

**WAVE GAUGES IN COASTAL AREAS**

*J.J. Pilon M. Sc. Eng.*

*International Symposium on  
Wave Measurement and Analysis  
New Orleans, Louisiana, U.S.A.  
September 9-11, 1974*

## WAVE GAUGES IN COASTAL AREAS

By J.J. Pilon M.Sc.Eng.

### Abstract.

For 15 years already, fixed wave gauges for semi continuous wave observations are used along the Netherlands coast. The waterdepth at location, as much as 6 km from the coastline, varies from 5 to 10 meters below M.S.L.

The gauge - in general built of steel - carries the apparatus for measuring, registration and transmitting and also provides space for the servicing of the apparatus (platform). The gauges, once in position should be able to withstand forces of wave action during severe storms. In practice this requirement is difficult to realize and was only solved after many years and experiments.

Apart from describing the instrumentation some aspects of design, placement, maintenance and retrieval of a gauging station, in the light of past experience are discussed.

### 1. INTRODUCTION.

Mankind is a born observer of waves. When on a ship he looks at the slow movement of the long swell and when ashore he watches the waves break on the beach or smash against the rocks the thunder thereof resounding in his ears. The rythmic movement of the water surface has both fascinated and sometimes also made men aghast when the collected energy discharged itself in a catastrophic way.

After the stormsurge and floods of 1953 a start was made with the execution of the so called Deltaplan. In the S.W. the dikes along the fairway to Rotterdam and the Western Scheldt leading towards Antwerp were raised and the sea arms between the entrances are to be closed; the Eastern Scheldt, the last to be completed, is under construction. In the north, the Lauwerszee was closed and the dikes protecting the northern provinces against the sea were raised wherever necessary.

In the same period the entrances and particularly the harbour moles of IJmuiden, Scheveningen and Hook of Holland were extended and improved and the fairway to Hook of Holland was dredged to a greater depth (fig. 1).

Both the design and execution of these works all along the netherlands coasts, mainly a beach-coast, increased the need for wave movement data. This requirement strongly stimulated the development of methods and instruments for measuring waves.

---

Chief engineer Rijkswaterstaat (Netherlands)

Head of the hydraulic survey section covering the lower rivers, estuaries and coastal waters; responsible to the hydraulic department of the Delta Authority.



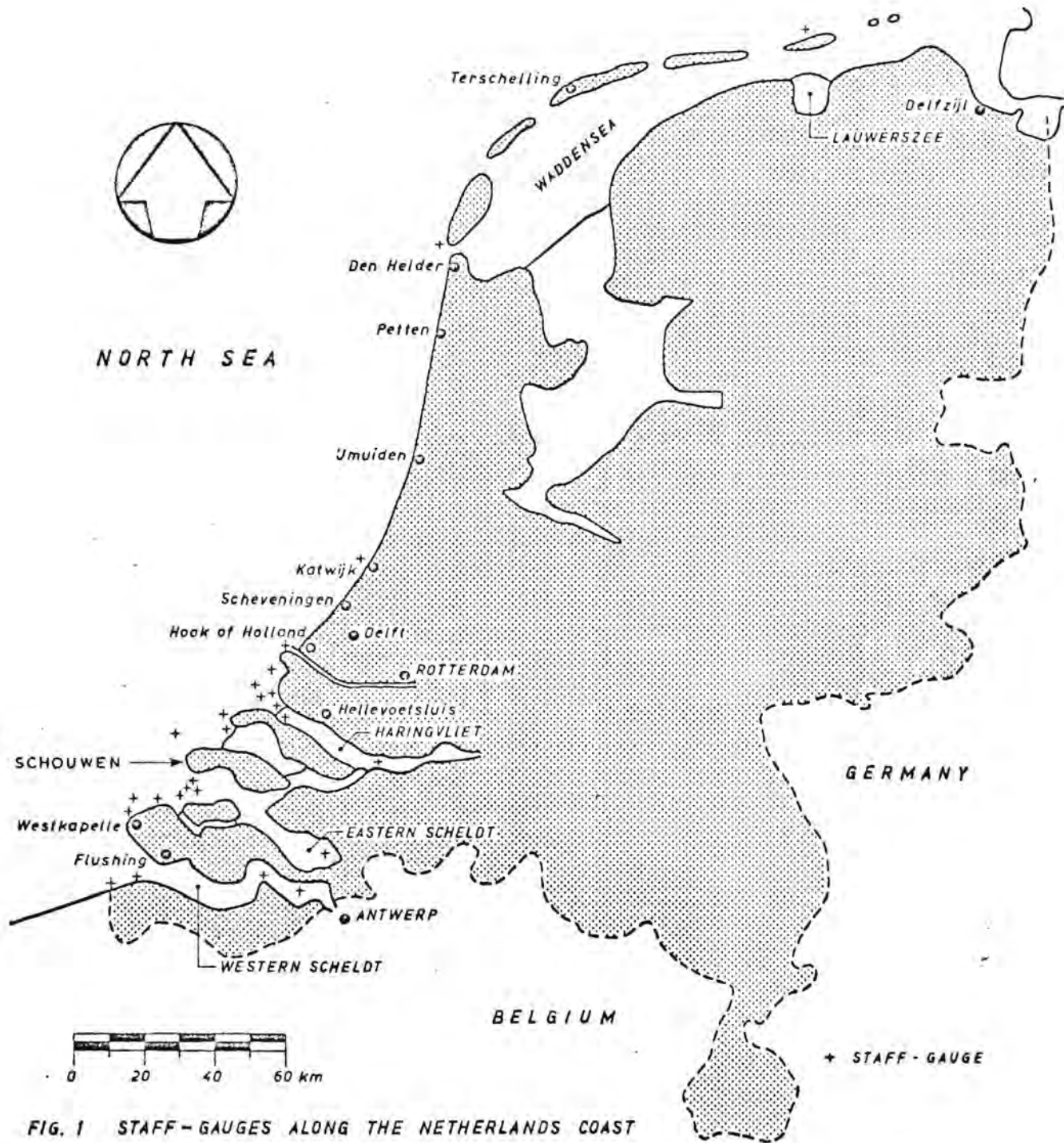


FIG. 1 STAFF-GAUGES ALONG THE NETHERLANDS COAST

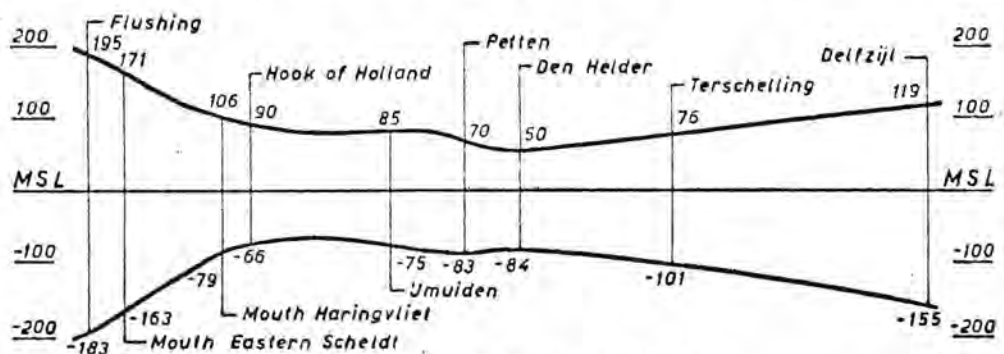


FIG. 2 MEAN 'HW AND LW ALONG THE NETHERLANDS COAST

## 2. WAVE MEASUREMENTS.

### 2.1 General

There are several ways in which waves can be measured. Current methods are: judging the wave height, observing the wave height with floating or fixed wave gauges with a graduated scale from shore or vessel and the registration of waves by means of mechanical and or electric wave-measurement instruments attached to a fixed wave gauge.

Various systems using pressure boxes offer still another possibility to observe wave action; this also applies to wave measuring buoys (waveriders). These systems however will not be dealt with in this paper.

### 2.2 Judging the wave height

At the start judging the wave height by eye was the only available method. It is clear that this method, without any aids or appliances is extremely difficult and inaccurate. This inaccuracy increases with the wave height; nearly always waves under such conditions are judged too high.

Surprising enough however, in 1956 the positioning of the Haringvlietdam and the height of the cofferdam around the building site for the sluices were still determined based on such conventional wave measurement observations!

The workability was one of the main determining factors for the choice of the course. The necessary wave measurements during the entire year 1955 were made as follows: twice a day a survey vessel manned with some observers left Hellevoetsluis and took position near the mouth of the Haringvliet close to some navigational buoys and judged the wave height visually. Due to the length and frequency of the observation periods the results were more or less acceptable. (fig. 3).

### 2.3 Visual waveheight observations

Fixed or floating wavebeacons were often used for such measurements afterwards.

The fixed staff gauge consists of a steel or wooden pole with a graduated scale attached showing line-marks every 10 cm. while the lower 5 cm of such a section is taken by the figure.

Fixed gauges are usually placed in front of those sections of a dike which are subjected to severe wave attack. Some gauges are also placed in tidal inlets near the edge of a sand bank close to the canal; visual observations are made from a ship. Wave movement with the aid of optical instruments can still be read from a distance of 100-150 metres.

The floating wave gauge is composed of a closed aluminium tube with a disc to quell the movement (diam. 100 cm.) attached to the bottom of the tube by three brass chains. The top 2/3 of the tube is provided with a graduation painted on. The total weight is such that in smooth water 1/3 of the length of the tube projects above the surface. During observations the damping disc should be at a depth which is at least 5x the waveheight below mean waterlevel. The plate is to prevent the floating gauge following the wave movement.

Observations with both types of gauges are to be performed preferably by two observers viz. one to observe whereas the other enters

the data read to him on the data sheets. First the height of the wave crest next the wave through is read.

From a series of 100 observations of which both times of start and finish are noted down, the significant wave height can be determined. The significant wave height is defined by taking the average of  $1/3$  of the highest waves in the observation period.

It is emphasized that the significant wave height determined by the above method is less accurate than defined by instruments to be dealt with later.

## 2.4 Waveregistration

The previous methods of observations are far from ideal. Some of disadvantages are: the obtained information is both limited as to duration as well as accuracy; the method employed is cumbersome and it is practically impossible to measure waves during storms.

In order to circumvent all these difficulties we should avail ourselves of an instrument which - attached to a gauge - is able to register the wave movements continuously.

The complicated wave movement at a fixed point on the surface can be considered as a point where wave trains coming from different directions pass by, this is due to the speed of propagation of the waves. This passing manifests itself in quick, successive changes in waterlevel. The measurement of waves can be considered as the measurement of fluctuations in waterlevel. Based on the above considerations two instruments were developed viz.:

- wave-amplitude-recorder (1955)
- electric-stage-gauge (1959).

## 3. INSTRUMENTS FOR THE MEASUREMENT OF WAVES.

### 3.1 Wave amplitude recorder

The amplitude recorder is developed by P.J. Wemelsfelder M.Sc. Eng.; waves are recorded.

The instrument, at the gauge, records wave movement by means of a float. To this end a tube, housing the float contains vertical slits with a width of 2 and a length of 60-80 cm. forming a spiral. Each successive slit is moved  $90^\circ$  from the preceding one. In this way the position of the float tube is indifferent as to current and wave directions.

The vertical movement of the float converted into a horizontal movement of a steel recording pin by wire and wheel of the float and a wormgear. The pin scratches the wave movement on waxed paper. The recording pin movement is reduced 1 : 50 as compared to the float movement. The usefull width of the recording roll is 24 cm. corresponding to a movement of 12 meter of float or water surface. The range of the instrument should cover the lowest wave through at LLW to the highest wave crest at HWS. Under the Netherlands conditions where the lowest wave through will reach to 3.00 meter below MSL the wave amplitude recorder will, in theory, be able to record waves of 10 or 8 meter respectively at a water level of +4 m. or +5 m. MSL resp. \*

Waves also transport the paper. A rising movement of 1 meter of the float corresponds with a movement of 0.1 mm. of the roll; a falling movement of the float has no effect. Saving registration paper,



and thus extending the period that observations can be recorded is the reason that the instrument has been constructed in such a way that of an integrated vertical movement of 300 m. only 60 meters are recorded and 240 meters not. Each time, the wave-amplitudes are recorded in a compact shape of 6 mm. covering 60 meter wave height integration. The next 240 meter waveheight-integration is not recorded and no paper transport takes place. The wave registration consequently appears as a number of consecutive blocks.

Of every tenth block the first part is registered in an extended form. To make this kind of recording a spring is wound by the waves and is released once every 3000 meter waveheight-integration with the result that the registration paper is moved with a speed of 1 mm./sec. during 72 seconds and consequently a time-waveheight diagram appears. When the recordings are analyzed the "extended" recordings serve a very good purpose. (fig. 4).

In the coastal area a roll of recording paper is sufficient to cover an observation period of 3 to 4 month.

### 3.2 The electric-stage-gauge

This instrument has been developed by the "Technisch Physische Dienst T.N.O.-T.H.", Delft, Netherlands.

The electric-stage-gauge consists of a bundle electric wires, strengthened by steel wire and bound by smooth vinyl tape, the ends attached to 200 electrodes spaced 4, 5 or 6 cm. apart. The same requirement viz. that observation should be possible between the highest crest and lowest trough of waves also applies for this instrument. The action of the electric stage gauge is based on capacity-measurement using the property of the difference in conductivity between water and air. In the air - above water - the electrodes are isolated from each other outside the cable but inside the cable parallel connected by a series of 200 condensers. The electric stage gauge as a whole forms, with the self-induction a circuit with a variable frequency of resonance. Wave action causes one or more electrodes to be short-circuited. Depending on the number of electrodes thus affected a change is instigated in the resonance frequency.

The frequency varies between 1.000 and 3.000 Hz. The capacity of the condensers is chosen in such a way that the changes in frequency are in 200 even stages of 10 Hz. each.

The original electrodes like stems sticking out from the main "tree" with seaweed adhering thereto causing "shorts" have been replaced by circular electrodes which do not protrude from the "smooth tree". A disadvantage of this smooth type however is when oil, floating on water thus polluted, sticks to the gauge causing shorts between the electrodes and affecting the registration.

Shore based registration is used. The changing frequency, modulated on a frequency of a carrier wave of appr. 174 MHz., is transmitted by a battery fed transmitter on the gauge to the receiving station ashore.

