

Survey



Inhoudsopgave

Symbolen en Afkortingen	44
1 Inleiding	45
2 Het belang van survey voor baggerwerkzaamheden	46
3 Landmeetkundige grondslag	46
3.1 Kaartprojecties	46
3.2 Referentievlakken	48
4 Horizontale plaatsbepaling	50
4.1 Optisch	50
4.1.1 Zichtraaien	50
4.1.2 Sextanten	50
4.1.3 Theodolieten	51
4.1.4 Rangefinders	52
4.1.5 Total stations (zelf volgend)	52
4.2 Radio plaatsbepalingssystemen	52
4.2.1 Algemeen	52
4.2.2 Hyperbolische systemen	54
4.2.3 Circulaire systemen	55
4.2.4 Polaire systemen	56
4.3 Satelliet plaatsbepaling	56
4.3.1 Global Positioning System (GPS)	56
4.3.2 Differential Global Positioning System (DGPS)	59
4.3.3 Real Time Kinematic (RTK)/On The Fly (OTF)	62
5 Onderwater plaatsbepaling	65
5.1 Long Base Line plaatsbepaling (LBL)	65
5.2 Short Base Line plaatsbepaling (SBL)	65
5.3 Ultra Short Base Line plaatsbepaling (USBL)	65
6 Andere sensoren	67
6.1 Gyrokompas	67
6.2 Hellingmeters	67
6.3 Hoekmeters	68
6.4 Drukopnemers	68
7 Dieptemetingen	69
7.1 Principe van dieptemetingen	69
7.2 Handlodingen	69
7.3 Echolodingen	69
7.3.1 Principe	69
7.3.2 Geluidssnelheid en kalibratie	70
7.3.3 Frequentie	71
7.3.4 Bundelbreedte	72
7.3.5 Invloed van scheepsbewegingen	73
7.3.6 Andere verstoringen	74
7.4 Slibdichtheden, nautische diepte	75
7.5 Side Scan Sonar	77
7.6 Sub-bottom profiling	78
7.7 Profilers	79
7.7.1 Mechanische profilers	79
7.7.2 Multibeam technieken	79
8 Referentievlak	82
8.1 Golven	82
8.2 Getij	83
8.3 Waterstandsregistratie	84

9	Gegevensverzameling en -verwerking	87
9.1	Handmatig	87
9.2	Geautomatiseerde peilsystemen	91
9.3	Presentatie- en registratievormen	91
9.4	Presentatie aan boord van baggerwerktuigen	93
9.5	Interactie met baggercomputers	93
9.6	Door klant of overheid opgelegde registratiesystemen	94
9.7	Koppeling van DP/DT systemen, snijkopautomaten en dergelijke met survey	94
10	Nauwkeurighedsbeschouwing survey	96
10.1	Belangrijkste foutenbronnen en de beperking hiervan	96
10.2	Wat is haalbaar en wat niet	98
10.3	Omgaan met marges	99
10.4	Communicatie met de klant, gevaar van toezeggingen, controles	99
		100
11	Peilvletten en surveyschepen	100
11.1	Verschillende soorten vletten en schepen	100
11.2	Het belang van de juiste keuze van schip en bemanning voor het werk	101
11.3	Inrichting en onderhoud van surveyvletten en schepen	101
	Trefwoorden	102
	Literatuurlijst	104
	Antwoorden	105

Symbolen en Afkortingen

symbool	omschrijving	eenheid
ATT	= Admiralty Tide Tables	
CD	= Chart Datum	
C-O	= Calculated minus Observed	
CTD	= Conductivity-Temperature-Depth	
DGPS	= Differential Global Positioning System	
DP	= Dynamic Positioning	
DT	= Dynamic Tracking	
ED50	= European Datum 1950	
EMS	= Environmental Monitoring System	
GDOP	= Geometric Dilution Of Position	
GLONASS	= Global Navigation System of Soviet Union	
GPS	= Global Positioning System	
GWS	= Ground Wave System	
HAT	= Highest Astronomical Tide	
HDOP	= Horizontal Dilution Of Position	
H_{max}	= maximale golfhoogte	(m)
H_s	= significante golfhoogte	(m)
INMARSAT	= International Maritime Satellite	
LAT	= Lowest Astronomical Tide	
LBL	= Long Base Line	
LLWS	= Laag Laag Water Spring	
LOS	= Line-of-Sight	
MHWN	= Mean High Water Neap	
MHWS	= Mean High Water Spring	
MLWN	= Mean Low Water Neap	
MLWS	= Mean Low Water Spring	
MSL	= Mean Sea Level	
MU	= Multi-user	
NAP	= Normaal Amsterdams Peil	
NAVSTAR	= Navigation by Satellite Timing And Ranging	
NN	= Normal Null	
OTF	= On-The-Fly	
PDOP	= Position Dilution Of Precision	
Rho-Theta	= Richting en afstand	
RMS	= Root Mean Square	
RMU	= Restricted Multi-user	
ROV	= Remote Operated Vehicle	
RTK	= Real Time Kinematic	
SA	= Selective Availability	
SBL	= Short Base Line	
SBP	= Sub Bottom Profiler	
SDS	= Surface Duct System	
SSS	= Side Scan Sonar	
SU	= Single User	
TDS	= Tonnen Droge Stof	
T_m	= gemiddelde golfperiode	(s)
TM	= Transversaal Mercator	
T_p	= piek-periode van een golfspectrum	(s)
USBL	= Ultra Short Base Line	
UTM	= Universele Transversale Mercator	
WGS84	= World Geodetic System 1984	
σ	= standaard deviatie	(°)

1 Inleiding

Survey is een Engels woord en betekent onder andere: onderzoek, overzicht, opmeting, kartering. Bij baggermaatschappijen is de surveyafdeling belast met het uitvoeren van alle hydrografische en landmeetkundige metingen en berekeningen.

Hydrografie is de beschrijving van de wateren van de aarde. Hydrografische metingen zijn dus metingen op, in en van het water. Hierbij moet gedacht worden aan opmeting ("kartering") van de onderwater bodem, meting van de waterstand, golven, getij, stromingen maar ook aan samenstelling van de bovenste bodemlagen, sedimenttransport en dergelijke. Al deze metingen worden gerelateerd aan vaste punten op het aardoppervlak en daar ligt dan meteen het raakvlak met de landmeetkunde of "geodesie". Het uitvoeren van deze metingen, maar ook het bepalen van de posities van de baggerwerktuigen op het aardoppervlak is één van de belangrijkste taken van "de survey".

Voor de uitvoerder is het uiteraard van groot belang enige kennis te hebben van de methoden en de apparatuur, die bij plaatsbepaling en dieptemeting worden gebruikt. Niet alleen de nauwkeurigheid van het te maken werk is van belang. In de meeste gevallen wordt het werk ook afgerekend op basis van "survey".

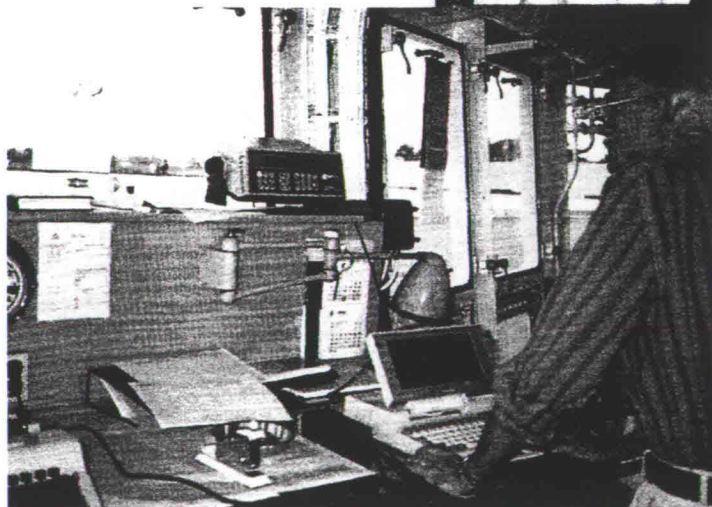
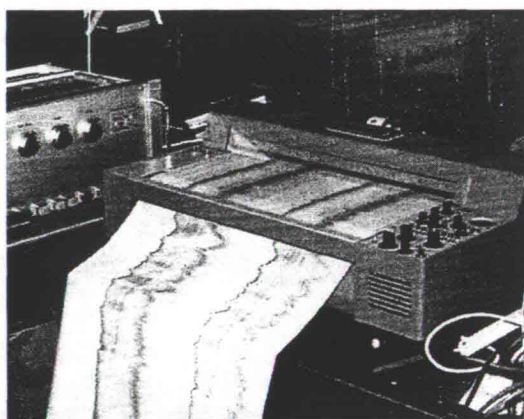
Doel

Na grondige bestudering van dit onderdeel wordt de cursist in staat geacht:

- de systemen van plaatsbepaling en dieptemetingen te begrijpen
- de resultaten van metingen te kunnen interpreteren en er conclusies aan te kunnen verbinden
- met survey-deskundigen te kunnen communiceren.

Oefeningen

De vragen na een hoofdstuk dienen om de kennis van de beschreven onderwerpen te testen. Tevens geven zij aan, welke de voornaamste punten van aandacht zijn.



2 Het belang van survey voor baggerwerkzaamheden

Om een baggerwerk voor te bereiden, uit te voeren, of om de werkwijze te analyseren en te kunnen verbeteren, is het verzamelen van basisgegevens een steeds belangrijker element geworden.

Bij het streven naar optimalisering van het baggerproces zijn een aantal ontwikkelingen in een stroomversnelling geraakt.

Zo ook bij de toepassing van surveymethoden en -meetapparatuur die door de snelle ontwikkelingen van met name microprocessoren een ware metamorfose hebben ondergaan. Enerzijds stelt de opdrachtgever steeds strengere eisen met betrekking tot toleranties, anderzijds wil de aannemer zijn steeds groter en duurder materieel zo efficiënt mogelijk inzetten.

De meest in het oog springende eisen die aanpassingen van zowel meet- en verwerkingsmethoden als surveyapparatuur tot gevolg hebben gehad zijn:

- De vereiste toleranties worden steeds kleiner.
- De hoeveelheid meetgegevens wordt steeds groter.
- De verwerkingstijd tussen opname en presentatie moet steeds korter worden.

De zeer snelle opeenvolging van routinehandelingen leent zich uitermate goed voor automatisering.

De snelle ontwikkelingen op electronicagebied gepaard aan de steeds lager wordende kosten ervan, hebben ook zorgwekkende kanten. Het feit dat de moderne

surveytechnieken in staat zijn de positie van een varende sleepopperzuiger met een nauwkeurigheid van enkele centimeters te bepalen, wil uiteraard niet zeggen dat deze nauwkeurigheid noodzakelijk is voor het uitvoeren van het werk. Het gebruik van "padloding" of "multibeam" technieken in plaats van traditionele echolodgingen geeft weliswaar veel en veel meer informatie, maar de vraag dient wel gesteld te worden of die extra informatie echt relevant is.

De vraag (terecht of onterecht) om toch de allermooiste technieken toe te passen kan, zowel van aannemers- als opdrachtgeverskant komen. Het is van groot belang dat goed ingeschat wordt welke surveymethoden nodig zijn voor bepaalde baggerwerkzaamheden. Dit kan zowel aannemer als opdrachtgever veel tijd en geld besparen. Om die reden zullen dan ook in dit deel "Survey" zowel de eenvoudige en traditionele als de meest moderne methoden en technieken besproken worden. De uitvoerder in het moderne baggerbedrijf dient zich bewust te zijn van de diverse mogelijkheden die de "Survey" kan bieden. Inzicht in de voor- en nadelen van de verschillende technieken en apparatuur is dan ook van wezenlijk belang om steeds, samen met de surveyor of de surveyafdeling, de goede afweging te kunnen maken.

Al deze nieuwe ontwikkelingen hebben tot gevolg, dat de "Survey"-werkzaamheden zijn uitgegroeid tot een specialisme, waarin gericht opgeleide hydrografische en geodetische surveyors en elektronici een steeds belangrijker rol spelen.

Om nu voor de andere vakdisciplines, en met name voor de "uitvoering", de aansluiting te bewaren, volgt deze uiteenzetting van de huidige surveymethoden.

3 Landmeetkundige grondslag

3.1 Kaartprojecties

(Strang van Hees: Globale en lokale geodetische systemen, 1993)

De aarde is bij benadering een bol en deze kan nooit zonder vervorming op een plat vlak worden afgebeeld. Daarom zijn veel verschillende projecties ontwikkeld om de bol in kaart te brengen, elk met bepaalde voor- en nadelen wat betreft de vervorming.

In de moderne satellietgeodesie, waarbij het gaat om netten die een groot deel van de aarde omspannen, rekent men dan ook ruimtelijk. Voor kleinere gebieden is het een groot rekenkundig voordeel om in het platte vlak te kunnen rekenen. De punten op de bolvormige aarde worden geprojecteerd naar het platte vlak. Ook de metingen van afstanden en hoeken worden gecorrigeerd voor de projectie, zodat men waarden krijgt alsof ze in het platte vlak gemeten waren. Daarna kan men

eenvoudig in het platte vlak bijvoorbeeld met driehoeksnetten rekenen. De Rijks Driehoeknet (R.D.)-coördinaten bijvoorbeeld zijn platte vlak coördinaten in de zogenaamde stereografische projectie. Als men uit Rijks Driehoeknet-coördinaten een afstand uitrekt, moet men niet vergeten deze platte vlak afstand weer terug te transformeren naar de bol of ellipsoïde om de werkelijke afstand te verkrijgen.

