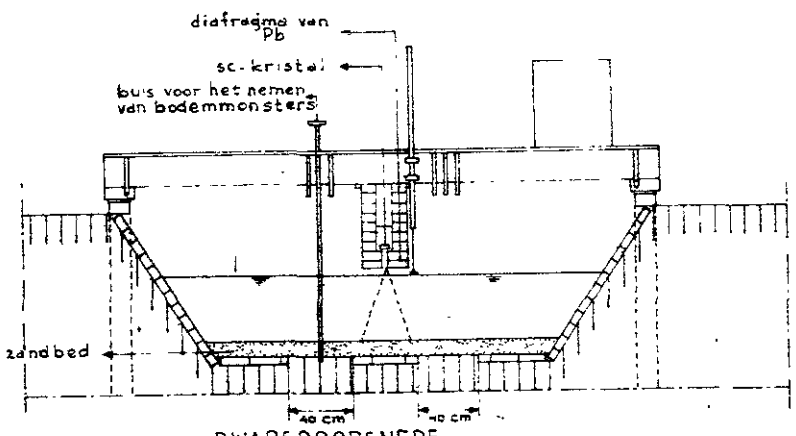
6.3.0. De voorbereidende werkzaamheden, waarbij de radioactieve isotoop reeds aanwezig is moeten kort en eenvoudig zijn en onder toezicht van deskundigen op het gebied van kernphysica uitgevoerd worden. De gehele proefneming dient vooraf tot in details te worden geoefend, zonder dat radioactiviteit aanwezig is. Niet zelden zal bij een dergelijke dummy proefneming zich een situatie voordoen, die, ingeval het materiaal sterk radioactief was, als ongewenst zou moeten worden beschouwd. Op grond van de dummy proefneming kan zulks, bij de werkelijke proefneming met radioactiviteit, worden vermeden. Tijdstudies kunnen een inzicht geven, omtrent de te ontvangen hoeveelheden straling door de medewerkers. Nagegaan dient te worden of, gedurende de proefneming of daarna, de maximaal toelaatbare concentratie in lucht en water op plaatsen, waar zich personen kunnen bevinden, wordt overschreden.



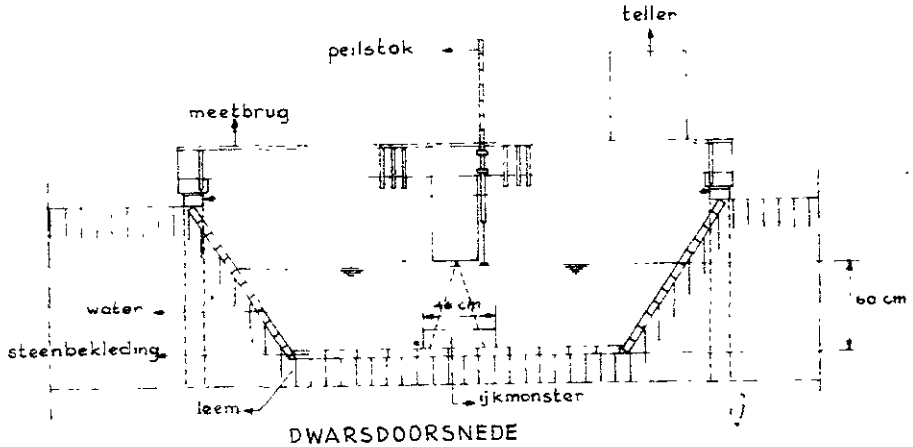
PLATTE GROND



LANGSDOORSNEDE



DWARSDOORSNEDE



DWARSDOORSNEDE

Fig. 10

PROEFGOOT, WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM „DE VOORST"

7.0.0. Proefmeting in het Waterloopkundig Laboratorium "De Voorst".

7.1.0. Tijdens het vooronderzoek naar de mogelijkheden van het meten van sedimenttransport m.b.v. radioactieve tracers kwam de wenselijkheid naar voren van het uitvoeren van een proef op laboratoriumschaal, onder alleszins controleerbare omstandigheden.

Als doeleinden van de proef werden gezien:

het opdoen van ervaringen met de twee voornaamste typen van instrumenten voor het meten van radioactiviteit n.l. de Geiger-Müller-(G.M.-) teller en de scintillatie- (sc-) teller, om tot een verantwoorde keuze van het type instrument voor metingen in de natuur te kunnen komen,

een nadere precisiëring van de eisen, die aan de radioactieve tracer gesteld moeten worden, in verband met de transporteigenschappen,

het verkrijgen van een nader inzicht in het interpreteren van de cijferwaarden, verkregen uit de metingen van radioactiviteit,

het verkrijgen van ervaring in het hanteren van radioactief materiaal, vooral met het oog op de nodige veiligheidsmaatregelen.

7.2.0. Nadat de Isotopencommissie van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen van de voorgenomen proef op de hoogte was gesteld en deze commissie hiertegen geen bezwaren had geopperd, werd het radioactief maken van het te gebruiken tracermateriaal, de verzorging van de meetapparatuur, alsmede de contrôle op de veiligheid van het betrokken personeel, opgedragen aan het Isotopen Laboratorium van Philips-Roxane N.V. De proef is uitgevoerd in het Waterloopkundig Laboratorium "De Voorst".

Om tot betrouwbare resultaten te komen werd een proefopstelling noodzakelijk geacht, welke hydraulisch eenvoudig zou zijn te interpreteren. Daarom is de proef uitgevoerd in een rechte stroomgoot van constante breedte, bij een permanente stromingstoestand. Figuur 10. Deze permanentie houdt in, dat de waterafvoer en het sedimenttransport constant

zijn, bij evenwichtsligging van het bed. De permanentie van het materiaaltransport werd in stand gehouden door regelmatige aanvulling van het sediment aan het begin van het bed(het zgn. stort), waarbij randstoringen evenwel niet konden worden vermeden.