Signals are transmitted each 0,2 seconds. The signals thus transmitted are received by a receiver situated ashore in a high position. The signals thus received are further despatched by telephone line to the office engaged in such studies and measurements. The signals once received are converted and recorded as changing waterlevels or wave action (photo 1).

Actual registration is performed by pen recorder (Sefram-recorder) and on punch tape. In as much as signals are transmitted each 0,2 sec. the punch tape punches five times a second a coded figure; this figure corresponds with the number of electrodes submerged at that time.

The Sefram-recorder performs in a similar way, the position of the recorder is determined and agrees with the number of "shorted" electrodes at that particular moment. It can be said that due to the uninterrupted registration the surface-movement is filmed.

This visual registration is necessary as punch-tape registration without visualisation makes the tracking of any irregularities extremely difficult. The visual registration, by means of a selection switch is possible in the scales 1 : 125, 1 : 50 or 1 : 25 (photo 2).



Photo 1 - Wave height registration apparatus in the central recording office at Hellevoetsluis.

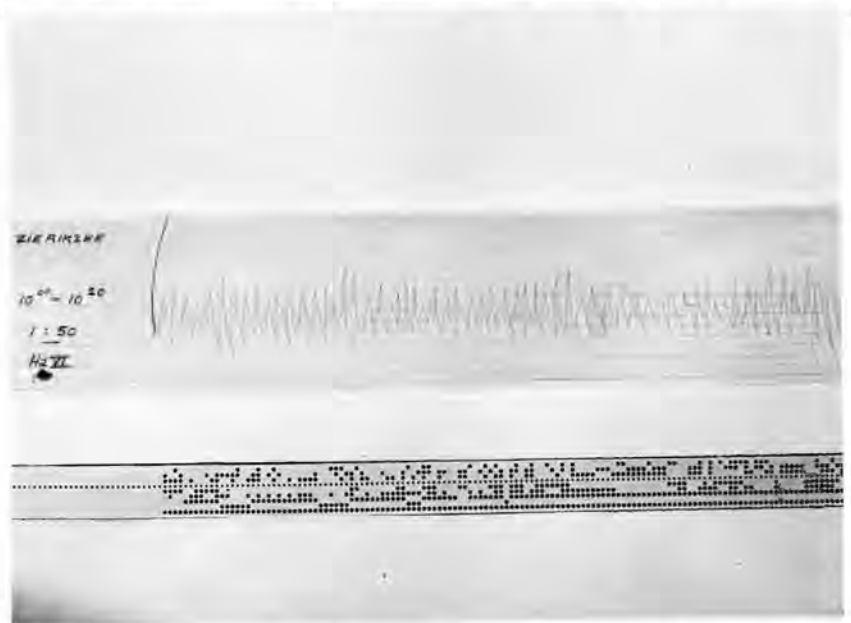


Photo 2 - Sefram and punched tape recordings of wave heights.

### 3.3 Comparison between the wave-amplitude-recorder and electric-stage-gauge

In 1959 and 1960 the recordings of the above two instruments, both attached to the same staff gauge could be compared. In addition results were also compared with those made with a film camera filming the actual wave movement. It is found that both instruments construe the wave shape accurately although the wave-amplitude-recorder records the wave height 10% to small.

As to the performance of the two instruments it is found that the wave-amplitude-recorder is extremely reliable. As such it is recommended to be used for month- and year statistics. The recordings however have to be elaborated manually. Little use can be made of these recordings when detailed studies of waves are needed. The most frequent cause of interrupted recordings is the breaking of the - nylon - float thread.

The electric-stage-gauge however, due to the fact that punch tape are available offers the most suitable recordings for extensive studies of wave action.

In addition to the above, the latter instrument giving instant information on local wave movement, marks the workability with survey craft etc. at that moment. The info on workability is derived from written recordings.

#### 4. TIDE-MEASURING INSTRUMENTS.

##### 4.1 General

The instruments described above measure the relative surface movement. In the estuary and the rather shallow coastal area the wave and tidal movement is rather great as compared to the depth. It is readily understood that under these circumstances the waveheight not only depends on the wind but also on the tide subjected waterdepth and as a consequence not only the wave movement but also the fluctuations in water level (tide levels) are to be determined.

To measure the tide at the fixed-staff-gauges the Ott-tide-recorder and the floating-tide-meter with radiomonitoring are used.

The above recordings are also used for reducing the normal soundings to chart level.

##### 4.2 The Ott-tide-recorder

The Ott-recorder, also attached to the fixed-staff gauge is self-recording. The tube, housing the floater and attached to the staff-gauge is constructed in such a way that the surface movement caused by waves and swell is damped as much as possible.

The floater, by means of a worm gear actuates the recording pen. The tidal movement reduced to 1/20 th. of the actual movement is recorded on paper which is advanced with a constant speed of 1 mm. every 4 minutes. A clockwork which needs rewinding once every month transports the paper. One roll in the instrument suffices for 3 month continuous recording.

##### 4.3 The float-tide-meter with radio monitor

This tide meter, also based on the "float" principle was developed by "Technisch Physische Dienst T.N.O.-T.H." at Delft, Netherlands.

Since 1969 some of the gauges along the Netherlands coast have been equipped with this type of tidal gauge.

Observations of the waterlevels are transmitted by radio to a radio receiver situated ashore in a high position and subsequently forwarded by telephon line to the receiving office gathering this information.

Recording is done by one of the following two systems:

- at intervals of 5 min. each the average waterlevel, taken over a period of 1 minute is printed on a paper tape.



- waterlevels are drawn continually on a roll of paper f.i. such levels are reduced to 1/50th. The paper is advanced with a random speed and can be adjusted to the vertical scale, an used speed is 2.5 cm./h.

## 5. ANEMOMETER.

### 5.1 General

Waves are generated by wind action.

Wind information is usually for the correct interpretation of the wave measurement data. Such data for instance may be analyzed in a statistical way to determine the workability.

At a number of coastal stations wind observations were already made for many years. Comparison of wind measurements at sea and ashore have shown remarkable differences both in velocity and direction. During storms the directions ashore differ between 45°-90° whereas the variation at sea remained limited to 30°. This lead to the development of an anemometer that could be attached to the staff gauges.

### 5.2 Self registering anemometer

The Technisch Physische Dienst T.N.O.-T.H. at Delft, Holland, developed such an anemometer which became available in 1972. Since than two offshore gauges have been equipped with this instrument.

The anemometer is composed of

- a directional wind meter
- a velocity meter.

The data, transmitted by radio to the shore are there recorded on double Seframpaper (see also: the float-tide meter).

The instrument measuring the wind direction is composed of a wind vane attached to an angle-digitalisator; the circle of 360° is divided in 64 levels, each converted into a digital code: each comprising appr. 6°. The vane, directed by the wind, at all times points within one of the 64 sections. Once every 12 seconds the code of this section is determined and is transmitted to the shore-receiver. It should be added that the transmission of the code requires 12 seconds.

The winddirection is thus determined 25x every 5 minutes. Different kind of disturbances may cause inaccuracies of the received data. Within the receiving apparatus a selection is made between the correct and incorrect information. The correct data are stored in a memory. When the next correct data are received these will replace the stored data in memory. The correct data, received last is maintained until such time that subsequent correct data are received. In this way it is achieved that at the end of each 5 minutes period a correct information is available which can be carried to a next memory. The angle (wind direction) agreeing with the last value in this second memory is made visible on a panelmeter during the next 5 minutes and also recorded on one half of the Seframpaper.

The velocity is measured by a vane anemometer (cup-vanes). The vane is attached to an A.C. generator, of which the generated frequency is nearly directly proportional to the wind velocity. This frequency after division is transmitted as an on/off modulation on a low frequency carrier wave. The wind velocity data are transmitted continuous-

ly with the on/off modulated carrier wave. The number on/off signals which each time unit depend on the wind velocity at that time are recorded during 5 minutes in a counter. Each 5 minutes the counter is stopped and the count is transferred to a memory.

After transfer the counter is set to zero automatically and will continue counting the next 5 minutes the on/off signals.

In memory, in the mean time, the number of on/off signals have been multiplied with a certain figure thus giving the mean wind velocity expressed in nautical miles/hour. This mean value is during the next 5 minutes made visible on the panelmeter and also on the other half of the Seframpaper.

## 6. POSITIONING OF WAVE GAUGES.

### 6.1 General

For the design and execution of the many great works along the Netherlands coast it became necessary that at various positions and covering a period of many years, wave data had to be collected. The wave instruments, since developed, offered ample opportunity to make wave recordings continuously at fixed positions. It was considered necessary that such observations should be reliable at all times which decided in favour of the installation of fixed-staff-gauges.

In the estuaries and along the coast both bed configuration and tidal movement in addition to practical considerations determined the placement of the gauges near the depthlines of 5 and 10 meters below MSL.

The gauges were to be designed in such a way that:

- sufficient space was available for placing the measuring instruments and additional gear
- the gauge should not at all or hardly interfere in the watermovement
- the gauge, under all circumstances, should be able to withstand the wave attack.

For the gauges to be placed in 10 m. of water, the extreme circumstances under which such gauges should remain intact the following special requirements were given viz. that resistance during a severe storm should be given against wave forces generated by a significant wave amplitude 8 meters, period 10 seconds appearing with a mean water level of 4 m. above MSL. The frequency of occurrence is once in 400 years.

Based on the above requirements three types of gauges were developed, each one belonging to the "staff" type.

An additional requirement was that the gauge should resist the wave attack after erosion around the gauge to twice the tube diameter occurs.

The following types were developed:

- Katwijk gauge
- Haringvliet gauge
- Eastern Scheldt gauge (fig. 5).

In order to limit all unnecessary risk the gauges are destined to be placed outside the official and buoyed fairways and channels.

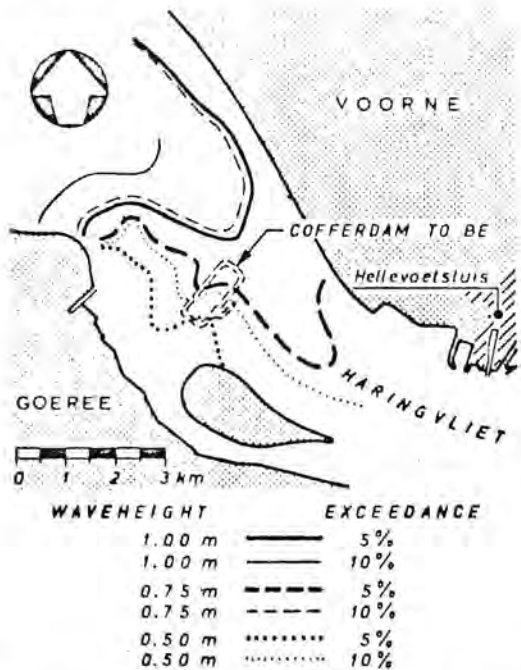


FIG. 3 THE MAP SHOWING THE EXCEEDANCE FREQUENCIES OF WAVES IN THE HARINGVLIET ESTUARY



FIG. 4 DIAGRAM OF THE WAVE-AMPLITUDE RECORDER

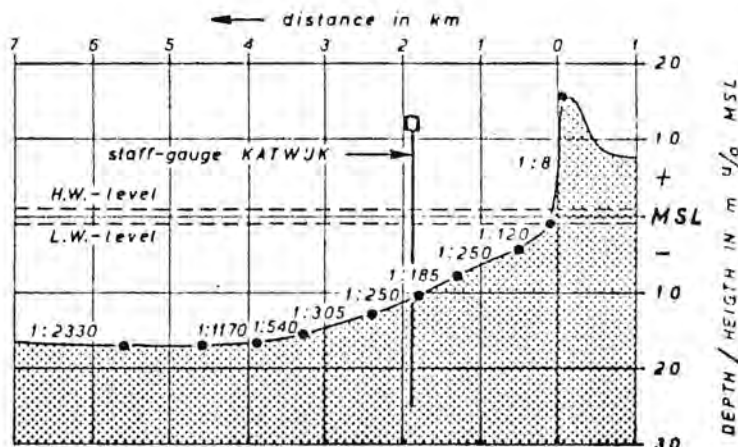


FIG. 6 BEACH PROFILE NEAR KATWIJK

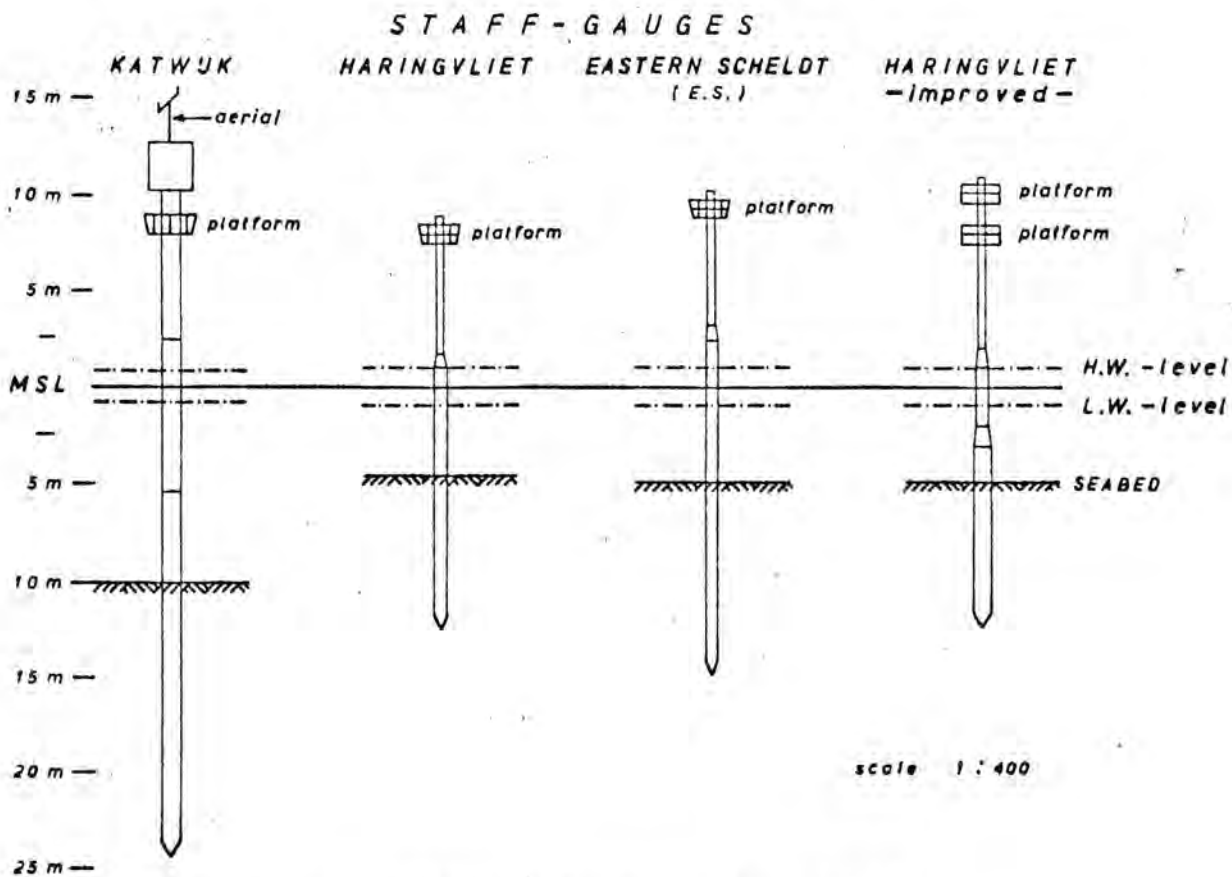


FIG. 5 DIFFERENT TYPES OF STAFF-GAUGES (drawn to scale)



## 6.2 The Katwijk gauge

This gauge is for placement on or about the 10 meter water line. In this instances the gauge was designed in such a way that the float tubes of the instruments are inside the gauge pole. On top of the pole a sheet iron shed was built to house the instruments. The pole, in two pieces, consists of a tube of steel 52, wall thickness 15 mm. and an internal diameter of 100 cm. The two sections consist of the lower and top part 26.3 m. and 7.7 m. respectively.