In de geodesie worden altijd conforme projecties gebruikt, die de eigenschap hebben dat een klein gebiedje gelijkvormig wordt afgebeeld in de kaart. Voor lokale metingen in een klein gebied kan men dan zelfs de correcties verwaarlozen en net doen alsof men in het platte vlak meet.

In het algemeen kan men de projecties verdelen in:

- 1 azimutale projecties, dat zijn projecties op het raakvlak aan de bol
- 2 kegelprojecties
- 3 cilinderprojecties, normaal en transversaal.

KAARTPROJECTIES

	KEGELPROJECTIES	CYLINDERPROJECTIES	AZIMUTALE PROJECTIES
Projectievlakken	Het projectievlak is een kegelmantel 	Het projectievlak is een cylindermantel 	Het projectievlak is een raakvlak
Ligging	Normale ligging 	Normale ligging Transversale ligging 	Normale ligging Transversale ligging Scheve ligging
Indeling naar eigenschappen	CONFORME PROJECTIES Hoeken veranderen niet Projectie van Lambert-Gauss	De loxodroom, d.i. de lijn op de aardbol die in elk punt dezelfde hoek met de N-Z richting maakt, is een rechte lijn. Daarom toepassing van deze projectie op kaarten voor de zeevaart. Mercatorprojectie --- Loxodroom: constante koers - - - Orthodroom: kortste verbinding	 Stereografische projectie Deze projectie wordt gebruikt voor de Ned. topografische kaarten
	EQUIVALENTE PROJECTIES Oppervlakten veranderen niet Equivalentente kegelprojectie	 Cylinderprojectie van Lambert	 Azimutale projectie van Lambert
	EQUIDISTANTE PROJECTIES Bepaalde afstanden veranderen niet Equidistante kegelprojectie Afstandsgetrouw op de meridianen en de raakparallel	 Kwadratische platkaart Afstandsgetrouw op de meridianen en de raakparallel	 Equidistante projectie In normale ligging afstandsgetrouw op de meridianen
Vervormde (gewijzigde) kegelprojecties Men kan zich van deze projecties een voorstelling maken door in plaats van een raakkegelmantel een snijkegelmantel als projectievlak te beschouwen. Er zijn dan twee ware parallellen. Van deze projecties komt de equidistante in de atlas veelvuldig voor. Afstandsgetrouw op de meridianen en twee parallellen Equidistante kegelprojectie met twee ware parallellen Schaal van de graadnetvoorbeelden 1 : 300.000.000	Onechte cylinderprojecties Van de projecties die in deze atlas gebruikt zijn, kan de volgende tot deze groep gerekend worden: Planisfeer van Hölzel TOELICHTING Waar mogelijk is naast het graadnetfiguurtje een eenvoudige constructietekening geplaatst, om een indruk te geven van het principe waarop de projectie berust. In werkelijkheid worden eerst de coördinaten van de snijpunten van parallellen en meridianen berekend, daarna het graadnet geconstrueerd. M = Middelpunt aardbol O = Projectiecentrum P = Snijpunt parallel - meridiaan A - A = Raakparallel; ware parallel B - B = Snijparallel; ware parallel Schaal van de graadnetvoorbeelden 1 : 400.000.000	 Centrale of gnomonische projectie Orthografische projectie De orthodroom, d.i. de kortste verbinding tussen twee punten, is een rechte lijn Schaal van de graadnetvoorbeelden 1 : 400.000.000	

3.1 Kaartprojecties, verslag van de Studiedagen 1968, Kartografische sectie van het Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap.

De bekendste conforme projecties zijn:

- stereografische projectie, gebruikt voor het Nederlandse Rijks Driehoeknet systeem, dit is een azimutale projectie
- Mercator-projectie, gebruikt voornamelijk voor zee-kaarten en landen in de buurt van de evenaar (cilinderprojectie)
- Lambert-kegelprojectie, gebruikt voor landen met een grote oost-west afstand en een kleine noord-zuid afstand, bijvoorbeeld België, Frankrijk, U.S.A.
- Transversale Mercator-projectie (TM). Dit is hetzelfde als de Mercator-projectie, maar nu is de raakcirkel van de cilinder niet de evenaar maar een gekozen meridiaan. Het land wordt in stroken verdeeld, die langs een meridiaan lopen, dus smal zijn in oost-west richting. Elke strook wordt volgens de TM-projectie afgebeeld in het platte vlak. Voorbeelden: Duitsland, Skandinavië (stroken van 3 graden breedte). Voor de gehele wereld wordt deze projectie ook gebruikt. Daarbij is de gehele aarde opgedeeld in zones van 6 graden breedte. Dit wordt de Universele TM-projectie (UTM) genoemd.

Aangezien verschillende landen hun eigen nationale coördinatensystemen hebben ontwikkeld, zal het duidelijk zijn dat langs de grenzen omrekeningen van het ene naar het andere systeem grote problemen opleverden. Daarom is in 1950 een Europees systeem geïntroduceerd (ED50) gebaseerd op de Internationale ellipsoïde uit 1930 en de UTM-projectie.

Door de komst van de satellietplaatsbepalingssystemen was een globaal systeem noodzakelijk geworden, dat zo goed mogelijk zou passen bij de aarde als geheel. Zo ontstond WGS72 en daarna WGS84 (World Geodetic System 1984).

De omrekening van coördinaten in het globale systeem naar het lokale systeem geeft de nodige problemen vanwege de verschillende meetgegevens en vereffeningen die gebruikt zijn. De omreken-parameters zijn dan ook per gebied verschillend, zodat ze goed passen in dat specifieke gebied. Als voorbeeld kan dienen dat de omrekening van ED50 naar WGS84 met verschillende parameters moet gebeuren voor bijvoorbeeld Nederland en Noorwegen.

Deze coördinatentransformaties behoren dan ook typisch tot het specialistische vakgebied van de surveyor.

3.2 Referentievlakken

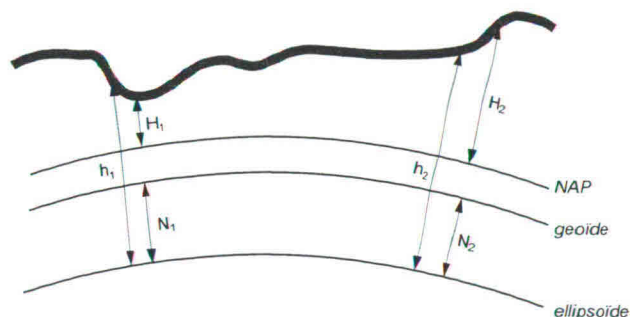
In Nederland wordt als referentievlak (hoogtesysteem) N.A.P. (Normaal Amsterdams Peil) toegepast. Hoogten worden overgebracht (hoogteverschillen gemeten) met behulp van waterpasinstrumenten. De waterpashoogten zijn de hoogten boven het vlak dat overal loodrecht op de zwaartekracht staat. Dit vlak, op gemiddeld zeeniveau, wordt de **geoïde** genoemd. Het NAP-vlak is evenwijdig aan de geoïde, maar valt er niet mee samen

omdat we niet precies weten hoeveel het zeeniveau in Amsterdam afwijkt van het gemiddeld zeeniveau over de gehele aarde.

Uit GPS-satelliet waarnemingen wordt ook een hoogte berekend. Daar GPS posities berekend worden aan de hand van satellietbanen, zijn de coördinaten ruimtelijke coördinaten ten opzichte van het massacentrum van de aarde. Door een ellipsoïde in te voeren kan een hoogte, h , boven de ellipsoïde berekend worden uit GPS.

Het verschil ($h-H$) tussen GPS en waterpashoogten is de hoogte van het NAP-vlak boven de ellipsoïde. Verder kan men uit zwaartekrachtmetingen de hoogte van de geoïde (N) boven de ellipsoïde berekenen. Het verschil tussen ($h-H$) en N is dan het verschil tussen NAP en geoïde. Voor het verschil in hoogte tussen twee punten geldt nu:

$$h_2 - h_1 = (H_2 - H_1) + (N_2 - N_1)$$



3.2 Het bepalen van hoogteverschillen

Het hoogteverschil ($h_2 - h_1$) volgt uit GPS.

Het hoogteverschil ($H_2 - H_1$) volgt uit waterpassing.

Het hoogteverschil ($N_2 - N_1$) volgt uit zwaartekracht.

Momenteel (1993) zijn de onnauwkeurigheden in GPS nog de grootste, een paar cm. Waterpassing is nauwkeurig op mm en geoïdeverschillen kunnen bij een goed dicht zwaartekrachtmetnet ook tot op 1 tot 2 cm per 10 km berekend worden.

De GPS-hoogten h worden berekend in het WGS84 systeem. Dat wil zeggen dat de geoïdehoogten ook in WGS84 berekend moeten worden. Meestal zijn de geoïdehoogten gegeven in een ander systeem, bijvoorbeeld ED50. Er moet dan getransformeerd worden van het lokale systeem naar WGS84.

Op zee valt de geoïde ongeveer samen met het zeeoppervlak (MSL), indien gecorrigeerd wordt voor getijden, zeestromen en temperatuurverschillen.

Zeediepten zoals op de Noordzee en de rivierdiepten worden niet ten opzichte van NAP weergegeven. Het zou gevaarlijk zijn voor de scheepvaart als de werkelijke waterdiepte kleiner zou zijn dan op de kaart is aangegeven. Daarom zijn de zeediepten op de kaart de minimale diepten die aangegeven zijn ten opzichte van

een referentievlak dat gedefinieerd is als: meerjarig gemiddelde van de laagste waterstand per maand bij springtij, dus laag laag water spring (LLWS). Dit referentievlak ligt in Nederland ongeveer 2,50 m beneden NAP, maar is verschillend voor verschillende plaatsen langs de kust.

In België is het nulvlak voor het hoogtesysteem vastgelegd aan de gemiddelde laagwaterstand in Oostende in 1958. Deze hoogte is 2,34 m beneden NAP, zodat alle hoogten in België 2,34 m groter zijn dan de Nederlandse hoogte voor hetzelfde punt.

In Duitsland is het hoogtenet oorspronkelijk afgeleid uit het NAP. Na een hervereffening in 1976 ligt het Duitse nulvlak, "Normal Null" (NN), slechts 2 cm boven het NAP vlak.

In andere landen heeft men ook eigen definities voor het nulvlak. Het is één van de taken van de survey om hoogten en posities zodanig om te rekenen en te transformeren dat het werk uitgevoerd en opgeleverd kan worden volgens de eisen van de opdrachtgever in het door hem gewenste lokale systeem, met inachtneming van de geldende conventies met betrekking tot waterdiepten enzovoort.

4 Horizontale plaatsbepaling

4.1 Optisch

4.1.1 Zichtraaien

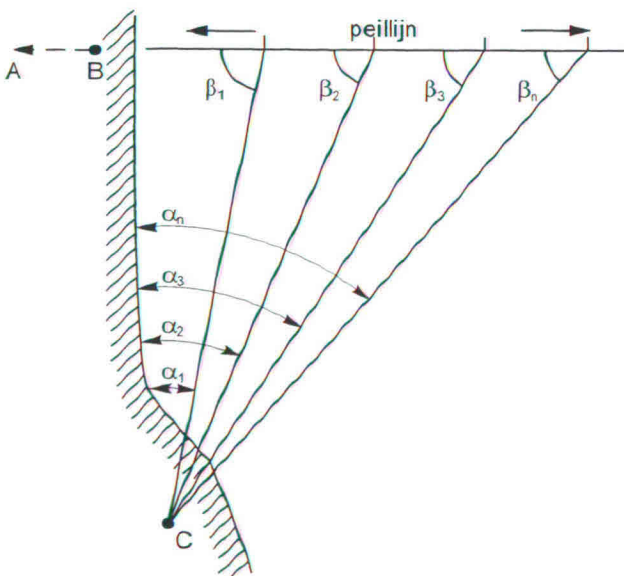
Het peilen met behulp van **zichtraaien** wordt nog vaak toegepast op kleinere baggerwerken en voornamelijk indien er sprake is van stationaire baggerwerktuigen zoals emmerbaggermolens, snijkopzuigers en dergelijke. Meestal zal hierbij een "werk-net" ("grid") worden opgezet en eventueel getransformeerd, om de vaarrichting parallel te laten lopen met X- of Y-as.

Deze parallelle lijnen worden dan gevaren met als richting twee in het verlengde van de peillijn opgestelde jalons of vlaggestokken, die dan de zogenaamde zicht-raai vormen.

Het vastleggen van de plaats op de lijn kan geschieden door dwarsraaien met een "fix"-afstand van bijvoorbeeld 25 m, of een andere vorm van afstandsmeting die de referentiepunten bepaalt in relatie met de afgelegde afstand.