In het stort werd voor de proef 160 l gewoon zand, vervangen door zand gemengd met de radioactieve tracer, in de volumeverhouding van ca. 1:1300. Ook de verdere aanvullingen van het zand (ca. 80 l per 4 uur) werden in dezelfde verhouding gemengd.

7.3.0. Tijdens de proef werden de volgende grootheden gemeten:

het verloop van de radioactiviteit in de as van de goot, met behulp van een sc-teller, vanaf een meetbrug,

de verdeling van de radioactiviteit over de dikte van de zandlaag, door middel van onderzoek van zandmonsters in een G.M.-teller,

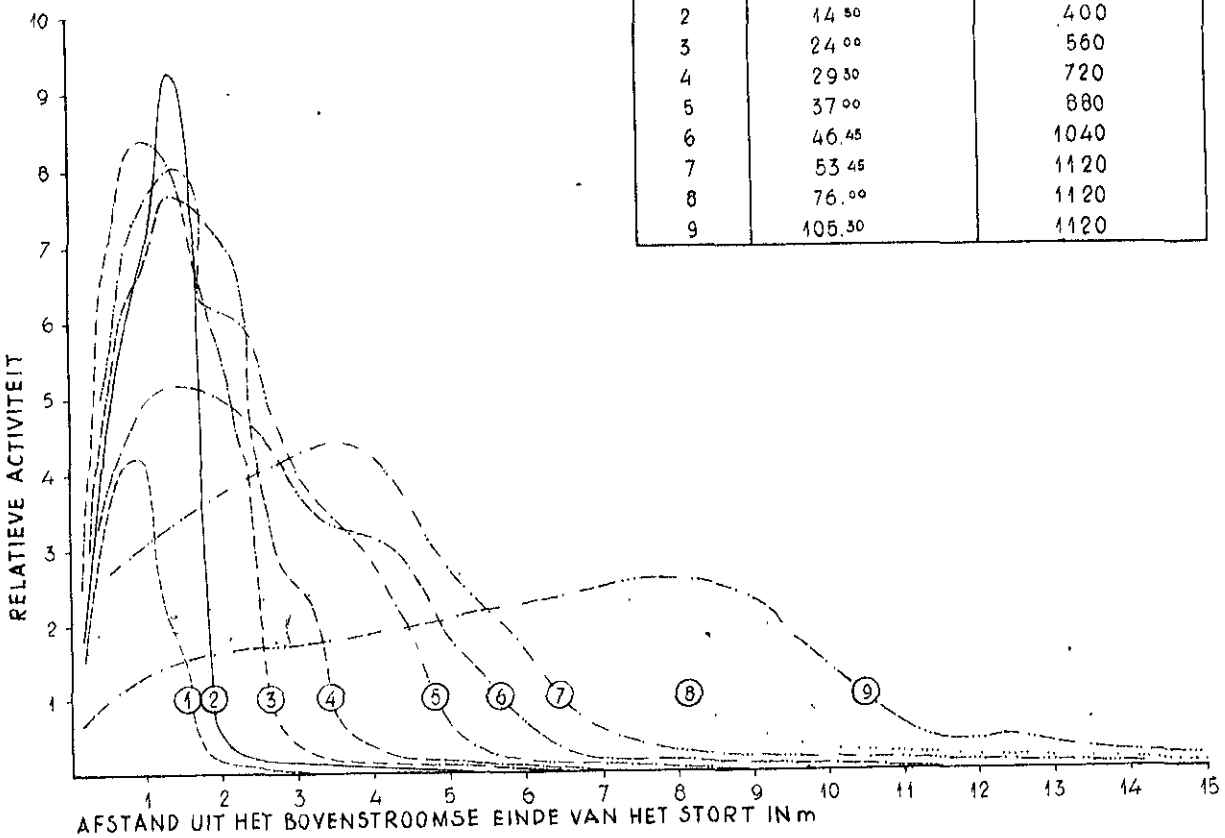
de afname van de activiteit van radioactieve ijkmonsters als functie van de tijd,

de hydraulische omstandigheden tijdens de uitvoering van de proef (peilingen van de bodem en van de waterspiegel vanaf het midden van de meetbrug, peilingen van dwarsprofielen, verhangmetingen, afvoermetingen).

7.4.0. In het begin van de proef bleek, dat het ingebrachte zand niet voldoende uit het stort werd afgevoerd, tengevolge van een zeer dichte pakking, die door het mengen was ontstaan. Hierdoor werd het evenwicht van de bodem verstoord en ontstonden verdiepingen en verondiepingen. Het bleek mogelijk de voortplantingssnelheid van deze onregelmatigheden te bepalen, door middel van peilingen vanaf de over de stroomgoot aangebrachte meetbrug, hetgeen bij de uitwerking belangrijk is gebleken.

Daar de meting nog mogelijk bleek, nadat alle tracermateriaal reeds in de goot was geplaatst, werd besloten de proef door te zetten bij afnemend zandtransport, waarbij dus geen aanvulling in het stort plaats vond.

KROMMEN	TIJD VANAF HET BEGIN VAN DE PROEF IN UREN	TOEGEVOERDE HOEVEELHEID ZAND/TRACER MENGSEL IN LITERS
1	7.45	240
2	14.50	400
3	24.00	560
4	29.30	720
5	37.00	880
6	46.45	1040
7	53.45	1120
8	76.00	1120
9	105.30	1120



ACTIVITEIT GEMETEN MET DE SC-TELLER
OP DE MEETBRUG,
OP VERSCHILLENDE TIJDSTIPPEN

Fig. 11

De proef heeft in totaal 6 dagen geduurd, waarbij de proefgoot ca. 100 uren heeft gestroomd.