Two gauges of the Katwijk type have been built. The first one, in October 1957 was placed off the coast near Katwijk (fig. 6). Based on local soil mechanical calculations it was decided to "jet" the pole into the sea bed for 40% of the total length. To the West of the island Schouwen the second gauge of this type was placed. After the collapse of this latter pole it was replaced by an improved type of the Eastern Scheldt type. In practice it was found that the Katwijk gauge had some disadvantages like: marine growth of mussels and barnacles which are difficult to eliminate from the float tubes; the construction of the gauge is expensive and difficult to modify to accommodate new developments in instrumentation. The advantage of having the registration and operation of the instruments in the shed on top of the pole does not outweigh the disadvantages.

This is also the reason that no further specification of the Katwijk gauge are given.

## 6.3 The Haringvliet and Eastern Scheldt gauges

This two gauges are designed for placement on the 5 meter line in the estuaries and in the "Waddensea".

The float-tubes are, contrary to those at the Katwijk gauges attached to the outside of the poles. For the operation and registration an open platform is fastened on top of the pole which can be reached via steps welded to the pole. Steel 42 is used for the construction of these poles.

In essentially both types are alike. The differences are instigated by the disparity in tidal movement (fig. 2). In the Eastern Scheldt the tidal range is greater and consequently the waves can come higher.

The Eastern Scheldt pole is 4 meter longer and stands  $2\frac{1}{2}$  meter embedded deeper than the Haringvliet type. Like the Katwijk pole 40% of the total length of the E.S. type is jettted into the seabed.

Both types are made up of two sections.

The bottom part is a tube, diameter 610 mm. and a wall thickness of 10/12 mm. This section measures for the Haringvliet type 13.5 m. and the E.S. type 17.5 m. respectively. The top is closed by a flange which, after positioning reaches with the Haringvliet type to 1.00 m. and the E.S. type 2.50 m. above MSL. In order to facilitate the placement of the pole by the "jet-method" the tip of the pole is made into a four sided point with an opening of appr. 50 mm. In the four faces of the point some holes are made and a small steel scraper is welded on each flat part.

The top sections of both types are alike. The length is 6.5 m. The bottom of the top section is closed by a flange, the tube also has a diameter of 610 mm. and a wall thickness of 10/12 mm. Of the top part, the tube tapers from 610 mm. to 355 mm. The top of the tube is also closed off.

The underside of the platform of the Haringvliet gauge is at 7.50 m. and the E.S. gauge at 9.00 m. above MSL.

The first gauges of these types were in use in 1956 at different locations in the estuaries in S.W. Holland. During the first couple of years the poles were only equipped with Ott-tide and wave-amplitude recorders. After 1960 a growing number of poles were also equipped with the electric-stage-gauge. Since 1969 instrumentation on some gauges has been added to by the float-tide meter with radio transmission. In 1972 on two gauges registering anemometers were installed.

The need for wave data obtained in areas with less interference than those located near the coast or in the estuaries was the reason that an increasing number of gauges of the Haringvliet and E.S. type were placed further seawards. This was not without danger and more than once a gauge collapsed during a severe storm. Needless to say that with the very good results so far obtained with both types of gauges that it is endeavoured to improve them still further for operation in these, more exposed, positions.

#### 6.4 Further detailed description of the staff-gauges

The gauges are assembled from two sections, the lower and the top part. The lower section has a flange at the top, the top section a flange at the bottom. The two sections are joined together by bolting the two flanges. The bolts are now made from stainless steel in view of the required strength.

The top part, carrying the platform with the lightstand also serves as a gas tank. To this end closure of the bottom part is gas-tight. By way of a valve at the top this gascontainer can be filled with gas. Propane gas is used for fuel of the light. This iso-green occulting light is dimmed 2 seconds out of every 4, and is visible on a dark night and clear weather for 5 nautical miles.

The diameter of the platform is 1 m.; hereon the recording instruments, Ott-tide recorder and wave-amplitude recorder are installed. A case housing the electronics for the electric-stage-gauge is also placed on the platform in addition to the storage batteries for the transmitter and the aerial. The platform itself is a grating with a section which can fold back above the mounting steps.

The lower section of the gauge is closed watertight by a partition just below the flange. In the circumference of the tube, just below this partition a connecting flange is attached to receive the waterhose for "jetting in" and also for retrieving the gauge tube.

At about 3 m. below MSL a short tube connection is made to join the float-tube with tide-meter mechanism. If two separate tide-meters are attached to the pole also two separate tube connections are needed. The lower section and the float tube(s) after placement should act as communicating vessels. To accomplish this an adjustable valve for the admission of water is installed at the same height as the tube connection(s) but on the opposite side of the tube. The aim of this valve is to attain the same water height inside the pole although rapid waterlevel fluctuations caused by windwaves are shut out by the retarding effect of the small valve opening. The valve, by means of a threaded rod can be adjusted from the top of the ladder. The rod is between the ladder and the main gauge tube. This ladder starting at the flange connection reaches to 2.50 m. to 4.00 m. below.

A so called blue (enamelled) graduated gauge is fastened to the lower section. The purpose of this gauge is twofold viz.: the gauge is

used while placing the staff-gauge and later during calm weather to determine and check the tidal recordings.

The float tubes of the tide-recorder(s) and wave-amplitude recorder is fastened with circular flanges to the pole; the float tube of the wave-amplitude recorder is - of course - not linked with the interior of the gauge like the float tube of the tide-recorder(s) have a connecting tube as outlined above.

The electric-stage-gauge is stretched in a triangular tube construction, likewise fastened to the main pole by circular flanges. Apart from the constructional function the triangular construction also protects the main gauge against flotsam etc.

## 6.5 Developments

The condition of placing the gauges further and further from the coast and the increased instrumentation involves addition risks to the gauges. More than once gauges of the original Haringvliet or E.S. type were demolished as a consequence thereof. Except for an occasional collision between dredging material or a fisherman or ice floes, in the majority of cases, the gauges toppled over on account of severe wave action.

During the subsequent salvage action it was nearly always found that the pole had given away near the bottom. Luckily not always did the gauges topple over and it was found that the damage was confined to throwing the storage battery boxes from their lashings. Obviously some very high waves had caused this havoc.

From the above it appears that the described gauges have two vulnerable points viz.:

- the bending point near the bottom
- the height of the platform above MSL.

The first presented the main trouble and concern. In order to strengthen the gauge at this weak point strips, 6 m. each, were placed in position around the circumference. Strips were applied between 3 and 9 meters from the tip of the pole with the Haringvliet gauges. This make-shift solution however was only temporary. At a later date such gauges were equipped with a new lower section having a diameter of 80 cm. and a wall thickness of 15/16 mm. Two meters on both sides of the bending point the wall thickness was further increased to 25 mm. This additional material is added in the interior side so that the exterior tube remains smooth. Above the strengthened part, discussed above, the tube tapers again to a diameter of 60 cm. and a wall thickness of 10/12 mm. (fig. 7).

The height of the platform above water should keep the underside above the highest possible wavecrest occurring during heavy storm and extreme waterlevels. Now that in some instances the waves reached above the underside of the "Haringvliet" staff-gauge, it is contemplated to raise the platform to the same level as the E.S. gauge.

The consequence of raising the lower platform and the addition of a second platform is the greater overall length of the staff-gauge, to wit the total length of the pole is determined by the depth at location of the sea bed below MSL, the requirement that one third of the length is embedded and the required height of the lowest platform above the breakers.



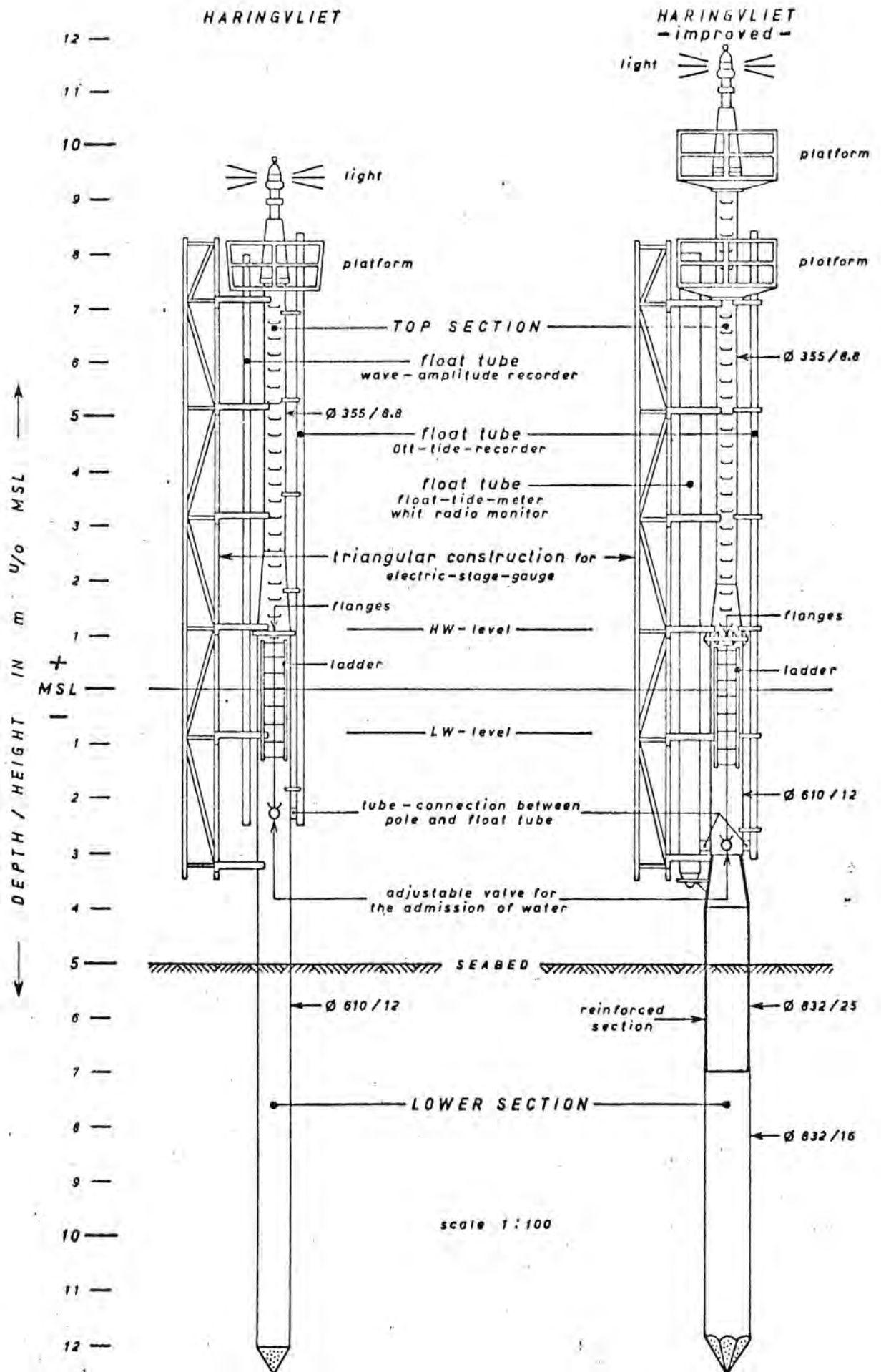


FIG. 7 OVERALL VIEW OF STAFF-GAUGES

In one instance this has lead already to the necessity for driving the pole into the sea bed because the "jetting" method could not be used due to the presence of clay layers in the sea bed. The construction of the lower part of the gauge has been adapted to this end; experience with this type of pole, at present, is not yet available.

## 7. POSITIONING OF THE STAFF-GAUGE

Placing the staff-gauge with the aid of a floating crane is a lengthy operation needing calm weather and a smooth sea. At the chosen position the soil mechanical conditions should be stable to ensure the security of the pole once placed. Conditions and circumstances are always different, consequently the placement needs a great deal of improvisation.

Normally, under good weather conditions and a wave height not exceeding 50 cm. a start is made at daybreak. The entire pole, without the platform however, is picked up from shore or barge by the tackle of the floating crane and once lifted is secured by guy wires. Before lifting, the float tubes and the triangular-tube protection for the electric-step-gauge are already attached also the waterhose for "jetting" the pole into the sea bed is fastened to the lower section.

A tug tows the crane to the exact position guided by a workboat equipped with Decca (photo 3). In this way even when fog, rain or snow makes visual navigation difficult the proper position can be found. Upon arrival at the pre-planned position the Decca launch marks the correct position by



Photo 3 - Transport of staff-gauge by floating crane.



Photo 4 - Staff-gauge in location used as a "jet".



Photo 5 - The staff-gauge in place.

a buoy which is anchored in position by a wire not much longer than the waterdepth. The crane is also anchored and by hauling on the different working cables is brought so that the pole is exactly above the marked position.