Ook kunnen voorafbedeelde punten worden bepaald door middel van hoekmetingen van een sextant. Deze hoekmeting kan zijn ten opzichte van een bekend referentiepunt C, waarbij of de hoek vanaf de wal naar het vaartuig bepaald wordt:

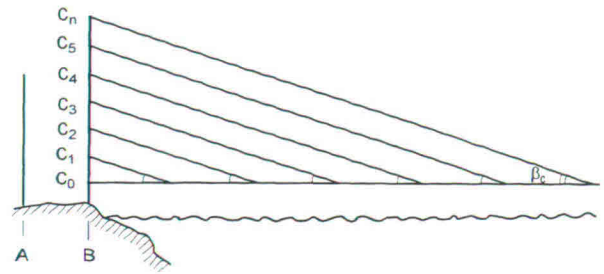
$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, of de hoek vanaf het vaartuig naar de referentie: $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$



4.1 Zichtraaimeting met sextant of theodoliet, horizontaal

Een variant op deze afstandbepaling door middel van hoekmeting is die waarbij een verdeelde "baak" verticaal als referentie dient:

Punt C bevindt zich nu resp. als $C_1, C_2, C_3 \dots C_n$ "boven" punt B, en de vaste hoek β_c is nu een maat voor de afstand in de lijn.



4.2 Zichtraaimeting verticaal, met sextant

Ook in dit geval zal de "vaste" hoekmeting kunnen geschieden door middel van een sextant.

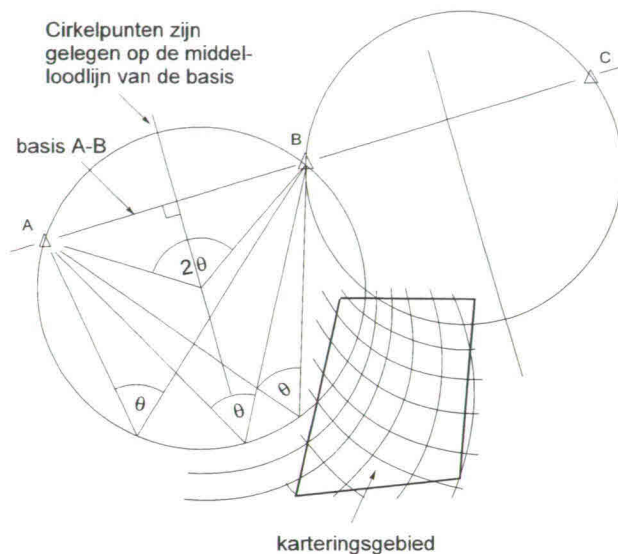
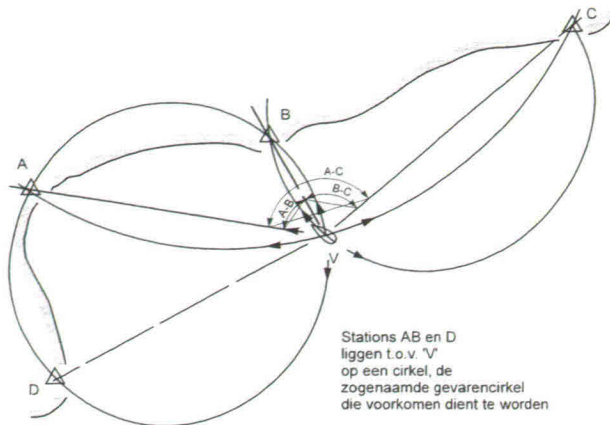
Duidelijk zal zijn dat deze methoden gebruikt kunnen worden indien de referentie hulpmiddelen gemakkelijk plaatsbaar zijn (havenkommen, kademuren) en indien geen grote nauwkeurigheid en snelheid wordt verlangd. Het zijn eenvoudig uit te voeren systemen maar zeer arbeidsintensief!

4.1.2 Sextanten

Twee hoeken naar tenminste drie richtpunten worden bij deze methode vanuit dezelfde (!) positie gemeten en via een **achterwaartse insnijding** kan deze positie rekenkundig worden herleid of grafisch worden weergegeven.

Een veel gebruikte methode is om dit grafisch te doen, waardoor verplaatsingen in de tijd op overzichtelijke wijze vastgelegd kunnen worden.

Zoals in figuur 4.3 te zien is, gaat het hierbij om snijdende cirkelbogen, waarbij telkens één punt correspondeert met zowel de hoek tussen het linker en het midden richtpunt, alsmede de hoek tussen het midden en het rechter punt, gezien vanuit de waarnemerspositie.



4.3 Sextant patronen

Eigenlijk is er nog een tweede punt dat hieraan voldoet, maar gezien de ligging aan de andere kant van de basislijn is deze "oplossing" niet relevant.

Om bijvoorbeeld een stationair baggerwerktuig van positiegegevens te voorzien, is dit een goed werkende methodiek.

Bij peilwerkzaamheden zal een extra vaarrichtingsindicatie nodig zijn om een werkbaar geheel te creëren; dit kan in de vorm van raaien, of vanuit een richtlijn aan de wal, waarbij met een theodoliet de vaarlijn aangegeven wordt.

In feite is dit een extra plaatsbepaling, die vooral op wat grotere afstanden uit de richtpunten een noodzakelijke nauwkeurighedsverbetering oplevert, waardoor deze methode tot 2 à 3 km afstand nog steeds goede resultaten kan geven.

Bepalend voor de haalbare nauwkeurigheid is de wijze waarop de communicatie tussen de personen (al gauw een stuk of vijf) onderling is geregeld!

Behalve van de afstand is de nauwkeurigheid van de

positie sterk afhankelijk van de snijdingshoek der cirkelbogen, een begrip dat bij alle vormen van plaatsbepaling van grote betekenis is.

Het plaatsbepalen met behulp van **sextant-boogpatronen** werkt uitstekend voor de stationaire baggerwerktuigen, maar men moet oppassen de nauwkeurigheden binnen gestelde limieten te houden, aangezien de nauwkeurigheid niet constant zal zijn voor het gehele werkgebied.

Voor peilwerk is dit een zeer arbeidsintensief systeem! Het bepalen van een referentiepositie voor het werktuig kan snel gebeuren met een geprogrammeerde zakrekenmachine, die onmiddellijk de X en Y van het referentiepunt uitrekent nadat de hoeken zijn ingevoerd. Het gebruik van sextantkaarten voor peilingen neemt daardoor steeds verder af.

De sextantkaarten zullen echter altijd onontbeerlijk blijven om snel en eenvoudig een onafhankelijke indruk te verkrijgen omtrent de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van andere gebruikte (modernere) plaatsbepalingssystemen.

4.1.3 Theodolieten

Een volgende stap naar het verbeteren van nauwkeurigheden vormt het gebruik van, meestal twee, theodolieten.

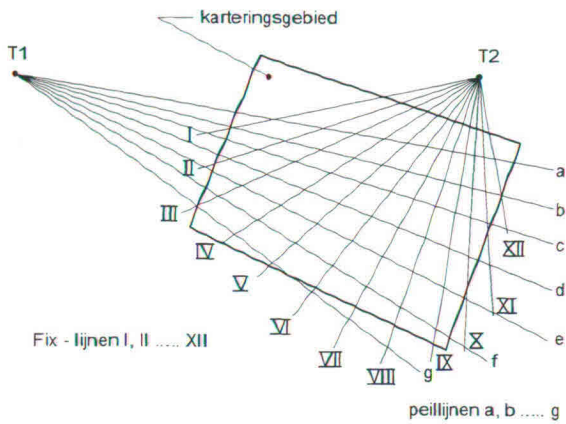
Hierbij speelt echter de coördinatie en de inzetbaarheid van personen nog steeds een doorslaggevende rol. Het werkgebied kan zich nu echter al uitstrekken over kilometers lange "peillijnen".

Een veel toegepast systeem is dat waarbij een theodoliet als **links-rechts aanwijzer** fungeert door over de radio instructies aan de schipper te geven en de andere theodoliet de fix-commando's in de lijn doorgeeft aan degene die het echolood bedient. Dit zal bij voorkeur geschieden op van te voren berekende intervallen.

Om het systeem te optimaliseren is het wenselijk de links-rechts aanwijzing en de "fix"-informatie via verschillende radiofrequenties te laten verlopen.

Alleen al door de "theodolietfixen" samen te laten vallen op het naar boven verlengde deel van de echolood transducer, bijvoorbeeld een stok met vlag, zal dit een positieverbetering op kunnen leveren van tenminste een meter ten opzichte van sextanthoekaflezingen.

Er zijn tal van varianten op deze "theodolietmethode" te bedenken, maar het basispatroon zal zijn zoals het "Rho-Theta" schema in 4.4 aangeeft.



4.4 "Rho-Theta"-Theodoliet patroon

4.1.4 Rangefinders

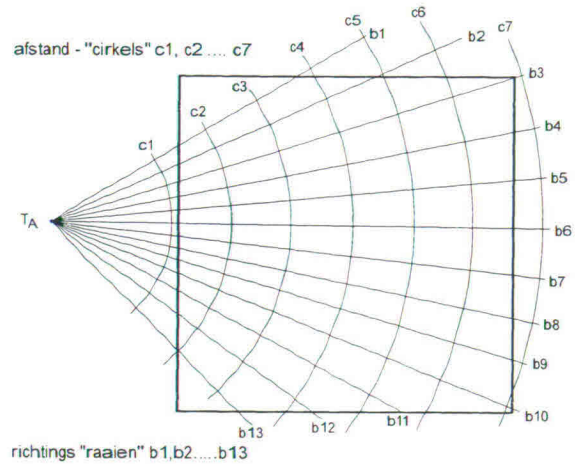
Een ook thans nog regelmatig gebruikte methode is het meten van afstanden met behulp van een afstandsmeter. Vroeger werden hier veel optische coïncidentie afstandsmeters voor gebruikt. Nu echter zijn er goede en niet al te kostbare infra-rood en/of laser afstandsmeters in de handel, welke tot op behoorlijke afstand, circa 2,5 km een goede nauwkeurigheid (0,5 m) hebben. Door op minimaal twee ingemeten vaste punten een prisma reflector te plaatsen, kan, bijvoorbeeld vanaf het baggerwerktuig of vanuit de peilboot, door eenvoudig het instrument te richten op een prisma, binnen een halve seconde de afstand bepaald worden. Door de beide gemeten afstanden uit te zetten op een cirkelbogenkaart, kan dan onmiddellijk de positie geplotted worden. Ook zijn er uitvoeringen van de laser rangefinder die op vaste afstandsintervallen een fix-markering op het echolood geven. Dit is een veel toegepaste methode om de positie te bepalen als zichtraaien gevaren worden en één van de bakens voorzien is van een prisma ten behoeve van de afstandsmeter.

Bij deze methode blijft echter de inzet van een extra persoon voor het bedienen van de afstandsmeter noodzakelijk.

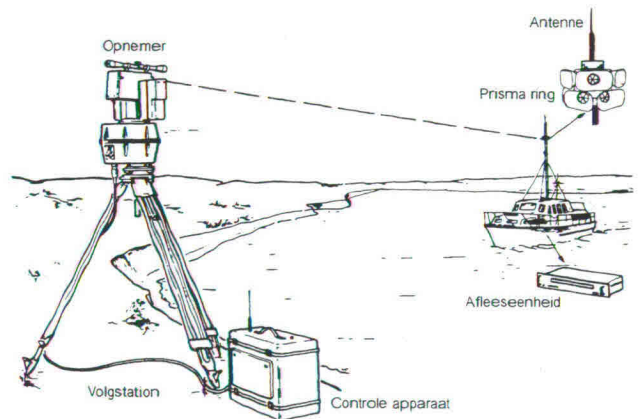
4.1.5 Total stations (zelf volgend)

Een total station is in feite een gecombineerde theodoliet met infra-rood afstandsmeter. Zowel de horizontale hoek als de verticale hoek en de afstand worden continu digitaal weergegeven en kunnen ook digitaal opgeslagen worden. Het is een zeer nuttig instrument om bijvoorbeeld op het stort hoogtemetingen te verrichten. Er zijn ook total stations in de handel die eenmaal gericht op een prisma, de bewegingen van dit prisma volgen, gestuurd door een geautomatiseerd systeem. Continu worden dan de verticale en horizontale hoek evenals de afstand gemeten en via een radioverbinding doorgegeven aan de peilvlet of het baggerwerktuig. Voorbeelden hiervan zijn onder andere de Krupp/Atlas Polartrack en de Geodimeter 140T. Uiteraard is de absolute nauwkeurigheid van deze systemen afhankelijk van de afstand. Hoe verder weg hoe minder nauwkeurig. Tot een paar kilometer zijn deze systemen goed bruikbaar. Een nadeel is, ten opzichte

van andere plaatsbepalingssystemen, dat slechts een gebruiker tegelijkertijd gevolgd kan worden. Dus óf het baggerwerktuig óf de peilvlet.



4.5 "Rho-Theta"- patroon voor total stations



4.6 Atlas Polartrack systeem

4.2 Radio plaatsbepalingssystemen

4.2.1 Algemeen

Bij de moderne plaatsbepaling vormen de radiografische systemen een niet meer weg te denken element. Afhankelijk van het systeem, verschaffen de elektromagnetische golven informatie die tot een positie herleid kan worden!