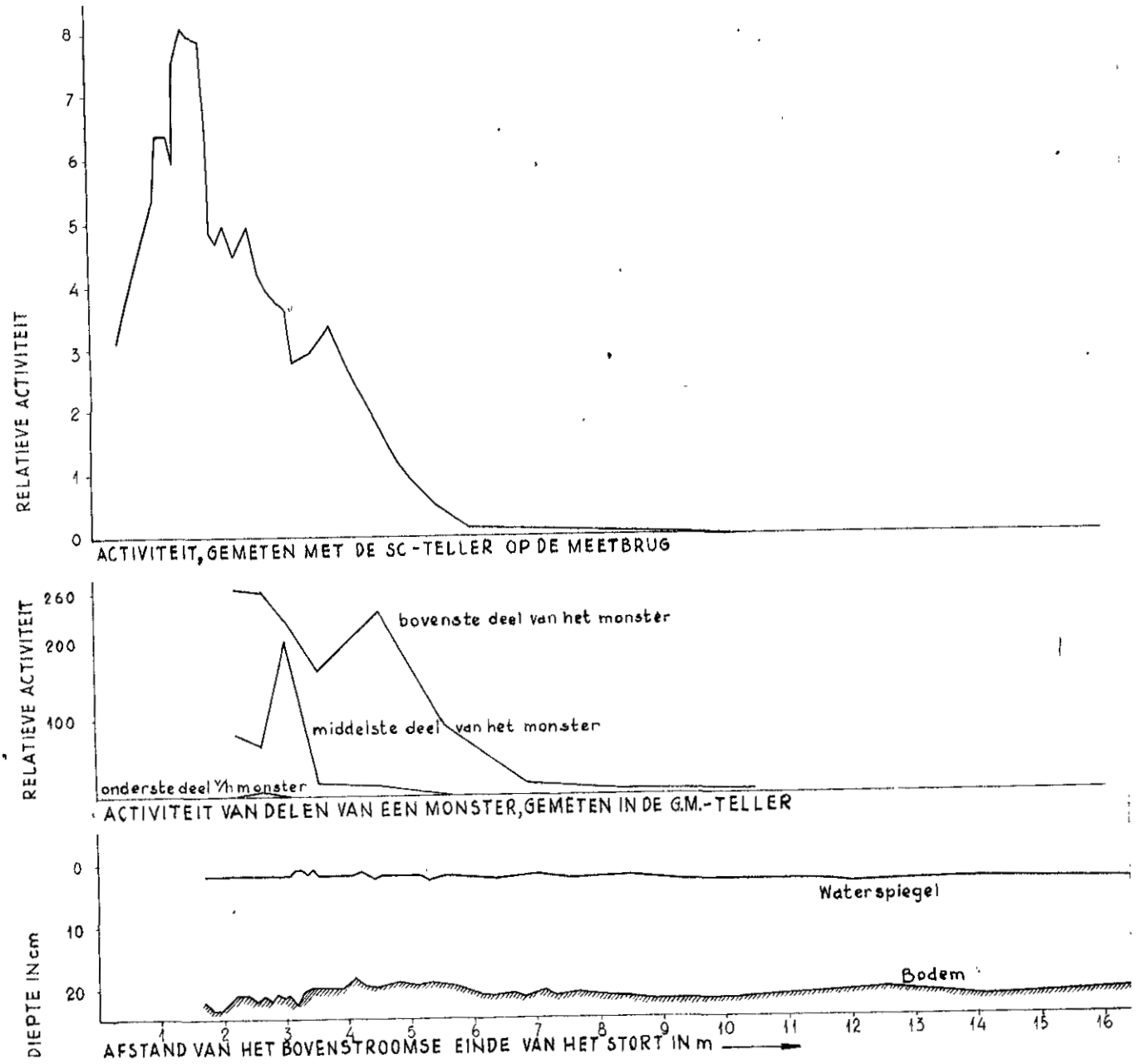
7.5.0. De verplaatsing van de radioactieve korrels werd, zoals gezegd, gevolgd vanaf de meetbrug met behulp van een sc-teller van normale Philips-uitvoering; de meetbrug was in de lengterichting van de stroomgoot verplaatsbaar, terwijl de sc-teller in het midden van de meetbrug vast was opgesteld. Figuur 10 en 11. De opnemer van de teller was gebouwd in een loden diafragma onder de brug, zodat van de bodem slechts een oppervlakte van 30 x 10 cm^2 door de opnemer werd "gezien"; de intensiteit van de γ-stralen, afkomstig van de omgeving voor het direct geziene oppervlak, werd door de loodafscherming aanzienlijk gereduceerd.

Ter contrôle van de invloed van de omgeving op de gemeten activiteit, werd bovenstrooms van het stort de stralingsachtergrond gemeten. Reeds op 1,5 m afstand van het begin van het zandbed bleek de invloed van de opeenhoping van de radioactiviteit in het stort niet meer aantoonbaar te zijn.