The jetting operation can commence. After attaching the water hose to the pump, water with a pressure between  $6/8$  atm. is pumped in the lower half and the pole is "jetted" into the sea bed (photo 4). The water jet churns up the sand and the pole goes down by gravity. Depending on the composition of the bed, the placement time may differ. Sand presents no problem, but layers of clay or shells may make the procedure more difficult. In the latter case it may be necessary to turn the entire pole around the axis thus activating the scraper strips welded near the tip.

If the pump breaks-down, it is necessary to retrieve the entire pole immediately.

The pole is "jetted" down up to a pre-determined depth which is read from the blue, graduated scale, after the actual corrected waterlevel (tidal movement!) is received by radio phone from a shore based station.

Once the required depth is reached, the pole should be plumb-lined. The pole is held upright by the tackle of the crane while the jetting operation continues. The vertical position is checked from two positions perpendicular to each other (from the working launch or the floating crane). Adjustments to the position are made by shifting the entire floating crane by pulling or slacking away on the anchor hawsers.

After the pole is in a vertical position the pump is stopped and the hose uncoupled; next the pole is released from the crane tackle. The remaining installation can be started. After mounting the platform the light construction is attached and lighted after connection with temporary gas container, brought along, is made. The aereals and storage battery boxes are installed for the radio transmission (photo 5).

Filling the top section of the gauge with gas for the light and installing further instruments is kept for a later time.

Finally the exact position, weather permitting, is determined by sextant; if not, position is defined by Decca coordinates.

In order to advise all concerned (shipping etc.) the Hydrographic section of the Navy is informed for including this info into the Notices to Mariners.

#### 8. LEVELLING AND DETERMINING THE POSITION OF A STAFF-GAUGE.

After the staff-gauge is placed in position in coastal waters or in the estuaries the data obtained by the wave- and tide measurement instruments



ought to be in line with like data from situations near the coast. It is therefore required that the zero of the graduated (blue) scale of the gauge is accurately related to the Ordnance Level (N.A.P.) which differs very little from MSL. To this end levelling is necessary.

The position of the staff-gauge also should be accurately defined.

Levelling in principle could be done by the "optical transition" method. However due to the fact that the staff-gauge is not the ideal base for the sensitive levelling instrument this method cannot be used, and other means should be found viz. the hydrostatic levelling method. Use is made of two small parts of a level face, realized by the fluid surface in a system of communicating vessels.

The practical execution of this procedure was developed by the Geodetic Department of Rijkswaterstaat. The main problem with the hydrostatic method is obtaining a fully filled tube having a sufficient length. Continuing the work of the Danish professor Nørlund it was decided to work with a leaden tube, internal diameter 10 mm. wall thickness 3 mm. to be sunk on the sea bed between the measuring points. The tube was protected by a steel wire armament increasing the tensile strength to 3500 kgf. The external diameter of the armed leaden tubes is 32 mm. and the weight 3 kg per running meter; both ends are fitted with a valve. Prior to delivery the factory has filled the tube with boiled, distilled water and has run a test for air bubbles. With tubes of these relative small diameter even a small airbubble can disturb the free flow in the fluid mass and invalidate the later observations. Care should be taken when handling the filled tube that no air is admitted; in this way the filled tube can be used several times over.

At present with three length joined together a total length of 7 km is reached with a total weight of appr. 20 tons.

The heavy tubes are laid out by a cable ship of the State Postal and Telegraph services. After the tube has been laid between the shore and the staff-gauge both ends are lifted to about the same level and a gauge-glass with graduated scale is fitted at both terminals. The shore based station is demountable scaffold at the LW line thus making it possible to lift the gauge-glass - in the same manner at the staff-gauge - some what above the waves. By this method the full length of the tube remains submerged instead of lying hundreds of meters on the beach and being exposed to the sun rays.

The test is started with the so called pendulum test. Keeping the valves closed the gauge-glass on one side is fully filled, whereas the glass at the otherside is almost empty. After opening the valves the system will reach for a equilibrium; the course of this movement, due to the chosen dimensions of the gauges and tube diameter is logarithmic and will take depending on the length of the tube 5 to 20 minutes.

After the equilibrium is reached the gauges are read every 10 minutes at the same time. These observations should, by preference, cover an entire tidal cycle in order to eliminate systematic influences of the tide. Regularly the barometric pressure at both ends and the water temperature along the tube should be taken. Halfway the test, the equilibrium is broken by a reversed pendulum test; thus make sure that the system performs to full satisfaction. After the levelling operation is completed the both gauges are disconnected and the tube again is picked up by the cable ship.

The exact position of the staff-gauge ultimately is determined by theodolite cross bearings from the shore.

## 9. OPERATING WITH THE INSTRUMENTATION FITTED ON A STAFF-GAUGE.

Offshore gauges are to be visited at regular intervals for maintenance of the self-registering apparatus and to check the proper operation. If necessary, small technical troubles can be fixed at the same time. The vital parts of the gauges are to be cleaned and marine growth (sea weed, mussels, barnacles) be scraped off. After each inspection protective and other cases are again to be fully closed.

Needless to say that after each storm staff-gauges are to be inspected for small repairs.

Under normal circumstances, subject to the weather conditions and the availability of a launch, gauges are visited every 10 days.

The ladder steps and blue graduated scale are cleaned at the same time.

The operation of the warning light, necessary for the protection of the gauge is checked. When the light is extinguished the gascontainer may be empty or the flame may be blown out; this is evidenced by the ticking of the time mechanism.

The vane of the anemometer is pointed by hand to fixed points so that the recordings thereof in the office may be checked against the known bearing.

In case of the wave-amplitude recorder a notation giving date and time of the check and gauge and instrument number are made. For further elaboration of the recorded data part of the registration roll is taken out of the instrument every 4 or 6 weeks. The remaining paper on the roll should be sufficient to record at least 1 month more; otherwise a new roll should be started. On both the replaced and the new roll in the apparatus the notation should be marked. At the same tide the free movement of the float inside the float tube is checked. In case the float string is broken, a replacement is made. The slits in the circumference of the float tube should be cleaned from marine growth.

With the Ott-tide recorder a time signal is obtained on the paper by turning the wheel of the float one quarter turn back a forth. This mark introduced on the paper by the above action is to be supplemented by a time mark. The same action as to replacement etc. should be taken as described with the wave-amplitude recorder. Next the clockwork for the paper transport is wound. The momentane registration, having a height correction is checked against a reading of the (blue) graduated scale. The height correction mentioned above is determined 2 to 3 times a year by comparing the registration of the Ott-tide recorder and the visual observation of the tidal cycle on the blue scale at half tide and calm weather.

If needed the gauge valve is turned back and forth thus ensuring the proper operation of the tide recorder(s). If this is not possible from above water a diver does to, by cleaning the valve itself internally. At the same time the tube connection between gauge body and float-tube of the tide-meter is cleaned.

The electric-step-gauge is cleaned from marine growth. Any of the projecting electrodes that have been bend are straightened.

Once a year the depth of the surrounding sea bed is checked by taking soundings along radial lines starting at the gauge. Experience has shown that after an initial erosion of up to  $1\frac{1}{2}$  to 2 times the pole diameter a stable bed condition is reached.

After a storm, any loose parts are fastened again. Sometimes it was even necessary to re-weld fastenings of the triangular tube construction. In case a float tube is dented, such a section is cut out and a new piece is welded in place. Of the Ott-tide meter the upper part can be replaced quite easily.

The electric-step-gauge equipped with circular electrodes (the smooth gauge) needs stretching after a storm. When seriously damaged this type of gauge can easily be replaced by a new one. For changing the electric-step-gauge with protruding electrodes however a floating crane is required.

#### 10. REMOVAL OF A STAFF-GAUGE.

After some time the erected staff gauges may have to be removed for one of the following reasons:

- replacement for periodical overhaul
- threatening ice-drift
- damage or loss by storm, collision or ice-drift.

Periodically the staff-gauges are replaced f.i. every 3 years for overhaul. In the immediate vicinity of the existing gauge a replacement gauge is erected as outlined before. When this gauge is properly placed the light and instruments are transferred from the gauge to be overhauled to the new one. At the same time the Ordnance Level (N.A.P.) is transferred by means of a waterlevelling tube.

The floating crane is now anchored near the "old" gauge and by manipulating the anchor wires the hoisting tackle is brought exactly above the pole to be pulled, and the gear is fastened to the gauge. Also now, the gauge-tube proper, is used as a jet-lance for pulling the pole. After the watertube is fastened to the lower part, the pump is started the water jetting out of the holes in the point will churn the sand after which the entire gauge pole can be pulled out of the sea bed.

The pole, once lifted well clear of the water is secured against swinging and other movement and can be transported to the construction shop for overhaul. Only after arrival at the shop the gas will be released from the upper part, the gas container.

During severe frost periods it may be necessary to pull those staff-gauges which are threatened by ice-drift. A staff cannot withstand the forces exerted by ice-shove. The Waddensea (to the north) and the mouth of the rivers and estuaries are particularly prone to this ice hazard. After the ice-drift danger is past in spring, the staff-gauges are reinstated again.

Particularly the re-reinforcement of the poles near the bending point has contributed much towards the resistance that is offered against the wave forces generated especially during storms. These forces, more than once were the cause that poles toppled over, lately this happens very seldom and only than on account of collision or ice-drift. The staff-gauge bend near the sea bed and by its own weight and the apparatus attached the pole disappears altogether under water.

Particularly after collision the direction in which the gauge has toppled is unknown. Before salvage operations are started the position of the pole - under water - has to be determined by sounding or dredging. Once the position is known salvage operation can commence. First, a diver has to hook up the gauge to the hoisting tackle. In as much as under these conditions the still embedded pole cannot be used as a jet-lance much more hoisting force is needed than under normal circumstances. More than once under the given conditions the aid of salvage contractors or a heavy duty crane had to be called in.

#### 11. COSTING.

The preceding considerations about wave stations and the attached in-



struments should be incomplete without adding a review on the cost-aspect.

Based on the estimates received and valid for the year 1974 the costs for construction, placements, determining the exact position and the hydrostatic levelling are as specified below:

	in thousand of Netherlands florins
construction staff-gauge	
- upper section (incl. platforms, lightsup- port construction etc.)	12.0
- lower section (incl. ladder, valve, etc.)	
placing in 5 meter depth line	28.0
placing in 10 meter depth line	35.0
- float-tube for wave-amplitude recorder	3.0
- float-tube for Ott-tide recorder	2.5
- triangular tube construction around electric-step-gauge	5.0
- float-tube for float-tide meter	4.5
placement (or: removal) of staff-gauge	15.0
purchase of instruments	
self recording instruments	
- wave-amplitude recorder	13.0
- Ott-tide recorder	2.0
with radiographic transmission (transmitting, receiving and recording apparatus included)	
- electric-step-gauge	
- protruding electrodes	62.5
- smooth gauge	65.5
- float-tide meter	45.0
- anemometer	60.0
hydrostatic levelling and position fixing	25.0

The placement cost of the staff-gauge are based on the presumption that the pole is also used as jet-lance.

The cost of levelling also depend on the required number of working days. The cost mentioned above cover the cost involved for installation in the estuaries and coastal area in SW-Netherlands; in the northern area (Waddensea) the estimates are in the order of 40.0 to 50.0 thousand florins.

The total cost of a staff-gauge equipped with anemometer, electric-step-gauge, float-tide meter, wave-amplitude recorder and Ott-tide recorder placed on the 10 meter line is about 287,500 florins. By deleting the anemometer or the instruments requiring radio-transmission the total cost become 227,500 and 107,500 florins respectively.

Against the background of the cost, the aim of the staff-gauge and the use that is to be made of the data collected the answer can be found to the instruments that are to be fitted on the staff-gauge.

## 12. FUTURE.

The favourable results with fixed measuring stations and the high degree of reliability of the instruments added to the ever increasing need for information regarding wave- and tidal movement out at sea beyond the direct coastal influence have instigated the research into the possibility of placing wave measuring station on the 20 meter line in the near future.

## GOLFMEETOPSTELLINGEN IN KUSTGEBIEDEN

door ir. J.J. Pilon.

### 1. INLEIDING.

De mens is van nature een waarnemer van golven. Op een schip kijkt hij uit over de voortdurend aanrollende deining en aan de kust beschouwt hij de golven bij het breken op het strand of bij het zich te pletter lopen op de rotsen, waarvan het geluid nog lang naklinkt in zijn oren. De ritmische bewegingen van het zeeoppervlak hebben de mens de eeuwen door gefascineerd en soms ook verbijsterd als de opgezamelde energie op rampzalige wijze tot ontlading kwam.

Na de watersnoodramp in 1953 kwam in Nederland het Deltaplan tot uitvoering. In Z.W.-Nederland werden de dijken langs Westerschelde en Rotterdamsche Waterweg verhoogd en de zeegaten in het tussenliggende gebied afgesloten; de afsluiting van het laatste zeegat, de Oosterschelde, is in uitvoering. In Noord-Nederland kwam de bedijking van de Lauwerszee tot stand en vindt verhoging van de dijken langs de Waddenzee plaats.

In dezelfde periode werden nieuwe havenmonden te IJmuiden, Scheveningen en Hoek van Holland gebouwd en werd de vaargeul naar Hoek van Holland kunstmatig verdiept.

Ontwerp en uitvoering van deze werken langs de Nederlandse kust, een strandkust, schiepen een grote behoefte aan meetgegevens van de golfbeweging. Dit betekende een sterke stimulans voor het ontwikkelen van methoden en instrumenten voor het meten van golven.

### 2. GOLFMETINGEN.

#### 2.1 Algemeen.

Het meten van golven kan op verschillende manieren worden uitgevoerd. Gangbare methoden zijn: het schatten van golfhoogten, de waarneming van golfhoogten aan vaste of drijvende golfmeetbaken met een schaalverdeling vanaf de wal of vanuit een vaartuig en de registratie van golven met behulp van mechanische- en elektrische golfmeetinstrumenten aan vaste golfmeetpalen.

Verder is het mogelijk om golfmetingen te verrichten met drukdozen volgens verschillende systemen en met golfmeetboeien (waveriders), welke meetmethoden evenwel buiten het bestek van deze verhandeling vallen.

#### 2.2 Schatten van golfhoogten.

Aanvankelijk bestond het meten van golven uit niets anders dan het visueel schatten van golfhoogten. Dit schatten van golfhoogten zonder hulpmiddelen is zeer moeilijk en onnauwkeurig. De onnauwkeurigheid neemt toe naarmate de golfhoogte hoger wordt; de golven worden dan steeds te hoog geschat.