Op verschillende wijze kunnen de systemen ingedeeld worden, zoals in "werkbereik":

- 1 Short range (S) tot ± 30 km;
- 2 Medium range (M) van 30 tot 80 km;
- 3 Long range (L) boven 80 km.

Nu zijn er tal van factoren die het bereik bepalen en onder verschillende atmosferische condities komen zeer grote afwijkingen van het "bereik" voor.

Een allesoverheersende eigenschap van de elektromagnetische golven is echter dat ze in meer of mindere

mate met de aarde "meebuigen", afhankelijk van de frequentie.

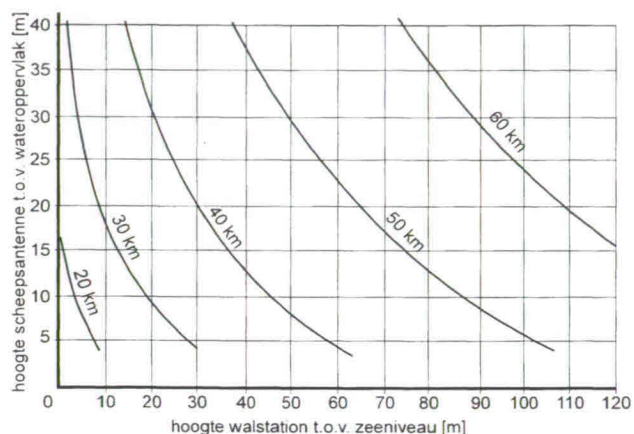
Het meer of minder meebuigen met het aardoppervlak geeft de mogelijkheid een "andere" indeling te maken:

a) **Line of sight (L.O.S.)** systemen met een frequentie tussen de 2000 en 9500 MHz, hebben een radiohorizon die zich zeer globaal laat omschrijven door de functie:

$$D = 4 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

waarbij h_1 en h_2 de respectieve antennehoogten weergeven (in meters), en D het bereik is in kilometers: de zogenaamde "Antennehorizon".

In de grafiek (4.7) is op eenvoudige wijze te zien welke invloed de antennehoogte heeft op het bereik.



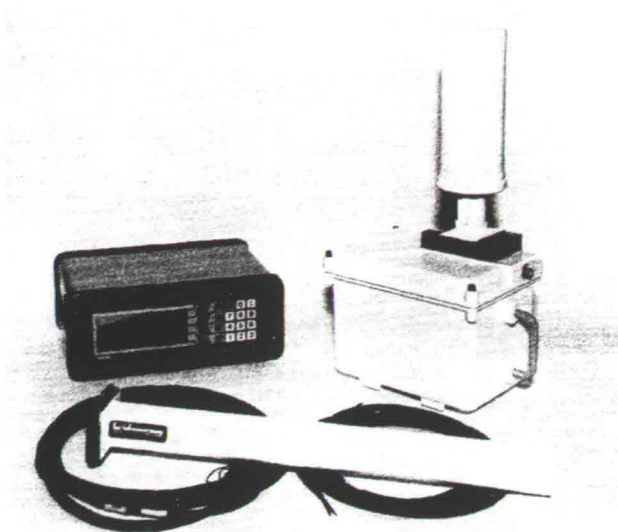
4.7 Het bereik van L.O.S. systemen

Ook zal duidelijk zijn dat reeds boven de 30 km aanzienlijke constructies nodig zijn, indien geen gebruik gemaakt kan worden van een natuurlijk reliëf voor de "walstations".

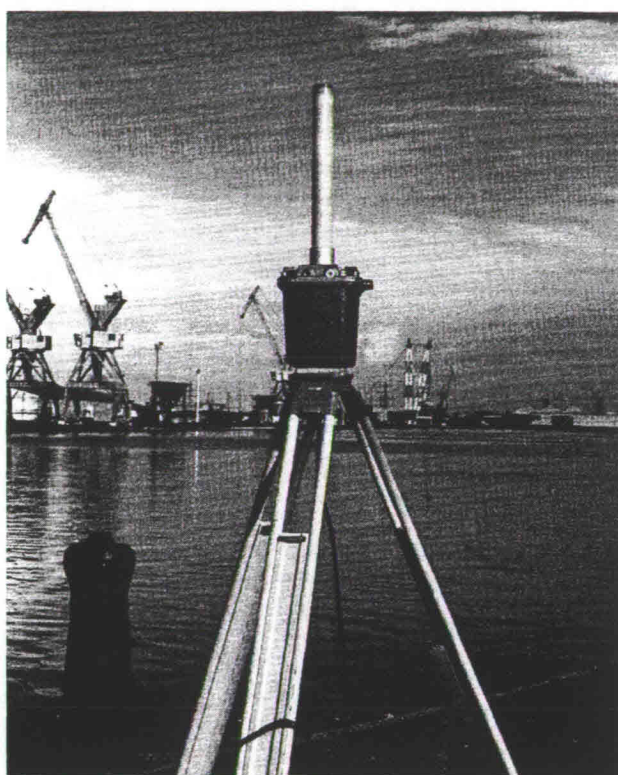
De nauwkeurigheid van de L.O.S. systemen neemt af naarmate de golflengte toeneemt (ofwel de frequentie afneemt)!

Voorbeelden van dergelijke systemen zijn onder andere DelNorte Trisponder, Motorola Miniranger, RACAL Microfix en Sercel Axyle.

De te behalen nauwkeurigheden liggen in de orde van ongeveer 3 meter voor Trisponder en Miniranger, ongeveer 1 meter voor Microfix en 0,3 meter voor Axyle.



4.8 Microfix range/range systeem



4.9 Sercel Axyle range/range systeem, een walbaken

b) **Surface Duct Systemen (S.D.S.)**, hoewel ook deze in de frequentieband van de L.O.S. systemen werken namelijk 420 - 450 MHz, zijn zij door gebruik te maken van speciale technieken in staat om enige malen de antennehorizon te bereiken. Deze systemen bestaan sinds het einde der 70-er jaren.

"Achter" de antennehorizon neemt echter de nauwkeurigheid af.

Het meest bekende systeem is hier Sercel Syledis. De nauwkeurigheid ligt in de orde van 3 tot 5 meter.

c) De **Ground Wave Systemen (G.W.S.)** opereren op een veel lagere frequentie: namelijk tussen de 1 en 3

MHz. Hierdoor treedt een grotere afbuiging op, waardoor de golven verder "reiken".

Bekende systemen zijn LORAN, Decca, Trident, Maxiran.

Het bereik kan dus veel groter zijn, maar wordt voorname-lijk bepaald door het zendvermogen.

De te behalen nauwkeurigheden zijn echter veel minder. Men moet denken in orden van grootte van 10 tot 50 meter.

Nog een andere manier om de systemen in te delen is die waarbij als criterium geldt met hoeveel gebruikers (bijna) gelijktijdig het systeem benut kan worden:

- 1 De "Multi-user" (**MU**) systemen met een vrijwel onbeperkt aantal gebruikers.
- 2 De "Restricted multi-user" (**RMU**) systemen, waarbij bijvoorbeeld tot zes gebruikers op een systeem kunnen opereren.
- 3 De "Single-user" (**SU**) systemen die slechts één gebruiker toestaan.

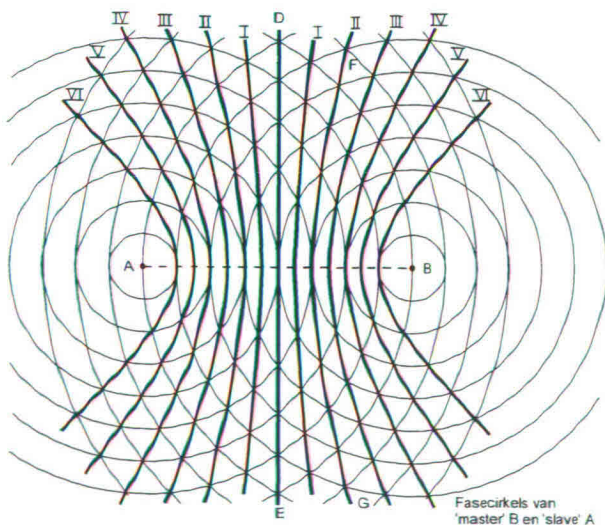
Het zal duidelijk zijn dat deze verschillende systemen voor specifieke doeleinden te gebruiken zijn, en dat telkens een optimale combinatie van range, frequentie en gebruikersaantallen gevonden dient te worden om tot een bruikbaar geheel te kunnen komen.

Meestal zal echter het interpretatie-systeem maatgevend zijn voor de keuze die de hydrografische surveyor zal maken; hierbij valt onderscheid te maken tussen:

- 1 hyperbolische systemen (MU)
- 2 circulaire systemen (RMU)
- 3 polaire systemen (SU)
- 4 driedimensionale satelliet systemen (MU)

4.2.2 Hyperbolische systemen

Bij dit systeem zijn tenminste 3 walstations nodig om tot plaatsbepaling te komen.



4.10 Principe van de hyperbolische configuratie

B moet beschouwd worden als **de master** zender waar-

aan A gesynchroniseerd is (de **slave**). Tijdens het zenden van A en B wordt tegelijkertijd in zowel A als B één golflengte voltooid. Indien nu zo'n golflengte (voortplantingssnelheid gedeeld door frequentie) 100 meter bedraagt, is het mogelijk vanuit A en B concentrische cirkels te trekken met een interval van 100 meter. Dit is dus één golflengte. Voor lijnstuk DE, de middelloodlijn, zijn de afstanden naar A en B gelijk; het faseverschil is "NUL". Op de kromme FG is dit faseverschil "TWEË".

Zo kunnen alle verzamelingen waarbij het faseverschil ten opzichte van de twee zenders een geheel getal bedraagt worden beschreven.

Deze lijnen vormen dus de meetkundige plaats van punten die een constant verschil in afstand hebben naar de "brandpunten"; per definitie een hyperbool.

Op de basis AB verdelen de verschillende hyperbolen het lijnstuk in gelijke delen die de halve golflengte ($l/2$) groot zijn. Op de "baseline" komt het faseverschil dus overeen met de halve golflengte:

$$LO = \frac{\lambda}{2}$$

Indien nu het faseverschil van B en A gemeten wordt, is de hyperbool ten opzichte van A en B ten tijde van de meting, gedefinieerd.

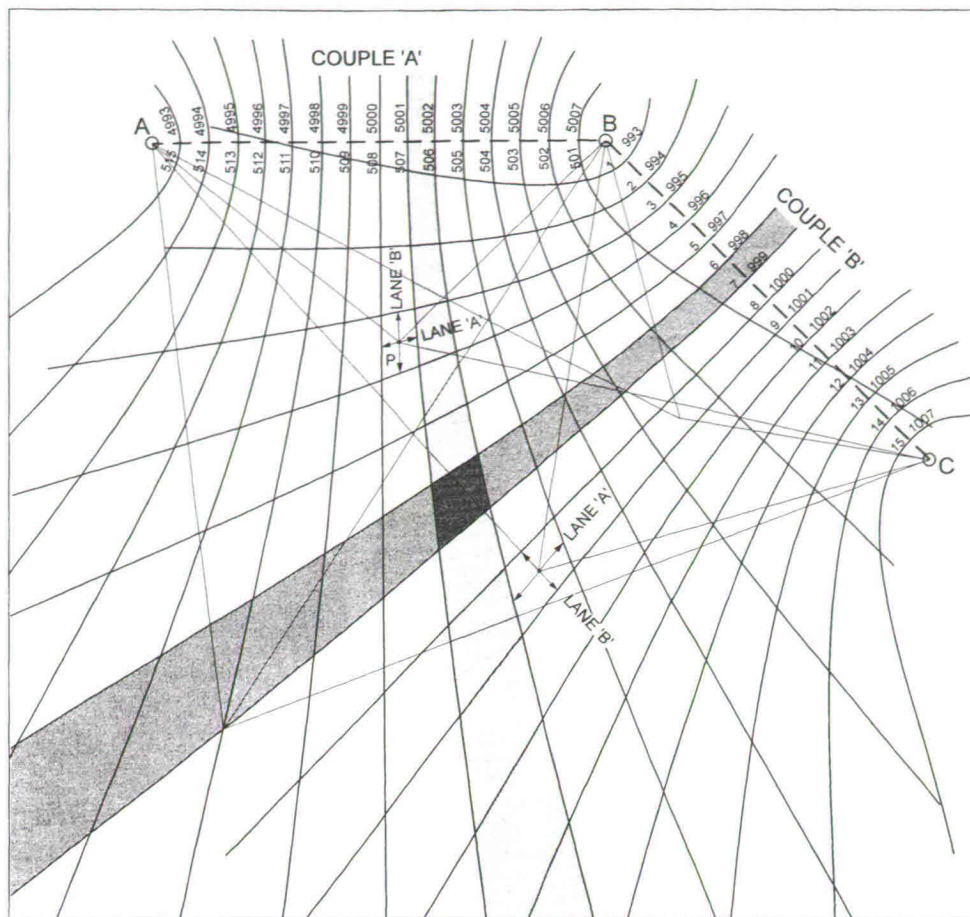
Voor het bepalen van een een positie zijn minimaal twee hyperbool patronen nodig. Er is dan dus een derde zender, een tweede **slave** nodig, C (figuur 4.11).