Voor de ijking van de sc-teller en voor de meting van de "decaycurve", werd een ijkmonster geplaatst in het bovenstroomse gedeelte van het model. De activiteit van het ijkmonster werd regelmatig gemeten. Figuur 13

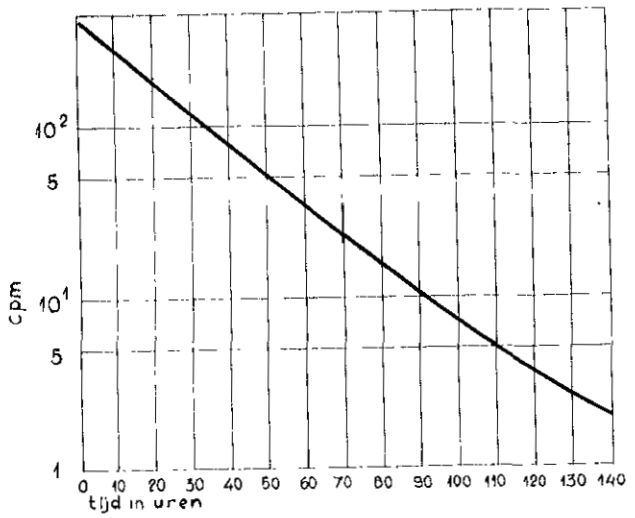
De sc-teller registreerde dus slechts impulsen afkomstig vanaf een 30 cm brede bodemstrook, waarvan de as nagenoeg samenviel met de as van de stroomgoot. De verdeling van de radioactieve korrels over de overige gedeelten van de goot werd bepaald door het meten van de activiteit van ongeroerde zandmonsters uit het bed.

Daartoe werden vanaf de meetbrug monsterbuizen in het zand van het bed gestoken, tot in de oorspronkelijke keileembodem, zodat het onderste gedeelte van de buizen door een ca. 1 cm dikke keileemprop werd afgesloten. Terplaatse van de monstername was de steenbekleding van de goot, reeds voor het begin van de proef, verwijderd. Het zand werd uit de monsterbuizen gedrukt en verdeeld in drie gedeelten; hieruit werden tenslotte gelijke hoeveelheden zand in reageerbuizen overgebracht. De activiteit van dit zand werd gemeten in een holle



VOORBEELD VAN RESULTATEN VAN EEN METING IN DE PROEFGOOT

Fig.12



GEMETEN „DECAYKROMME" VAN HET IJKMONSTER

Fig.13

vloeistofteller, een Philips-uitvoering van de G.M.-teller.

Doordat van elk gestoken zandmonster de bovenste, de middelste en de onderste laag op activiteit werd onderzocht, was het mogelijk de verdeling van de radioactieve korrels over de verticaal na te gaan. Figuur 12

Het is gebleken, dat de sc-teller, b.v. van de normale Philips uitvoering, bij uitstek geschikt is voor zandtransportmetingen op laboratoriumschaal. De kleinste gemeten hoeveelheden radioactiviteit kwamen in het begin van de proef overeen met 2.10^{-3} liter gemerkt zand, of met ca. 100 korrels radioactief materiaal per 1 liter bodemzand.

De G.M.-teller is in de gebruikte uitvoering voor de meting van de radioactiviteit van de monsters minder geschikt gebleken; de vereiste voorbewerking van de monsters was omslachtig en leidde tot onnauwkeurigheden.

7.6.0. Van de methoden, voor het radioactief merken van zand, is voor deze proef gekozen: het bestralen van glasparels in een reactor (3.1.2.) en wel om de volgende redenen:

de proef sluit aan op de reeds eerder in andere landen uitgevoerde metingen van slib- en zandtransport,

het was mogelijk direct te beschikken over glasparels van een geschikte chemische samenstelling, die na bestraling in een kernreactor hun radioactiviteit hoofdzakelijk aan Na^{24} ontlenen. De isotoop Na^{24} heeft een halveringstijd van 14,2 uur en zendt zeer harde γ-stralen (1,38 en 2,76 MeV) uit, die een betrekkelijk groot doordringingsvermogen hebben,

het onderzoek naar de bruikbaarheid van greensand was nog niet ver genoeg gevorderd voor een dergelijke proef; ook de overige methoden voor het radioactief merken van zand kwamen minder in aanmerking, vanwege de tijd benodigd voor de voorbereiding en de kosten.

Vooral de tweede van de genoemde omstandigheden en het streven naar een beperking van de tijd, nodig voor de voorbereiding van de proef, zijn redenen geweest, dat men bewust is overgegaan tot gebruik van materiaal, dat niet voldoende aan de eisen betreffende de transporteigenschappen voldeed.

De glasparels waren tamelijk groot en niet in voldoende hoeveelheid beschikbaar, om de meest gewenste korrelverdeling samen te stellen. De uiterste grens van D_{50}, welke door samenstellen van uitgezeefde fracties kon worden bereikt, was 270μ. Het bij de proef gebruikte zand had een D_{50} = 160μ. Het specifiek gewicht van de glasparels was bovendien hoog (S.G. = 2,95), t.o.v. het specifiek gewicht van het bij de proef gebruikte zand (S.G. = 2,65). Hierbij dient men te bedenken dat het zandtransport door stroming o.m. een functie is van de grootheid $\frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f} \cdot D_{50}$ (waarin ρ_s = de dichtheid van het sediment en ρ_f = de dichtheid van de vloeistof); de verhouding van deze factor voor degglasparels, resp. het zand, bedroeg niet minder dan 2,1. Het was dan ook te verwachten, dat de glasparels aanzienlijk langzamer getransporteerd zouden worden dan het zand.

De glasparels werden in 15 aluminium busjes, met elk 128 gram, bestraald in de kernreactor te Kjeller, Noorwegen; na de bestraling werd een totale activiteit gemeten van ca. 20 Curie. Voor de afscherming van deze zeer hoge activiteit, tijdens het vervoer, werd 700 kg lood gebruikt; het vervoer geschiedde per vrachtauto. Op het moment van aankomst in het laboratorium te "de Voorst" werd aan elk van de busjes een activiteit gemeten van ca. 100 milliCurie totaal dus ca. 1,5 Curie.