Niettemin werd nog in 1956 op basis van dergelijke golfhoogte-waarnemingen het tracé van de Haringvlietafsluiting en de kruinshoogte van de ringdijk rond de bouwput voor de spuisluis in het Haringvliet vastgesteld!

De keuze van dit tracé was in sterke mate afhankelijk van de werkbaarheid. De benodigde golfmetingen hiervoor werden gedurende het gehele jaar 1955 als volgt uitgevoerd. Tweemaal per dag ver-

trok een meetvaartuig met enkele waarnemers aan boord vanuit Hel-  
levoetsluis naar het gebied in de mond van het Haringvliet, dat  
voor dit tracé in aanmerking kwam om de golfhoogten nabij de uitge-  
legde betonning voor de scheepvaart visueel te schatten. Door de  
lengte van de waarnemingsperiode kon uit de meetresultaten toch  
een min of meer aanvaardbaar resultaat worden verkregen.

### 2.3 Visuele golfhoogtemetingen.

Voor de golfhoogtemetingen is naderhand veelvuldig gebruik  
gemaakt van vaste- en drijvende golfmeetbaken.

De vaste golfmeetbaak bestaat uit een houten of stalen paal,  
waaraan een baak met schaalverdeling is bevestigd. De baak is ver-  
deeld in vakken van 10 cm, waarbij de onderste helft van ieder vak  
wordt ingenomen door een cijfer ter hoogte van 5 cm.

Een vaste golfmeetbaak wordt als regel opgesteld in het voor-  
land van een dijkvak, dat aan zware golfaanval is blootgesteld. Op-  
stelling vindt ook plaats op de rand van een plaat langs een geul  
in een zeegat; de visuele aflezing moet dan vanuit een vaartuig  
plaatsvinden.

Aan een vaste golfmeetopstelling kan de golfbeweging bij dag-  
licht met een optisch meetinstrument nog tot op een afstand van  
100-150 m worden afgelezen.

De drijvende golfmeetbaak bestaat uit een holle, gesloten alu-  
minium buis met een dempingsplaat (diameter 100 cm), die door 3  
koperen kettingen aan het ondereinde van de buis is bevestigd. Het  
bovenste  $\frac{2}{3}$  gedeelte van de buis is voorzien van een - opgeschild-  
erde - schaalverdeling.

Het gewicht van het geheel is zodanig, dat de baak in vlak  
water over  $\frac{1}{3}$  gedeelte van de lengte boven water uitsteekt. Tij-  
dens het meten dient de dempingsplaat zich te bevinden op een diep-  
te beneden gemiddeld waterniveau, welke tenminste gelijk is aan 5x  
de golfhoogte. De dempingsplaat moet namelijk verhinderen, dat de  
baak met de golfbeweging op en neer gaat.

De golfmeting met beide typen golfbaak dient bij voorkeur te  
worden verricht door 2 waarnemers: de een neemt waar en de ander  
noteert de meetgegevens op een meetformulier. Eerst wordt de hoog-  
te van de golftop en daarna van het golfdal afgelezen.

Uit een reeks van 100 waarnemingen, waarbij de tijdstippen van  
begin en einde van de waarnemingsreeks zijn genoteerd, is de signi-  
ficante golfhoogte te bepalen.

Onder de significante golfhoogte  $H_5$  wordt de golfhoogte ver-  
staan, die overeenkomt met het gemiddelde van de 33% hoogste gol-  
ven uit de waarnemingsreeks.

Hierbij zij wel nadrukkelijk opgemerkt, dat de significante  
golfhoogte door de wijze van meten minder nauwkeurig is gedefini-  
eerd dan bij de hierna te noemen meetinstrumenten.

### 2.4 Golfregistratie.

De voorgaande methoden van golfwaarneming zijn bepaald niet  
ideaal. Om maar enkele bezwaren te noemen: de verkregen informatie  
is beperkt in duur en nauwkeurigheid, de methodiek is arbeidsin-  
tensief en de optredende golven tijdens storm zijn praktisch vrijwel  
niet te meten.

Om aan deze bezwaren te ontkomen, zou geschikt moeten kunnen  
worden over een meetinstrument, dat in staat is om - bevestigd aan



een meetpaal - de golfbeweging continu te registreren.

De gecompliceerde golfbeweging in een vast punt van het wateroppervlak is vanwege de voortplantingssnelheid van de golven te beschouwen als het passeren van "golftreinen", die uit meerdere richtingen komen. Dit passeren manifesteert zich als snel achter elkaar optredende veranderingen in de waterstand. Op deze wijze kan het meten van golven worden beschouwd als het meten van waterstandsfluctuaties. Op basis van deze beschouwing werden een tweetal meetinstrumenten:

- de golfamplitudeschrijver (1955)
- de elektrische stappenbaak (1959)

ontwikkeld, waarmee de golfbeweging continu geregistreerd kan worden.

### 3. GOLFMEETINSTRUMENTEN.

#### 3.1 De golfamplitudeschrijver.

De golfamplitudeschrijver is een registrerend golfmeetinstrument, dat is ontwikkeld door ir. P.J. Wemelsfelder.

Het instrument registreert ter plaatse op de meetpaal en wordt bestuurd door een vlotter. Voor dit doel is de vlotterbuis voorzien van spiraalsgewijs geplaatste gleuven van ongeveer 2 cm breedte en 60 à 80 cm lengte. De volgende gleuf is telkens 90° verschoven t.o.v. de vorige. Hiermede is bereikt, dat de stand van de vlotterbuis indifferent is t.o.v. de stroom- en golfrichting.

De verticale beweging van de vlotter wordt via de vlotterdraad en het vlotterwiel door middel van een wormas omgezet in een horizontale beweging van de stalen schrijfstift, die de golfbeweging inkrast op waspapier. De schrijfstift beweegt op schaal 1 : 50 t.o.v. de vlotterbeweging. De nuttige registratiebreedte bedraagt 24 cm, wat overeenkomt met 12 m beweging van de vlotter c.q. de wateroppervlakte. Het meetbereik van de vlotterbuis moet lopen van het diepste golfdal bij de laagste waterstand tot de hoogste golftop bij de hoogste waterstand. Uitgaande nu van de situatie aan de Nederlandse kust, waarbij dit diepste golfdal hoogstens zal reiken tot 3 m - N.A.P., is het met de golfamplitudemeter praktisch gesproken nog mogelijk om een golfhoogte van 10 m resp. 8 m te meten bij een waterstand van 4 m resp. 5 m + N.A.P.

De golfbeweging transporteert het registratiepapier. Per m stijging van de vlotter wordt de papierstrook 0,1 mm voortbewogen; bij daling van de vlotter blijft de papierstrook staan.

Ter besparing van registratiepapier, in het bijzonder met het oog op de verlenging van de meetduur, is het apparaat zodanig geconstrueerd, dat op een geïntegreerde verticale waterbeweging van 300 m de schrijfpenn 60 m schrijft en 240 m niet schrijft. Telkens worden de golfamplituden over 60 m golfhoogte-integratie in gedrongen vorm - ter breedte van 6 mm - geregistreerd, terwijl over de volgende 240 m golfhoogte-integratie noch registratie noch papiertransport plaatsvindt. Hierdoor krijgt de registratie van de golfbeweging de vorm van een aantal naast elkaar gelegen blokjes.

Van elk tiende blokje wordt het eerste gedeelte in uitgerekte vorm weergegeven. Voor deze vorm van registratie wordt door de golfbeweging een veer opgewonden, die eenmaal per cyclus van 3000 m golfhoogte-integratie wordt vrijgemaakt en het registratiepapier dan gedurende 72 sec. optrekt met een snelheid van 1 mm/sec., zodat een

tijd-golfhoogtediagram ontstaat. Van deze "gerekte" registratie wordt zinnig gebruik gemaakt bij de bewerking van de meetgegevens. In het kustgebied is de papierlengte op de wasrol voldoende voor een golfregistratie gedurende 3 tot 4 maanden.

### 3.2 De elektrische stappenbaak.

De elektrische stappenbaak is ontwikkeld door de Technisch-Physische Dienst T.N.O.-T.H. te Delft/Nederland.

Deze elektrische stappenbaak bestaat uit een met staaldraad verstevigde en met glad vinylband omwikkelde bundel elektrische kabels, waaraan in totaal 200 elektroden zijn bevestigd op een onderlinge afstand van 4, 5 of 6 cm. Voor de elektrische stappenbaak met een lengte - meetbereik - van 8, 10 of 12 m geldt eveneens, dat het meetbereik moet lopen van het diepste golfdal bij de laagste waterstand tot de hoogste golftop bij de hoogste waterstand.

De werking van de elektrische stappenbaak berust op het meten van de capaciteit, waarbij gebruik gemaakt wordt van het verschil in geleidbaarheid tussen water en lucht. In de lucht - boven water - zijn de elektroden buiten de kabel van elkaar geïsoleerd, maar via de kabel verbonden aan een serie van 200 parallel geschakelde condensatoren. Het geheel van de elektrische stappenbaak vormt met een zelfinductie een circuit met veranderlijke resonantiefrequentie. De golfbeweging bewerkt, dat meer of minder elektroden door het zeewater worden kortgesloten. Afhankelijk van het aantal kortgesloten elektroden vindt verandering in de resonantiefrequentie plaats.

De frequentie kan variëren van 1.000 tot 3.000 Hz. De capaciteit van de afzonderlijke condensatoren is zodanig gekozen, dat de frequentieverandering plaatsvindt in 200 gelijke stappen van 10 Hz.

De aanvankelijk op "steeltjes" geplaatste elektroden, die licht werden beschadigd en waaraan zeewier bleef hangen (kortsluiting!) zijn bij de nieuwe stappenbaak vervangen door ringvormige elektroden, die niet buiten de baak uitsteken: de z.g. "gladde baak". Een nadeel bij de gladde baak is echter, dat indien het water door olie is verontreinigd, deze olie aan de baak blijft kleven, waardoor kortsluiting tussen de elektroden optreedt, hetgeen een onjuiste registratie tot gevolg heeft.

De registratie vindt aan de wal plaats. Daartoe wordt de veranderlijke frequentie gemoduleerd op de frequentie van een draaggolf van ca. 174MHz, die wordt uitgezonden door de zender met batterijvoeding op de meetpaal, waaraan de elektrische stappenbaak bevestigd is.

Het zenden van de signalen vindt plaats met een tijdsinterval van 0,2 sec. De uitgezonden signalen worden ontvangen door een hoog opgestelde ontvanger aan de kust. Vanaf het ontvangststation wordt het signaal met de variërende frequentie via een telefoonlijn naar het kantoor van een meet- of studiedienst geleid. De over de telefoonlijn ontvangen signalen worden in de daarvoor opgestelde apparatuur omgezet in een registratie van de veranderende waterstand i.c. de golfbeweging.

De registratie van de golfbeweging vindt plaats met een penschrijver (Seframschrijver) en op ponsband. Aangezien het zenden van de signalen plaatsvindt met een tijdsinterval van 0,2 sec. pons de ponsmachine 5 maal per seconde in een bepaalde code een getal; dit getal komt overeen met het aantal elektroden, dat zich op het moment van ponsen onder water bevindt.

De Seframschrijver doet in wezen hetzelfde: de stand van de schrijffen wordt op elk moment bepaald door het aantal kortgesloten elektroden. Door de ononderbroken registratie wordt de beweging van het wateroppervlak in het meetpunt als het ware gefilmd.

Deze geschreven registratie - door gebruik van een keuzeschakelaar mogelijk op schaal 1 : 125, 1 : 50 of 1 : 25 - is noodzakelijk, omdat eventuele storingen in het signaal nu onmiddellijk kunnen worden geconstateerd, hetgeen bij de ponsband zonder uitleesapparatuur niet of nauwelijks mogelijk is.

### 3.3 Een onderlinge vergelijking tussen de golfamplitudeschrijver en de elektrische stappenbaak.

Bij simultane metingen met beide meetinstrumenten - golfamplitudeschrijver en elektrische stappenbaak - aan één meetpaal in 1959 en 1960 zijn de verkregen meetgegevens onderling vergeleken. Gedurende enige metingen in 1960 werd bovendien gebruik gemaakt van een filmcamera om de werkelijke golfbeweging te kunnen vastleggen. Hierbij is gebleken, dat beide meetinstrumenten de vorm van de golven goed weergeven. De golfamplitudeschrijver geeft de golfhoogten ca. 10% te laag aan.

Met betrekking tot het gebruik van bovengenoemde golfmeetinstrumenten kan het volgende worden gesteld.

De golfamplitudeschrijver is bijzonder bedrijfszeker. Het is het aangewezen instrument voor het verzamelen van golfhoogtefrequenties voor maand- en jaarstatistieken. De meetgegevens moeten daarvoor manueel worden bewerkt. Voor een meer gedetailleerde bestudering van de golven is dit instrument echter niet geschikt. Onderbreking in de registratie is in de meeste gevallen veroorzaakt door breuk van de - nylon - vlotterdraad.

De elektrische stappenbaak met radiografische golfoverdracht leent zich daarentegen zeer goed voor een meer uitgebreide studie van de golfbeweging, omdat over registratie op ponsbanden kan worden beschikt.

Bovendien geeft dit meetinstrument een directe informatie over de plaatselijke golfbeweging, hetgeen van veel belang is voor o.m. de werkbaarheid op dat moment, bijvoorbeeld voor de uitvoering van lodingen of metingen. Daartoe wordt gebruik gemaakt van de geschreven registratie.

## 4. GETIJMEETINSTRUMENTEN.

### 4.1 Algemeen.

De beschreven golfmeetinstrumenten meten elk op hun wijze de relatieve beweging van de waterspiegel. In de zeegaten en in het betrekkelijk ondiepe kustgebied is de golf- en getijbeweging relatief groot ten opzichte van de waterdiepte. Hierdoor is de golfhoogte niet alleen afhankelijk van de wind, doch ook van de door de waterstand bepaalde waterdiepte. Dit maakt het noodzakelijk om naast de golfbeweging tevens het verloop van de waterstand - het getij - vast te leggen.

Voor het meten van het getij aan de golfmeetpalen zijn de Ott-getijschrijver en de vlottergetijmeter met radiografische overdracht in gebruik.

Van de meetgegevens wordt voorts een dankbaar gebruik gemaakt voor o.m. de reductie van lodingen.