Wordt nu hetzelfde gedaan ten opzichte van B en C zoals beschreven voor A en B, dan is ook een tweede hyperbool gedefinieerd.

Het snijpunt van de aldus gevonden hyperbolen is dus kennelijk de positie.

Een dergelijk systeem is dus gebaseerd op de volgende veronderstellingen:

- a) Door het meten van faseverschillen vindt men de hyperbolen ten opzichte van respectievelijk BA en BC;
- b) Het snijpunt van de hyperbolen, behorend bij het gemeten faseverschil, beschouwt men als de positie;
- c) De hyperbolen hebben een onderling faseverschil van 180° (S_2).



Hyperbolisch patroon van 'Master' B en 2 'Slaves' A en C

4.11 Lane interpretatie figuur

De ruimte tussen deze opvolgende hyperbolen, in het voorbeeld (figuur 4.11) op basis AB was dat 50 meter, noemt men **LANE**.

De faseverschilmetingen geven tevens de positie tussen twee opvolgende lanes aan.

In de figuur zien we dat de lanes uitwaaiëren, de lane-breedte "L" is niet op ieder punt gelijk.

Aangezien de kleinst mogelijke meeteenheid de "centilane" is, dus 0,01 lane, zal duidelijk zijn dat de "L" tevens een maat is voor de nauwkeurigheid van de enkele meting, en verder nog afhankelijk is van de mate van uitwaaiëring zoals in figuur 4.11 duidelijk waarneembaar is: 0,01 lane ter plaatse van "P" zal aanzienlijk kleiner zijn dan 0,01 lane op een willekeurige positie op afstand 2 BP van B.

Het is dus mogelijk om van tevoren de **hoogst haalbare nauwkeurigheid** van de verschillende configuraties te berekenen en te vergelijken, om aldus een zo optimaal mogelijke opstelling te vinden.

NB: De fasemeting kan niet aangeven "tussen" welke hyperbolen de meting gedaan is, er zal dus een administratie gevoerd dienen te worden door middel van de "lane"-telling.

Ten opzichte van bepaalde "vaste" referentiepunten kan

dit "telwerk" aangeven hoeveel maal een volledige fase doorlopen is.

Op deze wijze worden de zogenaamde **hyperbolische INTEGERS** bepaald, die als "coördinaat" fungeren.

De vaste punten ten opzichte waarvan dit gebeurt worden meestal ook gebruikt om de keten te kalibreren.

Om verwarring te voorkomen dient dit "telwerk"-principe onduidelijk te worden vastgelegd.

De behandeling van de hyperbolische patronen is relatief wat uitgebreid, aangezien het tal van facetten bevat waarmee de surveyor te maken krijgt indien er sprake is van radio-plaatsbepaling.

De klassieke storingsbronnen van de elektromagnetische golven: Elektricitetsleidingen, magnetische activiteit (grote concentraties ijzerwerk) en overgangen van land en water spelen vooral deze relatief lage frequentie radiografische plaatsbepalingssystemen parten.

4.2.3 Circulaire systemen

De opstellingswijze zoals men die bij het hyperbolische patroon heeft aangetroffen zou evengoed de basis kunnen zijn van de circulaire systemen.

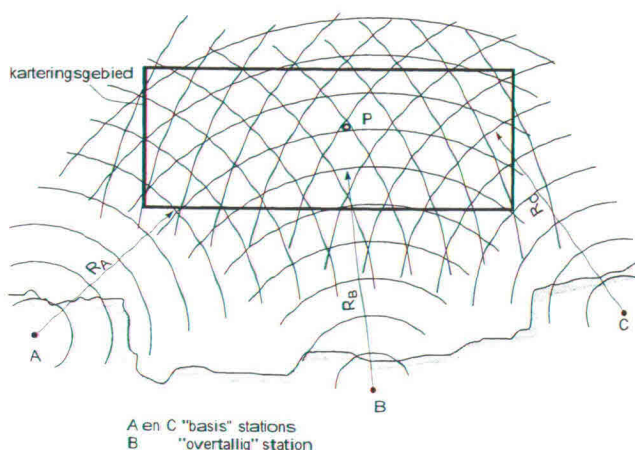
Bij deze methode wordt echter niet het faseverschil gemeten, maar de looptijd van de radiogolven; hierbij gaat het dus niet om het afstandsverschil maar om een afstandsmeting als zodanig.

In het algemeen betekent dit, dat een mobiele zend-

ontvanginstallatie golven uitzendt naar verschillende, in coördinaten bekende, walstations.

Deze "stuurt" de golven weer terug naar de zender die ze ontvangt en als functie van de looptijd de afstand berekent.

Hoewel strikt genomen twee "vaste" stations voldoende zijn om de positie te bepalen, zoals op figuur 4.12 duidelijk te zien is, zal er naar gestreefd worden gebruik te maken van een zogenaamd "overtallig" systeem, met 3, 4 of meer stations.



4.12 Circulaire systemen

Hiermee kan op relatief eenvoudige wijze, door middel van "vereffenings"berekeningen een hoge nauwkeurigheid gehaald worden!

Dit is bij de circulaire **range-range**-systemen ook al snel nodig in verband met de grotere storingsgevoeligheid van het "heen-en-weer" zenden.

Deze systemen kunnen ook niet, zoals bij het hyperbolische "eenrichtings"verkeer, een onbepaald aantal gebruikers van de gewenste informatie voorzien!

Een specifieke problematiek van elektromagnetische golven, hierbij optredend is de reflectiegevoeligheid, waardoor valse afstanden ontstaan of elektromagnetische golven elkaar zelfs volledig kunnen uitdoven, het zogenaamde "nul-effect".

Om in figuur 4.12 punt P te positioneren kan volstaan worden met de "Ranges" R_A en R_C , ten opzichte van respectievelijk station A en C (die in coördinaten bekend zijn).

Hierdoor zullen de coördinaten van P, meetkundig gezien, bepaald zijn.

Meet men echter ook de range R_B dan kunnen drie van deze positieberekeningen worden uitgevoerd en ongetwijfeld drie verschillende paren coördinaten worden verkregen.

Door nu de vereffeningsberekening hierop los te laten, kan men de "meest waarschijnlijke" positie daaruit berekenen.

Ook kan men nu "slechte" metingen opsporen!

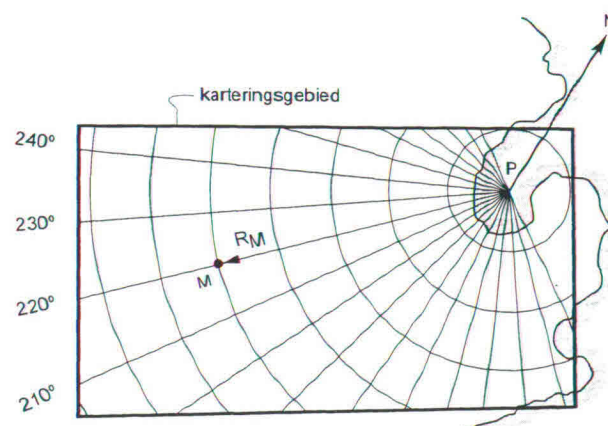
4.2.4 Polaire systemen

Deze systemen zijn volledig vergelijkbaar met de circu-

laire systemen, met dien verstande dat de snijding van positielijnen plaatsvindt tussen een afstandscirkel en een hoek/richtingslijn.

Het grote voordeel is de mogelijkheid de walopstellingen tot één enkel station te beperken.

Bovendien is de "hoek" waaronder de systeemlijnen elkaar snijden altijd loodrecht; zoals op figuur 4.13 te zien is.



4.13 Polaire systemen

Door nu een groot aantal metingen van hoek en afstand te middelen per tijdseenheid, kunnen zeer nauwkeurige plaatsbepalingen gepleegd worden.

De metingen geschieden nu echter vanaf het walstation, terwijl de mobiele opstelling "passief" is.

Dit heeft tot gevolg dat de gegevensverwerking pas via **telemetrie**, het radiografisch verzenden van informatie, op de mobiele opstelling beschikbaar komt.

De radiografische afstandsbepaling werkt met zeer hoge frequenties (9000 MHz, radarfrequentie) en is vooral op korte afstand zeer nauwkeurig.

Het is een systeem van het L.O.S. type en normaal gesproken geschikt voor één gebruiker.

Op grotere afstanden gaan de eigenschappen of beperkingen van deze "Radar" frequentie een overheersende rol spelen!

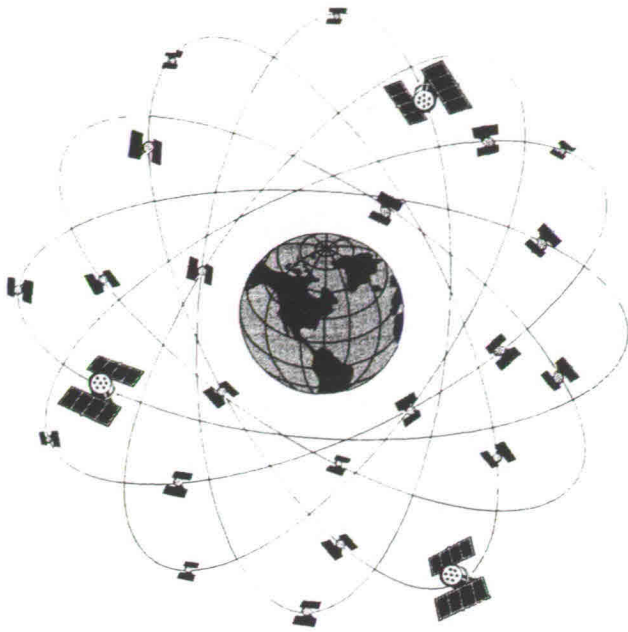
4.3 Satelliet plaatsbepaling

4.3.1 Global Positioning System (GPS)

GPS is ontwikkeld door het Amerikaanse Ministerie van Defensie als een wereldwijd navigatie- en plaatsbepalingssysteem voor zowel militaire als civiele toepassingen. Zover heeft het systeem al ongeveer 12 miljard dollar gekost.

Het is gebaseerd op een samenstel van 24 satellieten die in banen om de aarde draaien op een hoogte van 20.500 km. Deze satellieten fungeren als referentiepunten van waaruit ontvangers op de grond hun positie kunnen bepalen.

Deze satellieten kunnen als referentiepunten dienen, omdat hun banen zeer precies bekend zijn en voortdurend nagemeten worden door volgstations op de aarde. In 1978 werden de eerste proefsatellieten gelanceerd, en sinds 1994 is het systeem volledig operationeel.



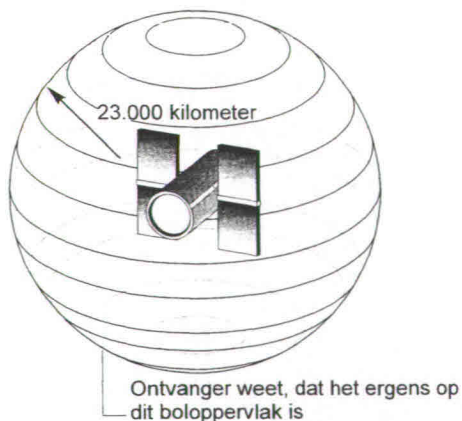
4.14 NAVSTAR GPS satelliet configuratie

De basisprincipes van GPS zijn heel eenvoudig, hoewel het systeem zelf de allerlaatste “high-tech” ontwikkelingen gebruikt. Om de werking te begrijpen, wordt het systeem in 5 delen gesplitst die na elkaar kort besproken worden. Later zal hier en daar meer in detail op worden ingegaan.

- afstandsbepaling tot satellieten is de basis van het systeem
- om die afstanden te meten, wordt de looptijd van radioboodschappen gemeten
- om die looptijd te meten heeft GPS uitermate nauwkeurige klokken nodig
- als de afstand tot een satelliet gemeten is, moet nog bekend zijn waar die satelliet zich in de ruimte bevindt
- de GPS signalen reizen door de ionosfeer en de atmosfeer van de aarde en worden daardoor vertraagd

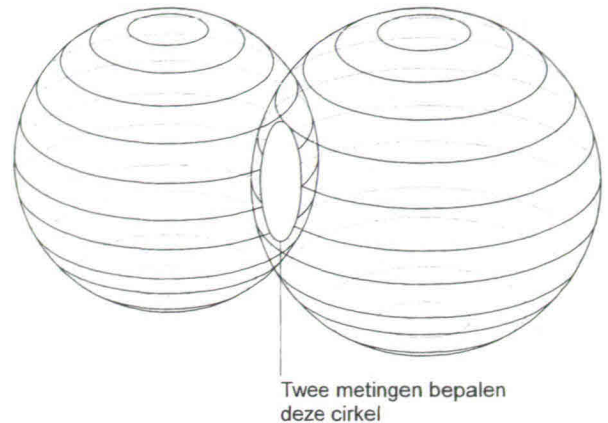
a) Afstandmeting naar satellieten.

Als de afstand tot 1 satelliet gemeten kan worden, dan bevindt het meetpunt zich op een bol waarvan de satelliet het middelpunt is.