De busjes met de glasparels werden met behulp van zeer eenvoudige hulpmiddelen opengestoten en in een mengmolen op afgemeten hoeveelheden zand leeggeschud. Nadat de glasparels en het zand voldoende lang in de molen waren gemengd, om een gelijkmatige verdeling te kunnen veronderstellen, werd het mengsel naar de proefgoot gebracht en in het stort geplaatst.

7.7.0. Bij de uitvoering van de proef werden vele veiligheidsmaatregelen in acht genomen. Vóór de proef werden alle betrokkenen door de leider van het team van Philips-Roxane N.V. ingelicht over de aan deze proef verbonden gevaren en over de te nemen voorzorgsmaatregelen. Verder werd bij alle werkzaamheden tijdens de proef contrôle uitgeoefend wat betreft de veiligheid van de daarbij betrokken personen. Deze contrôle bestond uit:

7.7.1. Niveaucontrôle met behulp van een handmonitor. Voor alle werkzaamheden werd in het begin van de proef het niveau van de radioactiviteit gemeten. Aan de hand hiervan werd voor ieder van deze werkzaamheden de tijdlimiet bepaald, die door de betrokken personen niet mocht worden overschreden. Daar in het stort de activiteit met iedere nieuwe vulling steeg, was hier een regelmatige niveaucontrôle nodig. Op de andere plaatsen daalde de activiteit, tengevolge van de natuurlijke afname en kon met een meting in het begin van de proef worden volstaan.

7.7.2. Dosis-contrôle met behulp van zakdosismeters. Op de zakdosismeters kan ten allen tijde worden afgelezen de totale hoeveelheid, door de drager geabsorbeerde straling. Deze contrôle werd toegepast bij personen, belast met werkzaamheden in gebieden met hoge activiteit.

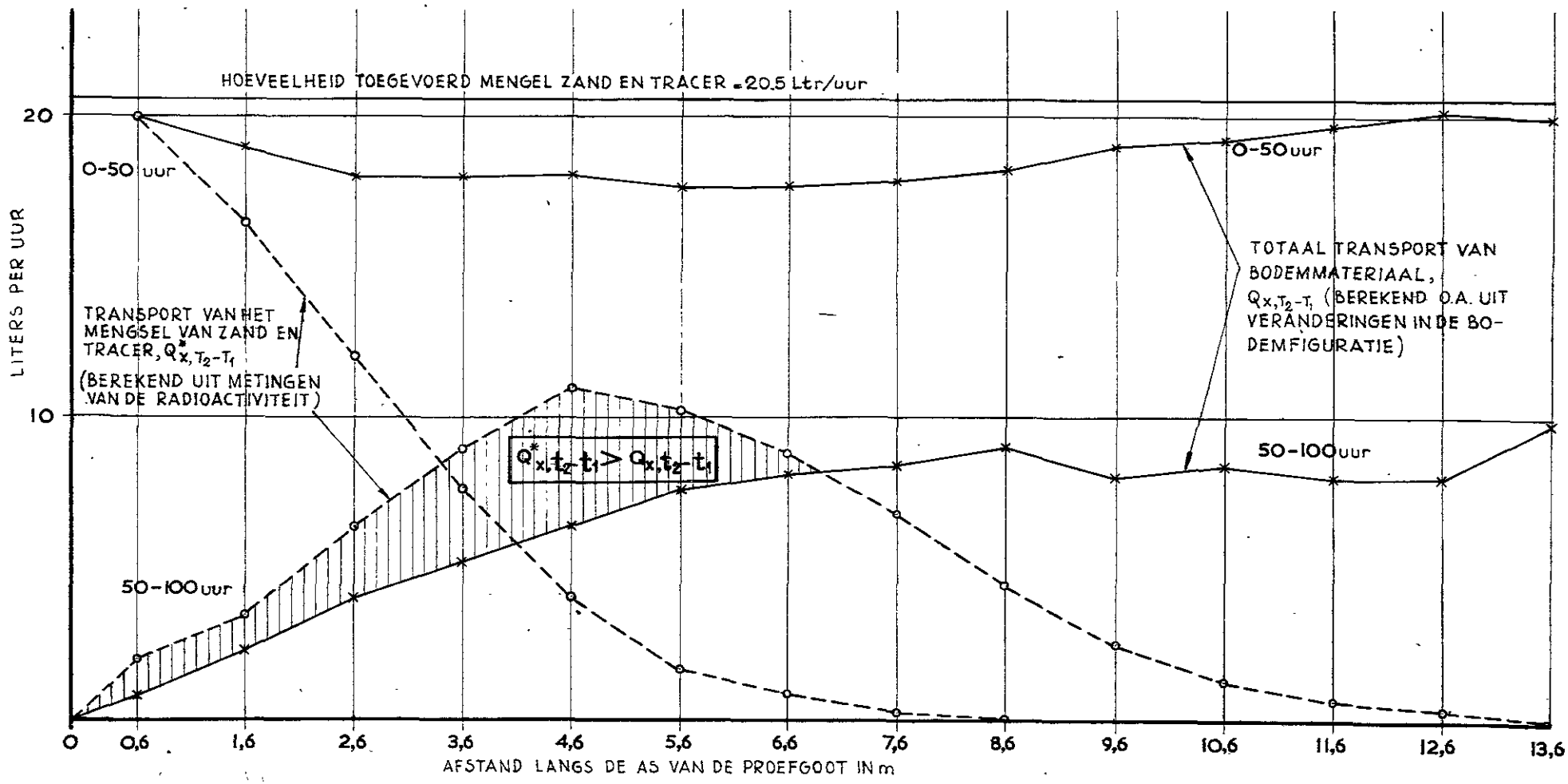
7.7.3. Dosis-contrôle met behulp van fotometrische zwartingsmetingen. Deze werd bij alle bij de proef betrokken personen toegepast. Deze contrôle wijst na de proef uit, welke stralingsdosis, tijdens de proef, door de drager van de contrôlefilm werd ontvangen. Het is gebleken, dat de hoogste dosis tijdens de gehele proef door één persoon ontvangen 160 milliröntgen bedroeg. Dit was het geval bij hen, die gedurende 3 dagen elke dag 8 uur bij de proef aanwezig waren. De toelaatbare dosis is 100 milliröntgen per dag, of 300 milliröntgen per week.