#### 4.2 De Ott-getijschrijver.

De Ott-getijschrijver is een vlotter-instrument, dat op de meetpaal zelf registreert. De vlotterbuis van deze Ott-getijschrijver, die aan de meetpaal is bevestigd, is zodanig geconstrueerd, dat de op- en neergaande beweging van het water door zeegang zo goed mogelijk wordt gedempt.

De vlotter brengt via een wormwiel een schrijfen in beweging. Het verloop van de waterstand wordt door deze schrijfen op schaal 1 : 20 weergegeven op registratiepapier, dat met een constante snelheid van 1 mm per 4 minuten wordt getransporteerd. Een uurwerk dat gedurende een maand kan lopen zonder te worden opgewonden, verzorgt het papiertransport. Een rol registratiepapier is voldoende voor een continue registratie van 12 weken.

#### 4.3 De vlotter-getijmeter met radiografische overdracht van de waterstand.

Deze eveneens volgens het vlotterprincipe werkende getijmeter is ontwikkeld door de Technisch-Physische Dienst T.N.O.-T.H. te Delft/Nederland. Sedert 1969 zijn enkele meetpalen langs de kust met dit nieuwe type registrerende getijmeter uitgerust.

De meetgegevens - waterstanden - worden radiografisch overgebracht naar een hoog opgestelde ontvanger aan de kust. Vanaf het ontvangststation worden de signalen via een telefoonlijn naar de registratieapparatuur in het kantoor van een meet- of studiedienst geleid.

De registratie van de waterstand vindt daar volgens één van de twee volgende systemen plaats:

- met een interval van 5 minuten wordt de gemiddelde waterstand, opgetreden gedurende één minuut, op een papierstrook geprint.
- het verloop van de waterstand wordt continu grafisch op bijv. schaal 1 : 50 weergegeven. De snelheid van het papiertransport kan onafhankelijk van de verticale schaal worden ingesteld en kan o.m. 2½ cm per uur zijn.

### 5. WINDMEETINSTRUMENT.

#### 5.1 Algemeen.

De golfbeweging op zee dankt haar ontstaan aan de wind.

Voor de interpretatie van de golfmeetgegevens is informatie over de wind veelal onontbeerlijk. Daarbij valt met name te denken aan de statistische behandeling van golfmeetgegevens ten behoeve van onderzoek naar de werkbaarheid.

Op verscheidene kuststations wordt de wind al jaar en dag gemeten. Tijdens vergelijkende metingen van de wind boven land op kuststations en van de wind voor de kust boven zee bleken echter niet onaanzienlijke verschillen in snelheid en richting te kunnen optreden. Bij harde wind vertoonden de windrichtingen aan de kust een spreiding van 45-90°, terwijl deze spreiding boven zee beperkt bleef tot 30°. Dit gaf aanleiding tot de ontwikkeling van een windmeter, die op een meetpaal bevestigd zou kunnen worden.

#### 5.2 De registrerende windmeter.

De Technisch Physische Dienst T.N.O.-T.H. te Delft/Nederland ontwikkelde de registrerende windmeter, die in 1972 voor operatio-

neel gebruik beschikbaar kwam. Sedertdien zijn een tweetal meetpalen voor de kust met dit meetinstrument uitgerust.

De registrerende windmeter bestaat uit een:

- windrichtingsmeter
- windsnelheidsmeter,

waarvan de meetgegevens na radiografische overbrenging (zie: vlottergetijmeter) aan de wal worden geregistreerd op dubbel Seframpapier.

Het meetelement voor het meten van de windrichting bestaat uit een windvaan, die voorzien is van een hoekstand-digitalisator; de digitalisator omvat 64 verschillende niveaus bij 360° verdraaiing. Iedere sector van ca. 6° heeft een code.

Afhankelijk van de windrichting bevindt de windvaan zich op een zeker moment in een bepaalde stand, dus binnen een van de 64 sectoren. Een keer per 12 seconden wordt nu de code van de windvaan bepaald en radiografisch naar de ontvangstapparatuur aan de wal overgebracht. Aangetekend zij hierbij, dat het overbrengen van de code 12 seconden duurt.

Gedurende een periode van 5 minuten wordt de windrichting derhalve 25x bepaald. Vanwege storingen van diverse aard kunnen een aantal ontvangen waarden onjuist zijn. In de ontvangstapparatuur wordt nu een selectie gemaakt tussengoede en foutieve informatie. De juiste informatie wordt in een geheugen opgeslagen. Bij ontvangst van de volgende juiste informatie komt de voorgaande te vervallen. De laatst ontvangen goede informatie blijft gehandhaafd als er daarna foutieve informatie binnenkomt om evenwel weer te vervallen bij binnenkomst van een volgende juiste informatie. Hiermede wordt bereikt, dat aan het einde van elke periode van 5 minuten een goede informatie beschikbaar is, die alsdan wordt overgebracht naar een volgend geheugen. De hoekwaarde (= windrichting) uit dit laatste geheugen is gedurende de daarop volgende periode van 5 minuten af te lezen op de paneelmeter en wordt tevens op de ene helft van het dubbele Seframpapier geregistreerd.

De windsnelheid wordt gemeten met een cupmolen. Deze molen bevat een wisselspanningsgenerator, waarvan de afgegeven frequentie recht evenredig met het toerental en vrijwel recht evenredig met de windsnelheid is. Deze frequentie wordt na deling als aan/uit modulatie op een vaste laagfrequente subdraaggolf uitgezonden. De meetgegevens van de windsnelheid worden continu met behulp van de aan/uit gemoduleerde subdraaggolffrequentie uitgezonden. Het aantal aan/uit signalen, dat per tijdseenheid afhankelijk is van de optredende windsnelheid, wordt gedurende 5 minuten geteld in een teller. Na 5 minuten wordt de teller stopgezet en het aantal signalen naar een geheugen overgebracht.

Na overdracht van de inhoud van de teller aan het geheugen wordt de teller automatisch op nul gezet om vervolgens weer 5 minuten lang het aantal aan/uit signalen te tellen.

In het geheugen is inmiddels het ontvangen aantal signalen aan/uit, dat in 5 minuten is geteld, vermenigvuldigd met een vaste factor, waardoor de gemiddelde windsnelheid over die 5 minuten - uitgedrukt in mijlen/uur - wordt verkregen. Deze gemiddelde windsnelheid wordt gedurende de volgende 5 minuten op de paneelmeter weergegeven en tevens, evenals de windrichting doch op de andere helft van het Seframpapier, geregistreerd.

## 6. GOLFMEETOPSTELLINGEN.

### 6.1 Algemeen.

Het ontwerp en de uitvoering van de vele werken langs de Nederlandse kust betekende, dat jarenlang op meerdere plaatsen gegevens omtrent de optredende golfbeweging verzameld zouden moeten worden. De ontwikkelde golfmeetinstrumenten boden intussen de mogelijkheid om de golfbeweging in een bepaalde positie continu te meten. De meetopstellingen voor deze meetinstrumenten zouden uiteraard bedrijfszeker moeten zijn, waarom gekozen werd voor vaste meetopstellingen.

Bodemfiguratie en getijbeweging in de zeegaten en langs de kust deden naast praktische overwegingen besluiten om de meetopstellingen te plaatsen nabij de dieptelijnen van 5 m- N.A.P. en 10 m- N.A.P.

De meetopstellingen moesten zodanig ontworpen worden, dat:

- er voldoende ruimte aanwezig is voor het bevestigen van meetinstrumenten en additionele apparatuur.
- de waterbeweging nauwelijks beïnvloed wordt door de meetopstelling.
- de door de waterbeweging uitgeoefende krachten (ook onder extreme omstandigheden) kunnen worden weerstaan.

Voor de meetopstellingen nabij de dieptelijn van 10 m- N.A.P. werden de extreme omstandigheden volgens de laatste ontwerpeis nog nader gespecificeerd. Deze meetopstellingen zouden namelijk tijdens een zware storm weerstand moeten bieden aan golfkrachten, waarvoor maatgevend is een golf van 8 m hoogte met een periode van 10 sec. bij een waterstand van 4 m+ N.A.P. De overschrijdingsfrequentie van deze waterstand bedraagt 1x/400 jaar.

Op basis van deze eisen werden een drietal typen golfmeetopstellingen ontworpen, die alle gebaseerd zijn op de "paal"-vorm. Aanvullend werd daarbij de eis gesteld, dat de meetpaal nog weerstand moet kunnen bieden aan golfkrachten, indien rond de paal een bodemverdieping ter grootte van 2x de paaldiameter optreedt.

De ontworpen typen golfmeetpaal zijn:

- "Katwijk"-paal
- "Haringvliet"-paal
- "Oosterschelde"-paal.

Om onnodig risico te vermijden zijn de meetpalen uitsluitend bestemd voor plaatsing buiten bestaande officiële en betonde vaarroutes.

### 6.2 De "Katwijk"-paal.

De "Katwijk"-paal werd ontworpen voor plaatsing voor de kust op 10 m- N.A.P. Bij het ontwerp van de meetpaal is gekozen voor het onderbrengen van de vlotterbuizen van de meetinstrumenten in het inwendige van de paal. Voor de bediening en registratie van de meetinstrumenten werd op de paal een plaatstalen huisje bevestigd.

De paal, een buis van staal 52 met inwendige diameter van 100 cm en een wanddikte van 15 mm, bestaat uit twee delen. De lengten van het onderste en bovenste deel zijn resp. 26,3 en 7,7 m.

Van het "Katwijk"-type zijn twee palen vervaardigd. De eerste paal werd in oktober 1957 geplaatst voor de kust te Katwijk. Daar werd de paal op grond van grondmechanische berekeningen over 40% van zijn lengte in de bodem ingespoten. Westelijk van Schouwen werd de tweede paal geplaatst. Na bezwijken is deze paal vervangen door een verbeterd type "Oosterschelde"-paal. In de praktijk bleek de



"Katwijk"-paal namelijk een aantal nadelen te hebben. Deze nadelen zijn: de meetpaal is ingewikkeld van constructie, de aangroei van mossels, zeepokken, e.d. in de vlotterbuizen is moeilijk te verwijderen, de meetpaal is duur in aanmaak en is moeilijk aan te passen aan ontwikkelingen op instrumenteel gebied. Het voordeel van de bediening en registratie van de meetinstrumenten in een huisje op de paal weegt hier niet tegen op.

Uit dien hoofde blijft in deze verhandeling een nadere bespreking van de onderdelen van de "Katwijk"-paal achterwege.

### 6.3 De "Haringvliet"- en "Oosterschelde"-paal.

De "Haringvliet"- en "Oosterschelde"-palen zijn ontworpen voor plaatsing op 5 m- N.A.P. in de zeegaten en in de Waddenzee.

Bij deze typen meetpaal worden de vlotterbuizen van de meetinstrumenten - zulks in tegenstelling met de "Katwijk"-paal - aan de buitenkant van de meetpalen bevestigd. Voor de bediening en registratie is op de meetpaal een - open - bordes bevestigd, dat te bereiken is via aan de paal gelaste klimijzers. De palen worden vervaardigd van staal 42.

Principieel zijn beide typen golfmeetpaal aan elkaar gelijk. De aanwezige verschillen zijn in feite terug te voeren tot het onderscheid in getijbeweging. In de mond van de Oosterschelde treden namelijk grotere getijamplituden op; daar kunnen de golven dientengevolge ook hoger worden.

De "Oosterschelde"-paal is 4 m langer dan de "Haringvliet"-paal, die 2,5 m minder diep in de bodem is geplaatst. De "Oosterschelde"-paal wordt, evenals de "Katwijk"-paal, over 40% van de lengte in de bodem ingespoten.

Beide typen meetpaal bestaan uit twee gedeelten.

Het onderstuk bestaat uit een buis met een diameter van 610 mm, terwijl de wanddikte 10 à 12 mm bedraagt. Dit onderstuk is voor de "Haringvliet"-paal 13,5 m en voor de "Oosterschelde"-paal 17,5 m lang. De bovineinden zijn afgesloten met een flens, die na plaatsing bij de "Haringvliet"-paal tot 1.00 m+ N.A.P. en bij de "Oosterschelde"-paal tot 2.50 m+ N.A.P. reikt. Ten behoeve van het plaatsen van de meetpaal, hetgeen door middel van de z.g. "inspuitmethode" gebeurt, is de paal van het onderstuk uitgevoerd als viervlaks-punt met een gat van ca. 50 mm. Andere voorzieningen aan deze punt zijn een aantal gaatjes in de vlakken en op ieder vlak een staalplaatje, dat als schraper moet fungeren.

Het bovenstuk is voor beide typen golfmeetpaal gelijk. De lengte bedraagt 6,5 m. De onderzijde is afgesloten met een flens en bestaat daar eveneens uit een buis met diameter van 610 mm en wanddikte van 10 à 12 mm. Vanaf de onderzijde vindt over ca. 1.50 m een verjonging van de buis plaats van 610 mm naar 355 mm. Ook het bovineinde van het bovenstuk is afgesloten.

De onderkant van het bordes bevindt zich bij de "Haringvliet"-paal op 7.50 m+ N.A.P. en bij de "Oosterschelde"-paal op 9.00 m+ N.A.P.

De eerste meetpalen volgens deze typen waren in 1956 op verschillende plaatsen in de zeegaten in Z.W.-Nederland in bedrijf. In de beginjaren waren deze meetpalen alleen uitgerust met een Ott-getijschrijver en een golfamplitudeschrijver. Na 1960 werden steeds meer meetpalen bovendien voorzien van een elektrische stappenbaak. Sedert 1969 is het meetinstrumentarium van enkele meetpalen uitgebreid met een vlottergetijmeter met radiografische overdracht. Op twee meetpalen werd in 1972 tenslotte een registrerende windmeter geplaatst.

De behoefte aan meetgegevens van golven, die minder gestoord zijn dan vlak onder de kust of in de zeegaten, was oorzaak, dat de meetpalen volgens het "Haringvliet"- en "Oosterschelde"-type steeds verder zeewaarts werden geplaatst. Dit gebeurde niet ongestraft. Meer dan eens bezweek een meetpaal tijdens zware storm. Het behoeft dan ook nauwelijks enig betoog, dat de beide typen meetpaal - waarmee zulke goede ervaringen zijn verkregen - verder ontwikkeld en aangepast werden om dienst te doen in deze meer geëxponeerde posities.