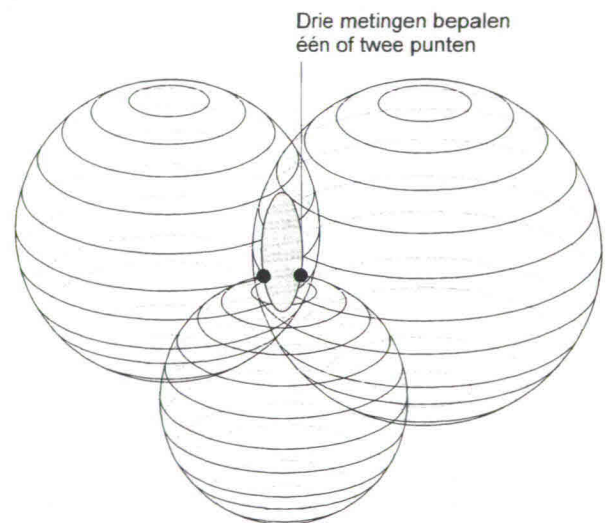
4.15 De meetkundige plaats van 1 afstandsmeting naar een satelliet

Wordt tegelijkertijd de afstand naar een tweede satelliet gemeten, dan bevindt het meetpunt zich ook op een bol met als middelpunt die tweede satelliet. Dus is de meetkundige plaats van het meetpunt de snijding van die twee bollen, en dat is een cirkel.



4.16 De meetkundige plaats van afstandsmetingen naar 2 satellieten

Als nu nog de afstand naar een derde satelliet gemeten wordt, moet het meetpunt dus op de snijding van deze drie bollen zitten. Dit zijn twee punten.



4.17 Metingen naar 3 satellieten

Dus met drie metingen is bekend dat het meetpunt 1 van die 2 punten zal zijn. In de praktijk blijkt nu dat 1 van die punten een onmogelijke oplossing zal blijken te zijn, bijvoorbeeld ver weg in de ruimte, of diep in het binnenste van de aarde. Met behulp van drie satellieten kan de positie in de ruimte bepaald worden. Wordt nog naar een vierde satelliet de afstand gemeten, dan is de positie absoluut bepaald, maar dat is niet echt nodig voor deze plaatsbepaling. Die vierde satelliet is echter wel nodig, maar daarover later meer.

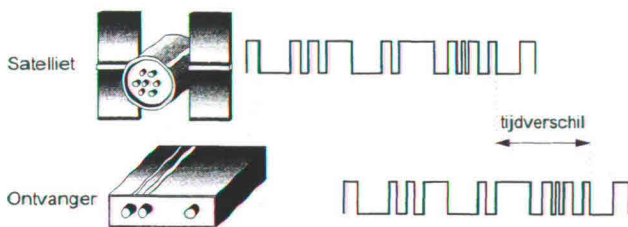
b) Looptijdmeting van radiosignalen

GPS werkt heel eenvoudig door te meten hoe lang een radiosignaal erover doet om van de satelliet de ontvanger te bereiken. Als die tijd gemeten wordt, terwijl

bekend is dat radiosignalen zich voortplanten met de lichtsnelheid, ongeveer 298.000 km/seconde dan geeft tijd maal voortplantingssnelheid de afstand.

Hoe is nu bekend wanneer het radiosignaal door de satelliet precies wordt uitgezonden? Daar heeft GPS een truc op gevonden. Satellieten en ontvangers worden gesynchroniseerd zodat ze dezelfde code op precies dezelfde tijd genereren. Als dan de code van de satelliet ontvangen wordt, wordt eenvoudigweg terug gekeken om te zien hoe lang geleden de ontvanger diezelfde code maakte. Dit tijdsverschil is de tijd die het signaal erover deed om van satelliet naar ontvanger te komen.

De codes die gebruikt worden zijn digitaal en zeer gecompliceerd, waardoor ze gemakkelijk en eenduidig vergeleken kunnen worden. Deze codes lijken wel een serie willekeurige (random) pulsen. De codes zijn echter zeer zorgvuldig gekozen. Daarom spreekt men ook van "pseudo-random" codes.



4.18 Pseudo-random code

c) Nauwkeurige timing

Als de satelliet en de ontvanger op aarde niet goed synchroon lopen, en bijvoorbeeld 1/100ste seconde schelen, betekent dit een fout in de afstandsmeting van 2.980 km! De timing is dus van cruciaal belang. Hiertoe hebben de satellieten atoomklokken aan boord. Deze zijn ongelooflijk precies maar ook ongelooflijk duur. Bovendien heeft iedere satelliet er vier, om er zeker van te zijn dat er altijd een goed werkende klok is. Zo'n klok kost ongeveer fl. 200.000,-. In de ontvanger zouden we ook zo'n klok nodig hebben, maar dat zou de ontvanger veel te groot en te duur maken. Daarom is er voor een andere oplossing gekozen.

Door het meten van een extra satellietafstand (een vierde afstand dus) kan volstaan worden met een relatief "goedkope" klok in de ontvanger. Het principe waarop deze truc berust staat uitgebreid beschreven in diverse GPS boeken en zal hier niet verder behandeld worden. Wat duidelijk is, is dat met behulp van 4 satellietafstanden een nauwkeurige 3-dimensionale meting verricht kan worden.

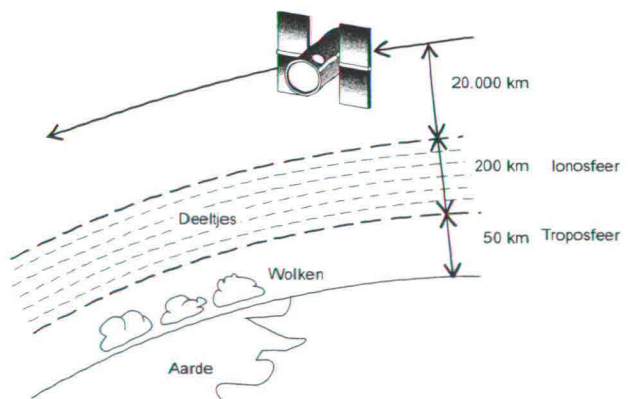
d) Waar bevinden de satellieten zich precies

Tot zover is ervan uitgegaan dat precies bekend was waar de satellieten zich in de ruimte bevonden, zodat door middel van afstandsmetingen de plaats ten opzichte van die satellieten bepaald kon worden. Hoe is nu bekend waar iets, dat op een hoogte van 20.500 km boven de aarde in de ruimte beweegt, op ieder moment

precies is? Omdat de NAVSTAR satellieten (**N**avigation by **S**atellite **T**iming **A**nd **R**anging) juist zo hoog boven de aarde bewegen, worden ze niet geremd door de atmosfeer. Dus als ze eenmaal in een baan om de aarde zitten, zal die baan ook zeer stabiel zijn. Bovendien worden alle GPS satellieten door grondstations van het Amerikaanse Ministerie van Defensie gemonitord. De satellieten beschrijven allen een baan over de polen en draaien in 12 uur om de aarde. Baanafwijkingen worden zeer nauwkeurig gemeten. De berekende baancorrecties worden door de grondstations naar de satellieten teruggezonden. De satellieten op hun beurt sturen niet alleen de "pseudo-random" code maar ook allerlei huishoudelijke data zoals die baancorrecties naar de ontvangers op aarde. De betere GPS ontvangers hebben in hun geheugen alle baanparameters van alle satellieten en kunnen de baancorrecties meteen toepassen. Op deze manier is dus de positie van iedere satelliet voortdurend heel nauwkeurig bekend en ook te voorspellen.

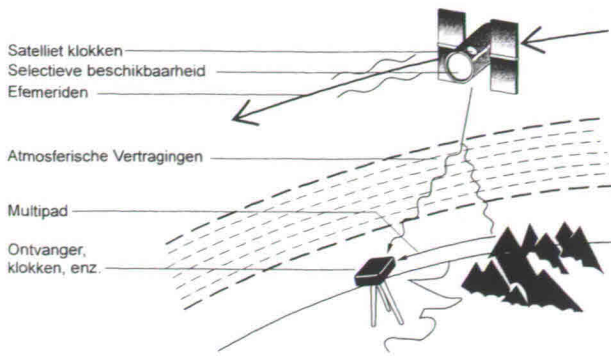
e) Vertraging van signalen door ionosfeer en atmosfeer en andere fouten

De door de satellieten uitgezonden radiosignalen verplaatsen zich dus met de lichtsnelheid. En de lichtsnelheid is een natuurkundige constante! Echter, alleen in absoluut vacuüm, zoals ver in de ruimte. De NAVSTAR signalen reizen echter op weg naar de ontvangers ook door de ionosfeer en de aardatmosfeer. Dit is een dicht medium en hierdoor worden de radiosignalen vertraagd. De vertraging is sterk afhankelijk van diverse zaken zoals plaats op aarde, tijdstip van de dag, waterdamp in de atmosfeer enzovoort en net zo onvoorspelbaar als het weer.



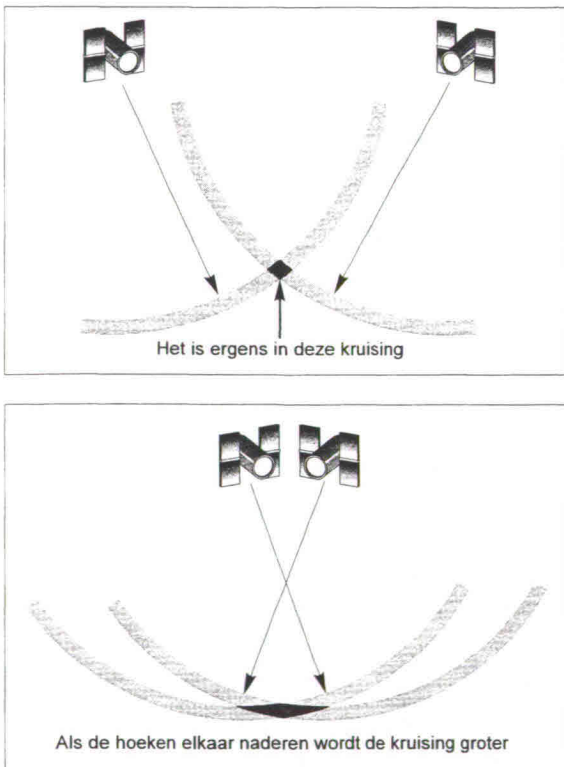
4.19 Vertraging van signalen door de atmosfeer

Maar er zijn nog meer foutenbronnen. Zelfs de atoomklokken in de satellieten hebben soms een zeer kleine afwijking, hoewel deze door de grondstations wel weer gecorrigeerd worden. In de ontvangers ontstaan ook fouten, door bijvoorbeeld de klok in de ontvanger, door elektronische ruis, en door reflectie van de satellietsignalen voordat ze de ontvangers bereiken. Moderne ontvangers gebruiken allerlei signaalverwerkingstechnieken om dit te verminderen.



4.20 Foutenbronnen bij satelliet signalen

Dan is er nog een andere factor die invloed heeft op de uiteindelijke nauwkeurigheid van de positiebepaling. Dat is de stand van de diverse satellieten aan de hemel op het moment van de meting, de zogenaamde "geometrie". Staan bijvoorbeeld alle satellieten die gebruikt worden betrekkelijk dicht bij elkaar aan de hemel dan is de meetkundige oplossing van de plaatsbepaling onzekerder dan wanneer de satellieten verspreid over de hemel staan. In dit laatste geval spreekt men van "goede snijdingen". Kort gezegd, hoe verder de satellieten bij elkaar vandaan staan hoe beter de plaatsbepaling.

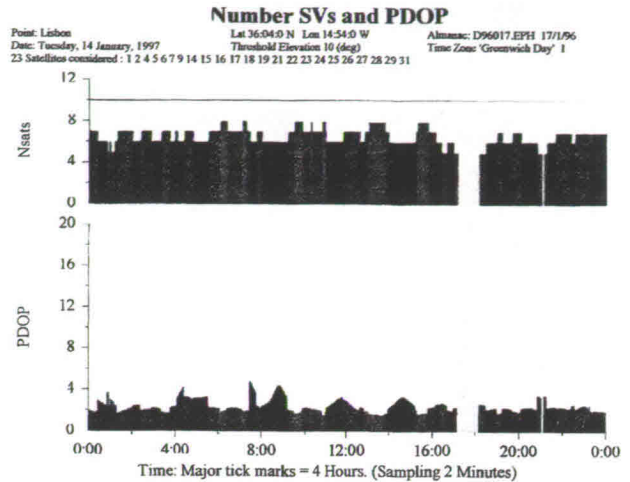


4.21 Het effect van geometrie

Goede satellietontvangers houden hier ook rekening mee. Deze geometrische factor wordt uitgedrukt in een getal, een GDOP waarde. GDOP staat voor Geometric Dilution Of Position. Waarden kleiner dan 4 worden "goed" genoemd, boven de 4 neemt de nauwkeurigheid van de positiebepaling drastisch af. Uitgebreide GPS

ontvangers geven bij iedere positie oplossing de bijbehorende GDOP waarde ook mee.

Ook zijn er computerprogramma's beschikbaar waarmee voorspellingen gemaakt kunnen worden over het aantal satellieten en hun geometrie, voor een bepaalde plek op aarde op een bepaald tijdstip. Voor nauwkeurige survey operaties worden deze voorspellingen veelvuldig gebruikt.