7.7.4. De toegangen tot het meetgebied waren gemarkeerd door waarschuwingsborden en alle, niet bij de proef betrokken personen, was de toegang tot het meetgebied ontzegd.

7.8.0. Ten aanzien van de resultaten van de metingen kan het volgende worden opgemerkt.

7.8.1. De metingen van de radioactiviteit van de bodemmonsters hebben geen uitsluitsel gegeven over de absorptie van de radioactieve straling in de bodem. De verdeling van de glasparels over de dikte van het bed was zeer onregelmatig en voor een statistische bewerking van de gegevens was het aantal genomen monsters onvoldoende.

-7.8.2. -



GEMIDDELD TRANSPORT VAN BODEMMATERIAAL ALS EEN FUNCTIE VAN DE AFSTAND LANGS DE AS VAN DE PROEFGOOT

Fig. 14

7.8.2. De mate van het achterblijven van de glasparels op het eigenlijke bedmateriaal (zie ook 7.6.0) kan worden vastgesteld door het vergelijken van de resultaten van de bodempeilingen en van de activiteitsmetingen in de as van de proefgoot, zoals hieronder zal worden aangetoond.

Het totale zandtransport Q_{x,T_2-T_1} in de periode $T_2 - T_1$, door een dwarsdoorsnede terplaatse x in de proefgoot, is:

$$Q_{o,T_2-T_1} = \frac{\sum_o^x (h_{x,T_2} - h_{x,T_1}) \cdot \Delta x}{T_2 - T_1} \qquad (3)$$

waarin:

Q_{o,T_2-T_1} = het aangeboden transport in het begin van de goot, in de periode $T_2 - T_1$,

$h_{x,T}$ = de hoogte van de bodem terplaatse van x, ten tijde T, boven een aangenomen nulvlak.

In figuur 14 is de functie Q_{x,T_2-T_1} getekend voor T_2 = 50 uur, T_1 = 0 uur en voor T_2 = 100 uur, T_1 = 50 uur. In de eerste periode van 0-50 uur is het transport in x = 0 gelijk aan het transport in x = 13,6 m,d.w.z. voor de randen is er evenwicht. Binnen dit gebied zijn de maximale locale afwijkingen van het transport van Q_{o,T_2-T_1} ca. 6%. In de tweede periode van 50-100 uur werd terplaatse van x = 0 geen zand meer toegevoerd, maar is op de plaatsen x = 0 wel transport opgetreden, zodat dus uitschuring plaats vond. Q_{x,T_2-T_1} nadert daarbij, aan het einde van het bed, de waarde van ca. 10 liter per uur; deze lage waarde, t.o.v. de overeenkomstige waarde in de 1e periode, vindt zijn oorzaak in de inmiddels veranderde hydraulische omstandigheden.

De relatieve activiteit $a_{x,T} \cdot \Delta x$ van het gedeelte Δx van het bed in de goot, dit is de gemeten activiteit, gedeeld door de waarde van de activiteit van het ijkmonster, is evenredig met het aantal glasparels terplaatse x, binnen Δx in het bed aanwezig, in de veronderstelling van een homogene verdeling van de glasparels in verticale zin. Indien tevens wordt aangenomen, dat de glasparels dezelfde transporteigenschappen bezitten als het eigenlijke bedmateriaal, dan is $a_{x,T} \cdot \Delta x$ tevens evenredig met het aantal korrels zand, dat, gemengd met de glasparels,

terplaatse x = 0, aan de goot werd toegevoegd, en dus:

$$Q^*_{x,T_2-T_1} = Q^*_{0,T_2-T_1} - \frac{C_t^* \sum_0^x (a_{x,T_2} - a_{x,T_1}) \cdot \Delta x}{T_2 - T_1} \quad \text{----------} \quad (4)$$

waarin:

Q^*_{x,T_2-T_1} = het transport van gemerkt zand in de periode $T_2 - T_1$ door een doorsnede terplaatse x,

Q^*_{0,T_2-T_1} = het aangeboden transport in het begin van de goot, in de periode $T_2 - T_1$,

C^*_t = een evenredigheidsconstante, welke bepaald kan worden uit:

$$C^*_t \cdot \sum_0^{goot} a_{x,T_2-T_0} \cdot \Delta x = Q^*_{0,T_2-T_1} \cdot (T_2 - T_0) \quad \text{------} \quad (5)$$

Bij de proef is aangehouden de randvoorwaarde:

$$Q^*_{0,T} = Q_{0,T} \quad \text{----------} \quad (6)$$

In figuur 14 is de functie Q^*_{x,T_2-T_1} getekend voor T_2 = 50 uur, T_1 = 0 uur en voor T_L = 100 uur, T_1 = 50 uur.

Op grond van de waarschijnlijkheid van de beweging kan gelden $Q^*_{x,T_2-T_1} \leq Q_{x,T_2-T_1}$ maar niet $Q^*_{x,T_2-T_1} > Q_{x,T_2-T_1}$ één en ander met de aanname van gelijke transporteigenschappen van de glasparels en het eigenlijke bedmateriaal. Daar de laatstgenoemde ongelijkheid in de 2e periode van 50-100 uur toch is opgetreden (zie figuur 14) kan niet anders worden geconcludeerd dan, dat de glasparels in de 1ste periode van 0-50 uur zijn achtergebleven op de zandkorrels van het eigenlijke bedzand.