#### 6.4 Nadere beschrijving van de golfmeetpalen.

De golfmeetpalen bestaan uit 2 delen: een onderstuk en een bovenstuk. Het onderstuk heeft aan het bovendinde en het bovenstuk aan het onderdinde een flens. Boven- en onderstuk worden aan elkaar verbonden door de beide flenzen met bouten aan elkaar te bevestigen. Deze bouten worden met het oog op de vereiste sterkte tegenwoordig van roestvrij staal gemaakt.

Het bovenstuk, waarop zich een bordes met lichtopstand bevindt, wordt gebruikt als gashouder. Voor dit doel is het bovenstuk aan boven- en onderzijde gasdicht afgesloten. Via een opening met afsluiter kan deze "gashouder" aan de bovenzijde met gas worden gevuld. Het gas - propaangas - dient als brandstof voor de verlichting van de meetpaal. Deze verlichting bestaat uit een iso-groen rondschildend licht met periode van 4 seconden (2 sec. licht, 2 sec. duister), dat bij donkere nacht en heldere hemel op een afstand van 5 zeemijlen zichtbaar moet zijn.

Het bordes heeft een straal van 1 m; daarop bevindt zich de registratie-apparatuur van de Ott-getijschrijver en van de golfamplitudeschrijver. Tevens biedt het bordes plaats aan de electronicakast van de elektrische stappenbaak, de accukast van de zender en de opstelling van de antenne. De vloer van het bordes is als rooster uitgevoerd; boven de klimijzers aan de paal bevindt zich hierin een opklapbaar gedeelte.

Het onderstuk is aan het bovendinde door een schotje onder de flens luchtdicht afgesloten. In de buiswand daaronder is de aansluiting voor het aankoppelen van een waterslang ten behoeve van het plaatsen en verwijderen van de meetpaal.

Aan dit onderstuk is op ca. 3 m - N.A.P. een korte buisaansluiting gemaakt voor de verbinding met de vlotterbuis van een getijmeter. Indien twee typen getijmeters aan de meetpaal worden bevestigd zijn twee afzonderlijke buisaansluitingen noodzakelijk. Onderstuk en vlotterbuis (vlotterbuizen) moeten na plaatsing van de meetpaal als communicerende vaten kunnen werken. Om dit te bewerkstelligen is tevens nog een regelbare afsluiter voor de watertoevoer op gelijke hoogte als de buisaansluiting(en), doch aan de andere kant van de paal gemaakt. Het doel van de afsluiter is om binnen de meetpaal zonder vertragingseffect een zelfde waterstand te creëren als daarbuiten, waarbij echter de snelle waterstandsfluctuaties door de windgolven veroorzaakt worden geëlimineerd. De afsluiter kan aan de bovenzijde van de, aan de meetpaal bevestigde, trap door een draadstang worden geregeld. De draadstang bevindt zich tussen meetpaal en trap. Deze trap, gevat in zware drijfhouten, reikt vanaf de flensverbinding van boven- en onderstuk tot 2.50 à 4.00 m daaronder.

Tenslotte is aan het onderstuk een z.g. blauwe peilschaal bevestigd. Het doel hiervan is tweeledig: de peilschaal wordt gebruikt tijdens het plaatsen van de meetpaal en nadien voor de uitvoering van waterstandsmetingen bij vlakke zee ter periodieke contrôle op de getijregistratie.

De vlotterbuizen van de getijschrijver(s) en van de golfamplitude-schrijver worden met ringvormige plaatflenzen aan de meetpaal bevestigd; de vlotterbuis van de golfamplitudeschrijver heeft - uiteraard - geen aansluiting met het inwendige van de meetpaal zoals de vlotterbuis van de getijschrijver(s) via de hiervoor vermelde buisaansluiting (en).

De elektrische stappenbaak wordt opgespannen in een driehoekige buisconstructie, die eveneens via de ringvormige plaatflenzen met de meetpaal wordt verbonden. Behalve deze constructieve functie heeft de driehoekstelling de functie om de baak tegen drijfhout e.d. te beschermen.

#### 6.5 Ontwikkelingen.

Het steeds verder zeewaarts plaatsen van de meetpalen met de in omvang toegenomen instrumentele uitrusting leverde ook een groter risico op voor de meetopstellingen.

Het gevolg hiervan was, dat meer dan eens een meetpaal van het oorspronkelijke "Haringvliet"- of "Oosterschelde"-type bezweek.

Behalve dat een meetopstelling een enkele maal werd aangevaren (vissersvaartuigen; aannemersmaterieel) of bezweek door ijsgang, werd het omgaan van een meetpaal meestal veroorzaakt door zware golfbeweging.

Tijdens de berging bleek steeds opnieuw, dat de betreffende meetpaal op bodemhoogte was omgeknikt. Gelukkig gingen niet alle meetpalen om en zo werd enkele malen achtereen, steeds na een storm, op enige "Haringvliet"-paal geconstateerd, dat de accukisten op het bordes van hun plaats waren gesmeten. Kennelijk hadden extreem hoge golven hierop vat gehad.

Uit het voorgaande blijkt, dat de meetpalen een tweetal kwetsbare punten hebben t.w.:

- het knikpunt ter hoogte van de bodem
- de hoogte van het bordes t.o.v. N.A.P.

Het knikpunt nabij de bodem baarde de meeste zorg. Om de meetpaal daar te versterken werden bij de bestaande palen aanvankelijk, regelmatig over de paalomtrek verdeeld 6 m lange strippen aangebracht. Dit gebeurde bij de "Haringvliet"-palen tussen 3 en 9 m uit de paalpunt. Deze constructief niet fraaie oplossing droeg slechts een voorlopig karakter. Naderhand kregen de betreffende meetpalen een nieuw onderstuk met een diameter van 80 cm en een wanddikte van 15/16 mm. Over een hoogte van 2 m ter weerszijden van het knikpunt is de buiswand verdikt tot 25 mm. Deze plaatselijke wandverdikking bevindt zich aan de binnenkant zodat de paal aan de buitenzijde glad blijft. Boven deze wandverdikking verjongt de paal zich weer tot een diameter van 60 cm bij een wanddikte van 10-12 mm.

Het bordes dient zo hoog op de meetpaal bevestigd te zijn, dat de onderkant gelegen is boven de hoogste golftop, die bij een extreme waterstand tijdens zware storm kan optreden. Nu gebleken is, dat de golven in enkele aantoonbare gevallen hoger reikten dan de onderkant van het bordes aan een "Haringvliet"-paal, bestaat het voornemen om het bordes in de toekomst op dezelfde hoogte aan te brengen als bij de "Oosterschelde"-paal.

Het gevolg van het hoger plaatsen van het - onderste - bordes en de toevoeging van een tweede bordes is, dat de meetpaal langer moet worden. Voor de vereiste lengte van de meetpaal geldt immers, dat de bodemdiepte beneden N.A.P. in de meetpositie bepalend is als-



mede de voorwaarden, dat de meetpaal voor tenminste een derde deel van de lengte in de bodem moet worden geplaatst en de onderkant van het - onderste - bordes bij de hoogste maatgevende waterstand boven de hoogste golftop (brekerhoogte) moet liggen.

In één geval heeft dit er inmiddels al toe geleid, dat door de aanwezigheid van een kleilaag in de diepere ondergrond een nog te plaatsen meetpaal niet meer kan worden ingespoten, doch ter plaatse moet worden ingeheid. De constructie van het onderstuk van de meetpaal is daarvoor aangepast; in hoeverre deze aan de gestelde verwachtingen zal beantwoorden, moet nog worden afgewacht.

## 7. DE PLAATSING VAN EEN GOLFMEETPAAL.

De plaatsing van een golfmeetpaal vanaf een drijvende bok is een langdurige operatie, waarvoor rustige water- en weersomstandigheden een eerste vereiste zijn. In de meetpositie dient de bodemligging in evenwicht te zijn, opdat de standzekerheid van de meetpaal na plaatsing gewaarborgd is. Voor het plaatsen van een meetpaal is een groot improvisatievermogen vereist, daar elke plaatsing weer anders verloopt dan de voorgaande.

Bij gunstige weersomstandigheden en golfhoogten kleiner dan 50 cm wordt bij het aanbreken van de dag naar de meetpositie vertrokken. Vanaf de wal of vanaf een bak in stil water wordt de meetpaal - zonder bovenste bordes - in de stelling van de bok gehangen en geborgd met kruisdraden. Voordien zijn reeds de vlotterbuizen en de driehoekstelling met ingespannen elektrische stappenbaak aan de meetpaal bevestigd en de waterslang aan het onderstuk van de meetpaal gekoppeld.

Een sleepboot sleept de bok naar de plaats van bestemming onder begeleiding van een Decca-vlet. Zodoende is de sleep bij plotseling slecht zicht (mist, regen, sneeuwval) verzekerd van goede navigatie, daar dit vaartuig is uitgerust met Decca-plaatsbepalingsapparatuur. Bij aankomst markeert de Decca-vlet de meetpositie door het uitgooien van een boeitje, waaraan een anker is bevestigd met een staaldraad, dat enkele meters langer is dan de waterdiepte. Ter plaatse wordt de bok verankerd op voor-, zij- en achterankers. Na verwijdering van de borg wordt de bok met behulp van de uitstaande ankers verhaald, zodat de meetpaal boven de meetpositie komt te hangen.

Het inspuiten van de meetpaal kan dan beginnen. Na aansluiting van de waterslang wordt de pomp met 6-8 ato in werking gesteld; de meetpaal fungeert daarop als enorme spuitlans. De geconcentreerde waterstraal woelt het zand los en de meetpaal zakt door het eigen gewicht in de bodem. Afhankelijk van de samenstelling van de grond verloopt het plaatsen snel of langzaam. Zand vormt geen probleem, doch klei- of schelpenlaagjes kunnen het inspuiten bemoeilijken. In dat geval is het noodzakelijk om de paal om zijn lengteas te draaien, zodat de stalen schrapers aan de paalpunt hun werk kunnen doen.

Opgemerkt zij dat voor het geval de pomp onverhoopt afslaat, de meetpaal onmiddellijk omhoog getrokken moet worden.

De meetpaal wordt ingespoten tot de vooraf bepaalde diepte. Deze is af te lezen aan de blauwe peilschaal, nadat de benaderde plaatselijke waterstand per mobilfoon aan enige waarnemingspost aan de kust is opgevraagd.

Eenmaal op diepte moet de meetpaal vertikaal gesteld worden. Daarvoor wordt de meetpaal in de stelling van de bok gehouden, terwijl de spuitlans in werking blijft. Op het oog wordt de paal op haar verticale stand gecontroleerd vanuit 2 loodrecht op elkaar staande richtingen vanaf de bok en vanaf de Decca-vlet. Het stellen zelf ge-

schiedt door het verhalen van de bok op haar ankers.

Na het vertikaal stellen wordt de pomp buiten werking gesteld en de waterslang afgekoppeld, waarna de paal wordt losgemaakt van de stelling op de bok. Vervolgens vindt het inrichten van de meetpaal plaats. Na montage van het bovenste bordes wordt de lichtopstand aangebracht en de verlichting ontstoken door aansluiting op een meegebrachte gasfles. Tevens worden de antennes gemonteerd en de accukisten geplaatst voor de meetinstrumenten met radiografische overdracht.

Het vullen van het bovenstuk van de meetpaal met gas en het aanbrengen van de overige instrumentele uitrusting geschiedt op een later tijdstip.

Tenslotte vindt de voorlopige inmeting van de meetpaal plaats met de sextant; bij slecht zicht wordt de positie in Decca-coördinaten bepaald.

Ter informatie aan belanghebbenden i.c. de scheepvaart, wordt de plaatsing van de meetpaal via de Afdeling Hydrografie van het Ministerie van Defensie (Marine) melding gedaan in de "Berichten aan Zeevarenden".

## 8. HET WATERPASSEN EN INMETEN VAN EEN GOLFMEETPAAL.

Na plaatsing voor de kust of in de zeegaten dienen de meetgegevens, die met de golf- en getijmeetinstrumenten aan de golfmeetpaal worden verkregen, vergelijkbaar te zijn met de overeenkomstige meetgegevens aan de kust. Daarvoor is het noodzakelijk, dat het nulpunt van de meer genoemde blauwe peilschaal wordt gerelateerd aan het N.A.P., het in Nederland gebezigde niveauvlak. Hiervoor is een waterpassing noodzakelijk.

Daarnaast dient nog de positie van de meetpaal nauwkeurig te worden ingemeten.

De waterpassing zou in principe kunnen plaatsvinden volgens de methode van de "optische overgang". Dit is evenwel onmogelijk, omdat een golfmeetpaal bepaald geen ideale opstelling biedt voor een gevoelig waterpasinstrument. Uit dien hoofde moest naar een andere mogelijkheid worden omgezien, die gevonden is in de methode van de hydrostatische waterpassing. Hierbij wordt gebruik gemaakt van twee kleine stukjes van een niveauvlak, gerealiseerd door de vloeistofspiegel in een systeem van communicerende vaten.

De praktische uitvoering van deze methode werd ontwikkeld door de Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat. De grootste moeilijkheid van de Hydrostatische methode is om een geheel met vloeistof gevulde buis van voldoende lengte te krijgen. Voortbouwend op het werk van de Deense hoogleraar Nørlund werd gekozen voor een af te zinken loden buis met een inwendige diameter van 10 mm en een wanddikte van 3 mm, gevuld met water. Deze buis werd voorzien van een staaldraadwapening, waardoor de treksterkte werd opgevoerd tot 3500 kgf. De uitwendige diameter van de gewapende loden buizen bedraagt 32 mm en het gewicht is 3 kg/m'; aan beide einden van de buis is een afsluiter gemonteerd. In de fabriek wordt de buis voor de aflevering gevuld met gekookt, gedestilleerd water, waarna de vulling wordt beproefd op de aanwezigheid van luchtbellens. Bij buizen van zo geringe doorsnede kan een kleine luchtbel reeds een verstoring van de communicatie in de vloeistofmassa veroorzaken en het resultaat van de latere metingen waardevoos maken. De eenmaal gevulde buis moet zeer zorgvuldig worden behandeld teneinde het toetreden van lucht te voorkomen; aldus kan de

gevulde buis voor vele metingen dienst doen.

Momenteel is het mogelijk om met 3 aan elkaar te koppelen buizen een lengte van 7 km te bereiken. Deze combinatie van drie buizen weegt ca. 20 ton.