4.22 Voorspelling aantallen satellieten en geometrie (PDOP)

En dan is er nog een heel belangrijke andere factor. Dit is de "Selective Availability" of S/A.

Het is een opzettelijke fout die aangebracht wordt in de satellietboodschappen door het Amerikaanse Ministerie van Defensie. Men heeft dit gedaan omdat bleek dat de te verkrijgen nauwkeurigheid met GPS wel erg hoog was, eigenlijk veel beter dan men had gedacht, namelijk zo'n 15 meter! Uit veiligheidsoverwegingen wilde men dit niet. Deze nauwkeurigheid mocht alleen beschikbaar zijn voor de militairen. Dus heeft men de S/A geïntroduceerd.

Dit heeft geresulteerd in een maximaal haalbare nauwkeurigheid van 50 tot 100 meter!

Ruim voldoende voor navigatie van schepen bijvoorbeeld, maar niet voor baggerwerken en andere werkzaamheden waarbij nauwkeurige plaatsbepaling vereist is.

4.3.2 Differential GPS ofwel DGPS

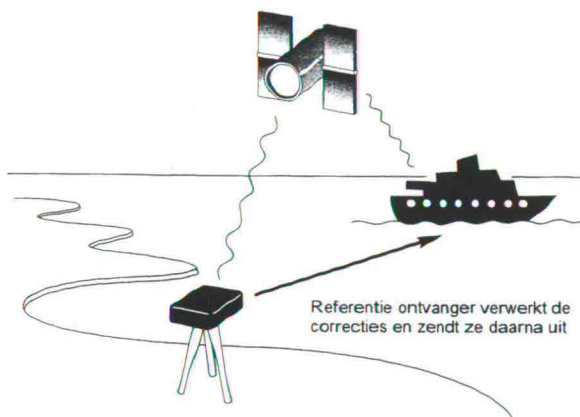
Wat is Differential GPS? Een manier om GPS nauwkeuriger te maken. Met behulp van DGPS kan positiebepaling gedaan worden met een nauwkeurigheid van enkele meters! Of zelfs, met speciale technieken, centimeters of millimeters!

Het basisidee achter DGPS is heel simpel. Sinds de meeste fouten (onnauwkeurigheden) in GPS van de satellieten en hun signalen afkomstig zijn, en dus voor alle ontvangers hetzelfde, kan een truc uitgehaald worden.

Op een plaats waarvan de coördinaten nauwkeurig bekend zijn, wordt een tweede GPS ontvanger neergezet. Deze ontvanger berekent aan de hand van de satel-

lietsignalen zijn positie, met de GPS (on)nauwkeurigheid uiteraard. Maar de echte positie is zeer nauwkeurig bekend! De vaste of "referentie" ontvanger berekent het verschil tussen GPS en echte positie, en rekent dit terug naar correcties per satellietafstand. Deze correctiesignalen kunnen nu per radio verstuurd worden naar GPS ontvangers in de buurt. Worden daar de ontvangen correcties toegepast op de gemeten satellietafstanden, dan worden hoge nauwkeurigheden in de plaatsbepaling gehaald.

Omdat de onnauwkeurigheden van de GPS signalen, inclusief de S/A, in de tijd variëren, moet het meten en versturen van de correctiesignalen wel continu doorgaan. Normaal gesproken wordt de correctieboodschap iedere 1 tot 6 seconden (afhankelijk van het systeem) verstuurd.



4.23 Basisprincipe van differential GPS

Hoe dichter de mobiele ontvanger bij het referentiestation is, hoe beter de correcties zullen zijn, immers de vertraging van de satelliet signalen door de ionosfeer en atmosfeer is plaatsafhankelijk. Veel baggermaatschappijen gebruiken voor de werken eigen referentiestations, die vlak bij het werkgebied opgezet en ingemeten worden. Met de moderne ontvangers kunnen dan tot afstanden van circa 30 km van het referentiestation nauwkeurigheden van 0,5 tot 1 meter gehaald worden. Voor langere afstanden, vaak bij offshore werken, wordt gebruik gemaakt van commerciële referentiestations, die ofwel via kortegolf radio ofwel via bijvoorbeeld een INMARSAT satelliet de correctieboodschappen uitzenden. Dit uiteraard tegen betaling! Bij die grotere afstanden tot de referentiestations lopen de onnauwkeurigheden dan op tot zo'n 3 tot 5 meter op 500 kilometer afstand.

overzicht van GPS en DGPS (on)nauwkeurigheden, in meters

nauwkeurigheid per satelliet	standaard GPS	Differential GPS
satelliet klok	1,5	0
baanfouten	2,5	0
ionosfeer	5,0	0,4
troposfeer	0,5	0,2
ontvanger elektronische ruis	0,3	0,3
signaal reflecties (multipad)	0,6	0,6
Selective Availability S/A	30,0	0

positie nauwkeurigheid

horizontaal	50,0	1,3 *
verticaal	78,0	2,0
3-D	93,0	2,8

* met de nieuwste ontvangers worden nauwkeurigheden van 0,5 m gehaald

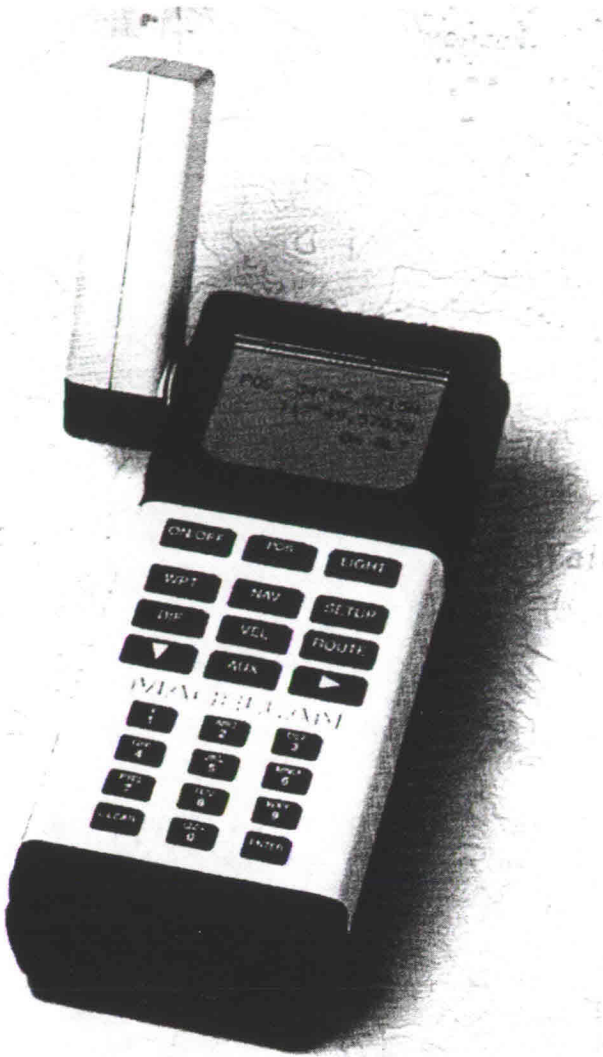
(D)GPS ontvangers

In het voorgaande is meerdere malen gesproken over "goede" en "moderne" GPS ontvangers.

Er zijn GPS ontvangers te koop vanaf fl. 500,- tot fl. 40.000,-. Het zal duidelijk zijn dat er dan ook verschillen zitten in kwaliteit en mogelijkheden.

Voor de nauwkeurige positiebepalingen zoals op de meeste baggerwerken tegenwoordig vereist, zijn ontvangers nodig die meerdere satellieten tegelijk kunnen ontvangen. Ook moeten deze ontvangers de baan-correcties van de satellieten onmiddellijk kunnen verwerken. De rekensnelheid moet hoog zijn, om al die signalen tegelijkertijd te kunnen verwerken. Ook moeten de ontvangers in staat zijn diverse soorten correctieboodschappen te ontvangen en toe te passen. Verdere eisen zijn on-line controles op de berekeningen, indicaties van betrouwbaarheid en nauwkeurigheid (GDOP enzovoort) en snelle output mogelijkheden naar de navigatie- en surveysystemen. Op baggerwerken veel toegepaste (D)GPS ontvangers zijn bijvoorbeeld:

- a) Magellan 5000 PRO: handontvanger, gebruikt voor allerlei verkenningen, kan posities loggen en correctiesignalen kunnen (later) ingevoerd worden.



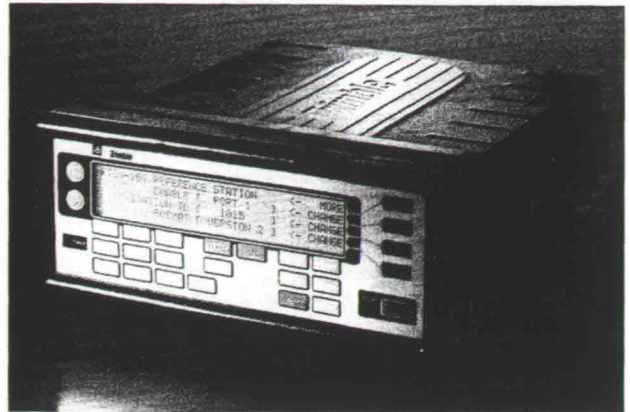
4.24 Magellan handontvanger

b) Trimble DSM PRO:
 DGPS ontvanger speciaal voor ontvangst van de IALA signalen, dit zijn correctiesignalen die in Europa door kustwachtstations, vuurtorens enzovoort worden uitgezonden, meestal voldoende voor sleep- en strandsuppletiewerken.



4.25 Trimble DSM PRO

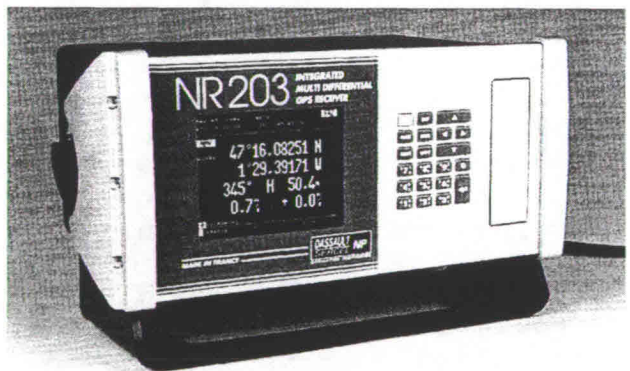
c) Trimble 4000 RS/DS:
 professionele ontvangers met alle mogelijkheden. Met eigen referentiestation is een nauwkeurigheid van 0,5 tot 1 meter haalbaar. Ook bruikbaar voor ontvangst van commerciële correctiesignalen.



4.26 Trimble 4000RS/DS

d) Trimble 4000 SSE/SSI:
 geodetische of landmeetkundige ontvangers, hiermee kunnen nauwkeurigheden tot zelfs millimeters gehaald worden.

e) Sercel NR 103/ NR 203:
 serie ontvangers voor diverse correctiesignalen, kunnen ook geleverd worden met eigen referentiestation voor korte of lange afstanden.



4.27 Sercel NR 203 multi differential ontvanger

f) Ashtech DNS-12:
 ontvangers met vrijwel dezelfde mogelijkheden als omschreven bij de Trimble ontvangers type 4000.



4.28 Ashtech DNS-12

Van verschillende fabrikanten zijn van de bovengenoemde (D)GPS ontvangers ook versies beschikbaar zonder een beeldschermje. Deze "blinde" uitvoeringen zijn verder geheel gelijkwaardig, maar aanmerkelijk goedkoper. Een aparte PC zal dan benodigd zijn om de ontvanger te configureren en te controleren.



4.29 Ashtech Z-12 ontvanger, zonder display

Millimeterwerk met GPS

Zelfs millimeter nauwkeurigheden zijn op dit moment haalbaar met DGPS systemen! Hierbij komen dan wel andere technieken kijken, maar er wordt gebruik gemaakt van precies dezelfde NAVSTAR satellieten. Deze speciale ontvangers meten de bekende "pseudorandom" codes als eerder besproken, maar ze meten ook nog andere signalen van de satellieten. Ze doen bijvoorbeeld fasemetingen op een zeer hoogfrequent satelliet signaal. Hieruit kunnen ze dan deze extreem hoge nauwkeurigheid halen! Ook moet dan wel differentieel gemeten worden, dus met een apart, stationair referentiestation, ook uitgerust met zo'n speciale ontvanger.

Op deze manier kunnen, bij later (off-line) verwerken van de correctiesignalen, nauwkeurigheden van millimeters gehaald worden. Een hele praktische techniek om bijvoorbeeld in moeilijk toegankelijke gebieden met hoge nauwkeurigheid punten in te meten in X, Y en Z, zonder afhankelijk te zijn van zichtlijnen en dergelijke zoals bij normale topografische metingen met theodoliet nodig is.

4.3.3 Real Time Kinematic (RTK) / On The Fly (OTF)

Een andere toepassing van deze manier van meten is het RTK (Real Time Kinematic) en OTF (On The Fly) DGPS. Hierbij worden met de geodetische ontvanger op het referentiestation correctiesignalen over de radio naar de mobiele geodetische ontvanger gezonden. Dit moet met zeer hoge snelheid gebeuren om de correcties onmiddellijk te kunnen toepassen, bovendien zijn er meer correcties dan alleen de pseudo-range correcties.