Bij een nadere beschouwing van de gemiddelde voortplantingssnelheden van de glasparels en van het eigenlijke bedmateriaal is gebleken, dat deze snelheid voor de glasparels gemiddeld 0,09 m/sec, van het bedzand daarentegen 0,16 m/sec bedroeg.

7.9.0. Als conclusies uit de proef kunnen worden genoemd:

a. het sedimenttransport door stromend water kan met behulp van radioactieve tracers kwalitatief en kwantitatief worden gemeten,

b. de sc-teller voldoet beter voor metingen van het sedimenttransport dan de G.M.-teller,

c. aan het tracermateriaal moeten strengere eisen worden gesteld, t.a.v. de transporteigenschappen, dan bij de proef is geschied,

d. de bediening van de meetapparatuur kan aan het meetpersoneel van de Rijkswaterstaat worden toevertrouwd,

e. deskundigen op het gebied van de kernphysica zullen intensief toezicht moeten houden bij de vervaardiging van het radioactieve tracermateriaal en bij het aanbrengen hiervan in het meetgebied; daarna is een globale contrôle in verband met de veiligheid voldoende.

8.0.0. Programma van metingen en verder onderzoek.

8.1.0. Bij de bestudering van het Deltaplan zijn vele vragen, betreffende de beweging van de sedimenten in de zeegatèn en voor de Nederlandse kust, naar voren gekomen, waarop een antwoord gegeven zal moeten worden; metingen van sedimenttransport met behulp van de radioactieve tracers zullen hierbij een belangrijke rol kunnen spelen.
Deze vragen betreffen o.a.:

8.1.1. De invloed van de afsluiting van de zeegaten op de kust van Nederland benoorden Hoek van Holland.

8.1.2. De invloed van de afsluiting van de zeegaten op de mond van de Rotterdamse Waterweg en op de Westerschelde.

8.1.3. De te verwachten veranderingen voor de monden van de overige zeegaten in het zuidwesten, na hun afsluiting, en in het bijzonder vóór de spuisluizen in het Haringvliet.

8.1.4. De invloed van het eventueel maken van een havenmond naast de mond van de Rotterdamse Waterweg op de zand- en slibbeweging ter plaatse en elders.

8.1.5. De invloed van een normalisatie en eventuele verdere werken in het Hollands Diep en Haringvliet op het sedimenttransport terplaatse en elders.

8.1.6. Overige problemen op het gebied van sedimenttransport in het Deltagebied.

8.2.0. Wat betreft de metingen in de natuur kan het volgende worden opgemerkt.

8.2.1. In de eerste plaats wordt gedacht aan een kwalitatieve proefmeting, die verband houdt met de plannen tot verbetering van de toegang tot de Rotterdamse Waterweg. Men ondervind hier veel last van het opschuiven van de noordelijke rand van de Maasvlakte in de richting van de vaargeul; in verband hiermede moet door de hopperzuiger "Batavus" terplaatse veel zand worden gezogen. Gezien het grote aantal onwerkbare dagen (ca. 270 per jaar) is het met de "Batavus" mogelijk de bodem van de vaargeul op 12 m ± N.A.P. te handhaven. Een grotere vaardiepte, bv. van 14 m, kan bereikt worden slechts door het verhogen van de productie van de "Batavus", door het

inschakelen van een tweede zuiger of door het vervangen van de "Batavus" door een zuiger met een grotere capaciteit. De vergroting van de productie van de "Batavus" schijnt de goedkoopste methode te zijn.

De "Batavus" kan gedurende een gedeelte van de vloed het opgezogen sediment over boord spoelen, waarbij de vloedstroom voor het transport in noordwaartse richting zal zorgen. Indien het sediment zover benoorden de vaargeul bezinkt, dat het door de eerstvolgende ebstroom niet meer in de vaargeul terecht komt, dan is het mogelijk de vaartijd van de zuiger te beperken, terwijl de totale productie verhoogd wordt.

Een proefmeting, waarbij radioactief tracermateriaal, dat onder dezelfde omstandigheden als het opgezogen sediment in het water wordt gestort, wordt gevolgd, zal een antwoord kunnen geven op de gestelde vraag. Een activiteit van 5 Curie in een, in verband met de aard van de meting, ruim gestelde hoeveelheid tracermateriaal - 100 kg - is voor deze proef voldoende.

Naast de beantwoording van de bovengestelde vraag zal met deze meting verdere ervaring kunnen worden verkregen met de instrumenten en met de tracer, hetgeen van grote waarde zal zijn voor de verdere proefmemingen.

Bij het opstellen van het programma van deze meting kan bovendien rekening worden gehouden met het verzamelen van de gegevens ten aanzien van enige onder 8.0.0. e.v. genoemde problemen. De methode van het deponeren van de tracer in het meetgebied (n.l. aan de oppervlakte van stromend water) is weliswaar afgestemd op de oorspronkelijk gestelde vraag betreffende de eventueel toe te passen nieuwe werkwijze van de hopperzuiger, maar nadat het tracermateriaal de bodem heeft bereikt, wordt zijn gedrag bepaald door de wetten van het zandtransport. Het is de bedoeling om de meting zodanig in te richten, dat dit gedrag nog enige tijd daarna kan worden gevolgd.

8.2.2. Een zandtransportmeting, die onmiddellijk na de onder 8.2.1. genoemde meting kan worden uitgevoerd is meer speciaal gericht op het onderzoek van de zandbeweging in het kustgebied en wel in het bijzonder in de omgeving van de Westplaat ten Westen van de afsluitdijk van de Brielse Maas. De bedoeling is met deze proef gegevens te verzamelen, betreffende de pro-

blemen genoemd onder 8.1.1. t/m 8.1.4.