Het uitleggen van de zware buizen wordt verzorgd door het kabelschip van de P.T.T. Als de buis eenmaal tussen wal en golfmeetpaal is uitgelegd, worden beide uiteinden ongeveer even hoog vastgemaakt en van peilglazen en meetlatjes voorzien. Het landstation wordt gevormd door een demontabele steiger op de laagwaterlijn teneinde met het peilglas - evenals aan de golfmeetpaal - op enige hoogte boven de golven te komen; bovendien wordt hiermede bereikt, dat de buis over de gehele lengte in het water ligt en niet bijv. over een paar honderd meter op het strand aan de zonnestraling is blootgesteld.

De meting wordt begonnen met een z.g. slingerproef. Hierbij wordt bij gesloten afsluiter één van de peilglazen geheel gevuld, terwijl de waterstand in het andere zo laag mogelijk wordt ingesteld. Na het openen van de afsluiter zal het systeem naar de evenwichtstoestand bewegen; deze beweging verloopt bij de gekozen afmetingen van buizen en peilglazen logaritmisch in een tijd, afhankelijk van de buislengte, van 5 à 20 minuten.

Nadat de evenwichtstoestand is bereikt, worden de peilglazen om de 10 minuten gelijktijdig afgelezen. Bij voorkeur geschiedt dit gedurende de gehele getijperiode om systematische invloeden van het getij te kunnen elimineren. Regelmatig wordt de luchtdruk op beide stations gemeten en, zo mogelijk, de watertemperaturen langs het tracé van de buis. Halverwege de meting wordt het evenwicht verbroken door een slingerproef in de richting tegengesteld aan de eerste; op deze wijze wordt zekerheid verkregen over de goede werking van het systeem. Na beëindiging van de meting worden de afsluiters gesloten en de meetopstelling gedemonteerd; de buis wordt weer opgenomen door het kabelschip.

Het bepalen van de positie van de golfmeetpaal geschiedt met behulp van een theodoliet vanaf de kust volgens de methode van de voorwaartse insnijding.

## 9. BEDIENING VAN MEET- EN REGISTRATIEAPPARATUUR OP EEN GOLFMEETPAAL.

De golfmeetpalen dienen regelmatig bezocht te worden om de meet- en registratieapparatuur te bedienen en te controleren op hun goede werking. Zo nodig kunnen kleine storingen gelijktijdig worden opgeheven. Vitale onderdelen van het meetinstrumentarium moeten periodiek ontdaan worden van aangroei (zeewier, mosselen, zeepokken). Na ieder bezoek moeten de bescherm- en/of instrumentkasten weer goed zijn afgesloten.

Uiteraard dienen de meetpalen direct na een storm te worden geïnspecteerd om eventuele kleine reparaties te verrichten.

Normaal vindt het bezoek aan een meetpaal door weersomstandigheden en beschikbaarheid van een vaartuig eenmaal per 10 dagen plaats.

Gedurende een bezoek aan een golfmeetpaal dienen de volgende werkzaamheden te worden verricht.

De treden van de trap alsmede de blauwe peilschaal worden van aangroei ontdaan.

De verlichting, noodzakelijk voor het behoud van een meetpaal, wordt gecontroleerd op haar werking. Brandt het licht niet, dan kan de gasvoorraad zijn uitgeput of de vlam zijn uitgewaaid; dit laatste



blijkt uit het nog tikken van het tijdmechanisme.

De vaan van de windmeter wordt op vaste punten gericht om deze richtingen naderhand te vergelijken met de gelijktijdige registratie aan de wal.

Bij de golfamplitudeschrijver wordt een tijdmarkering - datum en tijdstip controle - op het registratiepapier aangebracht onder gelijktijdige vermelding van meetpaal- en instrumentnummer. Ter bewerking van de meetgegevens wordt de registratiestrook na 4 à 6 weken uit het instrument gehaald. De achterblijvende strook moet voldoende zijn voor ca. 1 maand registratie; is dit niet het geval, dan wordt een nieuwe registratiestrook opgezet. Zowel op de verwijderde- als de achterblijvende registratiestrook wordt de reeds vermelde tijdmarkering aangebracht. Voorts wordt gecontroleerd of de vlotter zich vrij - op en neer - kan bewegen in de vlotterbuis. Een eventueel gebroken vlotterdraad kan zonder veel moeite onmiddellijk door een nieuwe worden vervangen. De gleuven van de vlotterbuis worden zo nodig ontdaan van aangroei.

Bij de Ott-getijmeter wordt een tijdsein op het registratiepapier verkregen door het vlotterwiel ca. een kwartslag heen en weer te bewegen. Dit kunstmatig aangebrachte merk op het registratiepapier wordt voorzien van een tijdmarkering. Voor het overige is de handelwijze met de registratiestrook dezelfde als bij de golfamplitudeschrijver. Vervolgens wordt het uurwerk voor het transport van het registratiepapier opgewonden. Ter controle op de getijregistratie dient de momentane registratie, waarop een hoogtecorrectie is toegepast, te worden vergeleken met de aflezing aan de blauwe peilschaal. De betreffende hoogtecorrectie wordt 2 à 3 maal per jaar bepaald uit de onderlinge vergelijking van de registratie van de Ott-getijmeter en het resultaat van een visuele meting van het verloop van het getij aan de blauwe peilschaal bij rustig weer gedurende een half getij.

Ten behoeve van de juiste werking van de getijmeter(s) wordt zonnig de afsluiter aan de meetpaal gangbaar gemaakt. Mocht dit niet gelukken, dan moet de afsluiter naderhand door een duiker worden schoongemaakt door de doorstroomopening door te steken. Gelijktijdig geschiedt dit met de buisaansluiting tussen meetpaal en vlotterbuis van de getijmeter.

De elektrische stappenbaak wordt van aangroei ontdaan. Eventueel verbogen elektroden van de "steeltjesbaak" worden rechtgebogen.

Eens per jaar wordt de directe omgeving van een meetpaal volgens sterraaien gelood. Uit de resultaten blijkt echter meestal, dat na een bodemverdieping ter grootte van  $1\frac{1}{2}$  à 2x de paaldiameter een evenwichtssituatie in de bodemligging rond de paal is ingetreden.

Na een storm worden eventueel losgeraakte delen opnieuw bevestigd. Soms is het zelfs nodig om de bevestigingspunten van de driehoekstelling aan de meetpaal opnieuw vast te lassen. Voor het geval een deuk in een vlotterbuis is ontstaan, wordt het betreffende buisgedeelte uitgebrand en een nieuw stuk wordt opgelast. Bij de Ott-getijmeter kan overigens het bovenstuk van de vlotterbuis betrekkelijk eenvoudig worden uitgewisseld.

De elektrische stappenbaak met ringvormige elektroden, de z.g. gladde baak, moet na een storm worden opgerekt. Bij ernstige beschadiging kan deze baak op eenvoudige wijze worden vervangen door een nieuwe. De uitwisseling van een z.g. "steeltjesbaak" moet echter met behulp van een drijvende bok gebeuren.

## 10. DE VERWIJDERING VAN EEN GOLFMEETPAAL.

De geplaatste golfmeetpalen kunnen na verloop van tijd om de volgende redenen verwijderd moeten worden:

- vervanging ten behoeve van revisie
- dreigende ijsgang
- verlies door storm, aanvaring of ijsgang.

Voor revisie dienen de golfmeetpalen periodiek, bijv. na 3 jaar, te worden vervangen. In de nabijheid van de te verwijderen meetpaal wordt de vervangende meetpaal op de reeds beschreven wijze geplaatst. Als de nieuwe meetpaal goed staat, wordt de verlichting en het instrumentarium van de te reviseren meetpaal overgeplaatst op de vervangende meetpaal. Tevens wordt het N.A.P.-peil van de oude naar de nieuwe meetpaal overgebracht met behulp van een waterpasslang.

De drijvende bok wordt vervolgens, ten anker gebracht nabij de te verwijderen meetpaal. Door het verhalen van de bok met behulp van de uitstaande ankers wordt de stelling nauwkeurig boven de meetpaal gebracht, waarna het bovineinde in de stelling kan worden aangepikt. Evenals bij de plaatsing wordt ook bij het trekken de meetpaal als spuitlans gebruikt. Na het aankoppelen van de waterslang en het in werking stellen van de pomp, maakt het onder druk uit de paalpunt uitstromende water de grond los, waardoor de meetpaal getrokken kan worden.

Wanneer de meetpaal geheel boven water is geheven, wordt deze tegen slingeren geborgd en kan het transport naar de constructiewerkplaats aanvangen. Pas bij aankomst aldaar, laat men het gas uit het bovenstuk van de meetpaal - de gashouder - ontsnappen.

Tijdens perioden van strenge vorst is het noodzakelijk om de golfmeetpalen, die door ijsgang bedreigd kunnen worden, tijdig te verwijderen om tijdelijk aan de wal op te slaan. Tegen de krachten van kruierend ijs is een golfmeetpaal namelijk niet bestand. Gevaar voor ijsgang bestaat in Nederland vooral in het mondingsgebied van de benedenrivieren en in de Waddenzee. Wanneer het gevaar voor ijsgang - in het voorjaar - geweken is, kunnen de meetpalen in hun oorspronkelijke posities worden herplaatst.

Vooraf door de versterking ter hoogte van het knikpunt is de standzekerheid van de meetpaal beter dan ooit gewaarborgd tegen de krachten, die de golven - ook tijdens zware stormen - er op uitoefenen. Deze krachten deden een meetpaal in het verleden meer dan eens omgaan, zoals dit thans nog een enkele maal door aanvaring of ijsgang gebeurt. De meetpaal knikt daarbij op bodemhoogte om en verdwijnt door het eigen gewicht en dat van de vlotterbuizen - veelal - geheel onder water.

Met name na aanvaring is de richting, waarin de meetpaal is omgegaan, niet bekend. Alvorens tot berging te kunnen overgaan, moet de ligging van de paal onder water door dreggen of loden worden vastgesteld. Is de meetpaal eenmaal opgespoord, dan kan het bergen beginnen. Vooreerst dient een duiker de verbinding tussen bok en meetpaal onder water te maken. Daar nu de mogelijkheid ontbreekt om de omgegane meetpaal als spuitlans te gebruiken, is veel meer hefvermogen nodig dan bij het normale trekken. In een dergelijk geval is het dan ook geen uitzondering, dat de assistentie van bergers c.q. een bok met groot hefvermogen moet worden ingeroepen.

## 11. HET KOSTENASPECT.

De voorgaande beschouwingen over de golfmeetopstellingen en de meetinstrumenten, die daaraan bevestigd kunnen worden, zijn niet volledig zonder behandeling van het kostenaspect.

De kosten, die met de vervaardiging, plaatsing, inmeting en hydrostatische waterpassing van een golfmeetpaal c.a. en de aanschaf van meetinstrumenten zijn gemoeid, zijn op basis van het prijspeil 1974 als volgt te specificeren:

vervaardiging meetpaal c.a.	
- bovenstuk (inclusief bordessen, lichtopstand, e.d.)	f 12.000,--
- onderstuk (inclusief trapje, plugafsluiter, e.d.)	
voor plaatsing op 5 m- N.A.P.	f 28.000,--
voor plaatsing op 10 m- N.A.P.	f 35.000,--
- vlotterbuis voor golfamplitudeschrijver	f 3.000,--
- vlotterbuis voor Ott-getijschrijver	f 2.500,--
- driehoekstelling voor elektrische stappenbaak	f 5.000,--
- vlotterbuis voor vlottergetijmeter	f 4.500,--
plaatsing (of: verwijdering) meetpaal	f 15.000,--
aanschaf instrumenten	
autonoom registrerend	
- golfamplitudeschrijver	f 13.000,--
- Ott-getijschrijver	f 2.000,--
met radiografische gegevensoverdracht (kosten inclusief zend-, ontvangst- en registratieapparatuur)	
- elektrische stappenbaak	
- steeltjesbaak	f 62.500,--
- gladde baak	f 65.500,--
- vlottergetijmeter	f 45.000,--
- windmeter	f 60.000,--
hydrostatische waterpassing en inmeting	f 25.000,--

De kosten van plaatsen van een golfmeetpaal zijn gebaseerd op het gebruik van de meetpaal als spuitlans. De kosten van de hydrostatische waterpassing zijn afhankelijk van het aantal dagen, dat hiermede gemoeid is. De vermelde kosten gelden voor de zeegaten in Z.W./Nederland; in het gebied van de Waddenzee belopen deze kosten echter al gauw f40.000,-- tot f 50.000,--

Met de vervaardiging, plaatsing, inmeting en hydrostatische waterpassing van een te plaatsen golfmeetpaal op 10 m- N.A.P., die wordt uitgerust met een windmeter, elektrische stappenbaak, vlottergetijmeter, golfamplitudeschrijver en Ott-getijschrijver is een bedrag van f 287.500,-- gemoeid. Wordt de meetpaal zonder windmeter resp. zonder meetinstrumenten met radiografische gegevensoverdracht uitgerust, dan bedragen de kosten f 227.500,-- resp. f 107.500,--.

Tegen de achtergrond van dit kostenaspect zal het antwoord op de vraag met welke meetinstrumenten een golfmeetpaal moet worden uitgerust altijd afhankelijk zijn van het doel, waarvoor de meetpaal wordt geplaatst en van het gebruik dat van de meetgegevens zal worden gemaakt.



12. TOEKOMST.

Sedert ruim 15 jaar zijn vaste golfmeetopstellingen in gebruik voor de uitvoering van continue golfmetingen langs de Nederlandse kust. In de achterliggende jaren zijn de meetopstellingen verder ontwikkeld voor een zeewaartse plaatsing tot op ca. 6 km uit de kust op een diepte van 10 m- N.A.P.

Nieuwe meetinstrumenten voor de continue meting van de wind-, golf- en getijbeweging met radiografische gegevensoverdracht werden ontwikkeld en kwamen beschikbaar voor operationeel gebruik.

De gunstige ervaringen met de vaste meetopstellingen en de grote mate van betrouwbaarheid van het meetinstrumentarium, gevoegd bij de toenemende behoefte aan informatie over de golf- en getijbeweging op zee buiten de directe invloed van de kust, zijn inmiddels aanleiding geworden voor een onderzoek naar de mogelijkheid om in de naaste toekomst enkele golfmeetopstellingen op een diepte van ca. 20 m- N.A.P. voor de kust te plaatsen.

---

Hellevoetsluis, 24 juni 1974.