Bij de meting kan worden uitgegaan van een of enkele stortingen van tracermateriaal, waarbij de toe te passen activiteit zal worden bepaald aan de hand van de uitkomsten van de meting genoemd onder 8.2.1. Bij deze meting kan tevens de nodige aandacht worden geschonken aan het verder ontwikkelen van de meetmethode, vooral ten aanzien van de metingen in de brandingszône en ten aanzien van de plaatsingstechniek van het tracermateriaal op en in de bodem.

8.3.0. Inzake de uitvoering van de metingen en de te gebruiken apparatuur kan het volgende worden opgemerkt.

8.3.1. Bij de onder 8.2.1. en 8.2.2. genoemde metingen kan gebruik gemaakt worden van greensand, geactiveerd met Sc^{46}. De radioactiviteit per korreltje greensand blijft aanzienlijk beneden de waarde van 10^{-2} μC; 1 μC kan worden aangenomen als toelaatbaar maximum.

8.3.2. Voor de onder 8.2.1. en 8.2.2. genoemde en verdere metingen wordt tenminste de volgende apparatuur noodzakelijk geacht:

1 Mengbak waarin de ionenuitwisseling tot stand kan worden gebracht;
1 Philips scintillatie-opnemer met NaJ-kristal Ø 1" x 0,8";
1 Dumont 16" photomultiplier met 16" plastic scintillator;
1 Philips voedings-scaler-klok-unit;
1 Ratemeter;
1 Recorder;
1 Discriminator;

Diversen (50 m speciale kabel; aanpassingsapparatuur voor de voeding; 220 V-generator; frame voor onderwaterdetectors enz.);

Laboratoriumapparatuur;
1 Apparaat voor het nemen van ongeroerde bodemmonsters onder water.

Lijst van figuren.

Fig. 1 Invloed van het schuren met zand op de korrelgrootte-verdeling van ionac C-50.

Fig. 2 Afhankelijkheid van de opnamecapaciteit en opnamesnelheid van Ionac C-50 voor Sc^{46} uit een Sc_2O_3 oplossing, van de gloeitemperatuur.

Fig. 3 Afhankelijkheid van de opnamecapaciteit en opnamesnelheid van Ionac C-50 voor Sc^{46} uit een Sc_2O_3 oplossing, van de korrelgrootte.

Fig. 4 Efficiency voor γ-straling van verschillende tellers.

Fig. 5 Deel van de bodem, dat door de detector wordt "gezien".

Fig. 6 Geometrie-factoren voor puntbronnen en verschillende scintillatiematerialen.

Fig. 7 Principe van meting met herhaalde stortingen van radioactief tracermateriaal.

Fig. 8 Principe van een meting, met gebruikmaking van een discriminator.

Fig. 9 Twee helften van een ongeroerd bodemmonster, gestoken in het Haringvliet in 14 m diep water; lengte van het monster 1 m.

Fig.10 Proefgoot, waterloopkundig laboratorium "De Voorst".

Fig.11 Activiteit gemeten met de sc-teller op de meetbrug, in de as van de goot, op verschillende tijdstippen.

Fig.12 Voorbeeld van resultaten van een meting in de proefgoot.

Fig.13 Gemeten "Decaykromme" van het ijkmonster.

Fig.14 Gemiddeld transport van bodemmateriaal als een functie van de afstand langs de as van de proefgoot.

I N H O U D.

		blz.
1.0.0.	Inleiding	1
2.0.0.	Conclusies	2
3.0.0.	Radioactieve tracers	3
	3.1.0. Vervaardigen van radioactieve tracers	3
	3.2.0. Eigenschappen van greensand	6
	3.3.0. Toe te passen radioactieve isotoop	7
4.0.0.	Apparatuur voor het waarnemen van de radioactiviteit	10
	4.1.0. Vereiste apparatuur	10
	4.2.0. Algemene beschouwingen	10
	4.3.0. Detectors voor harde γ-straling	12
	4.4.0. Benodigde radioactiviteit en hoeveelheid tracermateriaal	12
	4.5.0. Methode van meten	17
	4.6.0. Bepaling van de verdeling van de tracerkorrels in verticale zin	19
	4.7.0. Hydraulische aspecten van de onderwaterdetector	19
5.0.0.	Overige apparatuur	20
	5.1.0. Menginstallatie	20
	5.2.0. Plaatsingsapparatuur voor de tracer	20
	5.3.0. Apparatuur voor het nemen van ongeroerde bodemmonsters onder water	20
6.0.0.	Bescherming van personeel; eisen t.a.v. de volksgezondheid	22

- 6.1.0. -

blz.

6.1.0. Halveringstijd van de toe te passen isotoop 22

6.2.0. Vermijden van concentraties van radioactief materiaal 22

6.3.0. Te volgen werkwijze bij de contrôle op de veiligheid 22

7.0.0. Proefmeting in het Waterloopkundig Laboratorium "De Voorst" 23

7.1.0. Doeleinden van de proef 23

7.2.0. Opzet van de proef 23

7.3.0. Gemeten grootheden 24

7.4.0. Verloop van de proef 24

7.5.0. Uitvoering van de proef 25

7.6.0. Toegepaste tracer 26

7.7.0. Toegepaste veiligheidsmaatregelen 27

7.8.0. Resultaten van de proef 28

7.9.0. Conclusies uit de proef 30

8.0.0. Programma van metingen en verder onderzoek 32

8.1.0. Problemen op het gebied van sedimentbeweging in het Deltagebied, bij de bestudering waarvan radioactieve tracers gebruikt zouden kunnen worden 32

8.2.0. Metingen in de natuur 32

8.3.0. Te gebruiken apparatuur 34