Tot afstanden van 10 kilometer kunnen dan X, Y en Z van de mobiele ontvanger ten opzichte van de bekende X, Y en Z van de referentieontvanger met een nauwkeurigheid van enkele centimeters gemeten worden.

Heel interessant bij deze toepassing is, dat met name de Z meteen meegemeten wordt, hiermee kan dan vaak de noodzaak tot het installeren en onderhouden van een aparte (radio)getijmeter komen te vervallen.

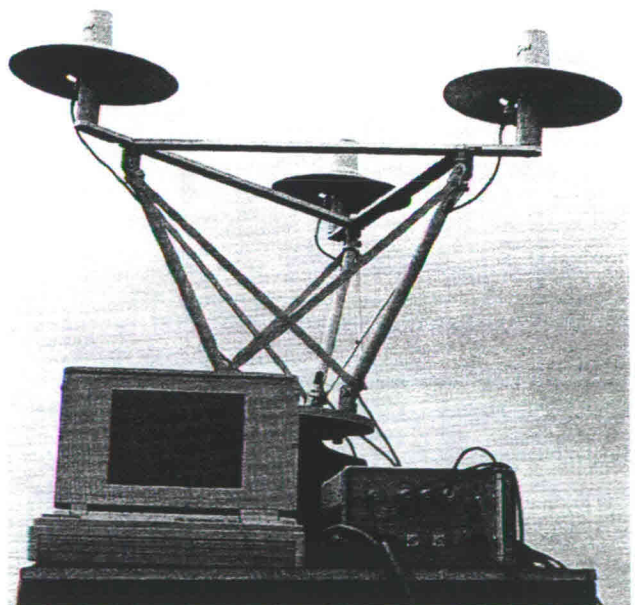
Een nadeel van deze toepassing is voornamelijk het maximale bereik van circa 10 km. Dit heeft niets te maken met de radio(telemetry) verbinding, maar met het feit dat er boven deze afstand een soort "lane-slip" op kan treden. (4.2.2 hyperbolische plaatsbepalingssystemen)

De toekomst

Nu met GPS al de bovengenoemde positienauwkeurigheden behaald kunnen worden, wat valt er dan nog meer te verwachten?

Er zijn ontwikkelingen gaande waarbij met behulp van 2 of 3 GPS ontvangers op een varend en dus bewegend schip, alle scheepsbewegingen gemeten kunnen worden. Dus niet alleen de plaats in X, Y en Z richting, maar ook de roll, pitch, heave, yaw en sway (ongeveer alle bewegingen die een schip kan maken) en de richting (heading). Dit zou een heleboel sensoren zoals een gyrokompas, inzinkingsmeters, deiningscompensatoren enzovoort overbodig maken.

Dit is geen toekomstdroom. Uitgebreide tests hebben al plaatsgevonden. Het kan en het lijkt zelfs ook nog zeer betaalbaar te worden. Onlangs zijn de eerste commerciële systemen op de markt verschenen. Een goede ontwikkeling! Maar misschien ook wat zorgelijk. Als er dan iets met het GPS systeem gebeurt, kan een schip ook helemaal niets meer. Mits men terug kan naar een niet-elektronisch systeem, waarbij concessies aan de nauwkeurigheid moeten worden gedaan.



4.30 Sercel NR 230 attitude sensor platform

Dit is ook een van de redenen waarom gekeken wordt naar uitbreiding van GPS systemen met andere dan alleen de Amerikaanse NAVSTAR satellieten. Zo heeft Rusland een vergelijkbaar systeem in de lucht (ruimte), het zogenaamde GLONASS. Een militair systeem, maar sinds het uiteenvallen van de Soviet Unie openbaar en commercieel gemaakt.

Er zijn thans ontvangers op de markt die zowel NAVSTAR als GLONASS satelliet informatie kunnen ontvangen en verwerken. Verder is de Europese Unie bezig met een onderzoek naar de haalbaarheid van het opzetten van een eigen Satelliet Plaatsbepalingssysteem, speciaal gericht op Europa. Ook in andere delen van de wereld zijn soortgelijke ontwikkelingen gaande. Het meten met behulp van satellieten zal een grote vlucht nemen.

Positiebepaling ten opzichte van wat?

Men heeft nu gezien dat men op diverse manieren de positie heel nauwkeurig kan bepalen.

Dit gebeurt ten opzichte van satellieten, de referentiepunten. Maar men wil natuurlijk uiteindelijk de positie op aarde weten. Hoe komt men daar nu aan?

Zonder nu teveel in detail te treden - wie meer wil weten is welkom bij de diverse Survey afdelingen - een korte uitleg en waarschuwing!

De (D)GPS ontvangers geven de positie in geografische coördinaten, dus in graden, minuten en seconden. Zeekaarten bijvoorbeeld zijn ook in graden, minuten en seconden. En toch, als men de uit GPS verkregen positie zonder meer op de zeekaart plot, kan men er zomaar zo'n 100 tot 400 meter naast zitten!

Dit komt, omdat de satellieten gebaseerd zijn op een bepaald model, een beschrijving, van de aardbol, en de zeekaarten op een ander model!

Zeekaarten zijn normaal gesproken gebaseerd op ED 50 (European Datum 1950) of op WGS 72 (World Geodetic System 1972), en de NAVSTAR satellieten gebruiken een aard-beschrijving die heet WGS 84. Deze systemen zijn niet direct onderling vergelijkbaar. Inmiddels zijn er omrekeningsroutines beschikbaar, om van het ene naar het andere stelsel te gaan en vice versa, maar het blijft dus oppassen!

Ook moet men in gedachten houden dat nog veel zeekaarten dateren uit de tijd dat plaatsbepaling moeizaam en onnauwkeurig was. Hierdoor kunnen zeker op oudere zeekaarten de aangegeven en de werkelijke posities soms erg veel schelen.

Zeker met de nieuwste, zeer nauwkeurige RTK metingen, waarbij de positie in X, Y en Z heel nauwkeurig bepaald kan worden, moet goed bedacht worden dat hierbij gemeten wordt ten opzichte van de X, Y en Z van het referentiestation. In dit geval kan dan met behulp van DGPS technieken heel snel en handig bijvoorbeeld het stort opgemeten worden. Dit gebeurt al op diverse werken, waar de surveyor niet meer met een total station, theodoliet en afstandsmeter, of waterpas rond-

loopt, met z'n assistent om de baak vast te houden. Hier loopt de surveyor alleen, met een rugzak waarin batterij plus elektronica (GPS ontvanger met radio-ontvanger voor de correctiesignalen), en in z'n hand een meetstaf met daarbovenop een GPS antenne. Een bijkomend voordeel is dat er geen line-of-sight nodig is tussen referentiestation en DGPS ontvanger. Op korte afstanden zijn de telemetriesignalen overal goed te ontvangen. Er wordt indien nodig continu X, Y en Z gemeten met een nauwkeurigheid van centimeters. Dit wordt digitaal opgeslagen, bij terugkomst in het site-office wordt het systeem aan de survey-PC gekoppeld en alle metingen worden direct ingelezen, waarna ze verwerkt kunnen worden op de normale manier. Dit soort metingen zal steeds vaker op de werken te zien zijn. Het is snel, flexibel en kost minder mankracht.



4.31 Landmeetkundige survey met DGPS

Het lijkt dus allemaal sneller en eenvoudiger te gaan worden met de satelliet plaatsbepalingssystemen. Men dient echter goed te blijven bedenken dat de basis van deze hypermoderne techniek nog altijd de aloude landmeetkunde is. Een grondige kennis van alle achterliggende theorie is dan ook absoluut noodzakelijk om goed met satelliet navigatie om te kunnen gaan. Noodzakelijke omrekeningen van coördinatenstelsels, geometrieberekeningen van satelliet configuraties enzovoort kunnen op een gegeven moment door intelligentie in de ontvangers worden gedaan, het blijft aan de surveyors om dit te kunnen controleren, narekenen en corrigeren waar nodig.

5 Onderwater plaatsbepaling

Aangezien elektromagnetische golven in water verspreid en sterk afgezwakt worden, kunnen deze golven niet meer voor metingen in dit medium gebruikt worden. In water wordt daarom gebruik gemaakt van geluidsgolven.

Deze golven kunnen zoals bij de radar boven water, gestuurd worden in de gewenste richting.

Omdat het gebruik maken van akoestische meetapparatuur een steeds belangrijker middel wordt om plaats onder water te bepalen, lijkt het zinvol de verschillende "storende" invloeden te beschouwen:

Duidelijk zal zijn dat allereerst allerlei soorten "omgevingslawaai" de metingen beïnvloeden; deze storingen zijn frequentie afhankelijk.

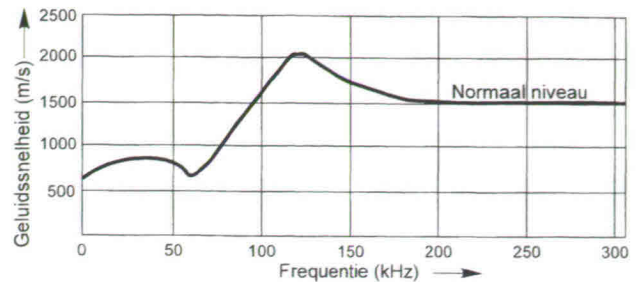
- a) Hydrostatische storingen door drukvariaties veroorzaakt door getij en golfbewegingen, vaar- en stroomsnelheden.
- b) Turbulentie door variaties in temperatuur en dichtheid, die plaatselijk drukschommelingen tot gevolg hebben.
- c) Oppervlakte golfbeweging door brekende golven, stroming, wind en regen (tot 10 kHz).
- d) Thermische storing; vooral bij hogere frequenties gaan de moleculen "zelf" lawaai produceren.
- e) Lawaai van mechanische aard; schroeven, pompen, motoren.
- f) "Vervuiling" van water door zand, kleideeltjes, luchtbellen enzovoort, waarbij vooral de luchtbellen zeer grote storingen veroorzaken.
- g) Discontinuïteit veroorzaakt door onvolledige menging van zout en zoet, warm en koud water, tevens als functie van de diepte, en als gevolg van laagvorming (stratificatie) die sprongsgewijze veranderingen in fysische eigenschappen veroorzaakt.

Door deze lokale geluidssnelheidsvariaties is het vaak moeilijk een nauwkeurige schatting te maken van de geluidssnelheid.

Een middel bij uitstek om deze storingen plaatselijk te kwantificeren is het **kalibreren van de geluidssnelheid**, als functie van de diepte. Om inzicht te verkrijgen in het verlopen, als functie van de tijd, zullen deze kalibraties frequent uitgeoefend dienen te worden.

Voor bij niet zuiver verticale metingen en bij metingen in kustwateren en riviermondingen zijn de verschillende invloeden slechts op deze manier redelijk nauwkeurig te bepalen.

Om slechts één voorbeeld te geven van de frequentieafhankelijkheid van storingen kan men de grafische interpretatie van de verandering in snelheid ten gevolge van luchtbellen beschouwen (figuur 5.1).



5.1 Geluidssnelheidsverandering ten gevolge van luchtbellen als functie van de frequentie

5.1 Long Base Line plaatsbepaling (LBL)

Dit systeem bestaat uit enige **akoestische bakens** (transponders) vergelijkbaar met ondermeer het range/range systeem van de radiografische oppervlakte plaatsbepaling en een "ondervrager" ofwel "interrogator" aan boord.

De metingen zijn ook hier tijdsafhankelijk ten opzichte van de op de zeebodem geplaatste transponders. Om de positie van de "ondervrager" ten opzichte van de bakens te kunnen bepalen, zullen eerst de bakens op de zeebodem nauwkeurig in positie bepaald moeten worden. Hiervoor zijn speciale kalibratieprogramma's ontwikkeld. Het inmeten van de bakens op de bodem onderling en ten opzichte van het vaste land, met behulp van een nauwkeurig bovenwater plaatsbepalingssysteem is een zeer tijdrovende en ingewikkelde aangelegenheid.

5.2 Short Base Line plaatsbepaling (SBL)

Onder in het schip bevindt zich een array van tenminste drie interrogators en slechts een enkel bakens op de bodem.

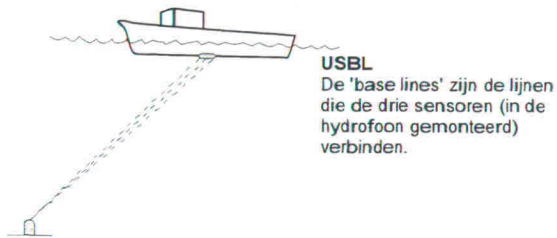
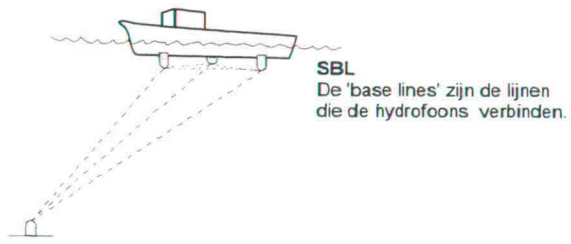
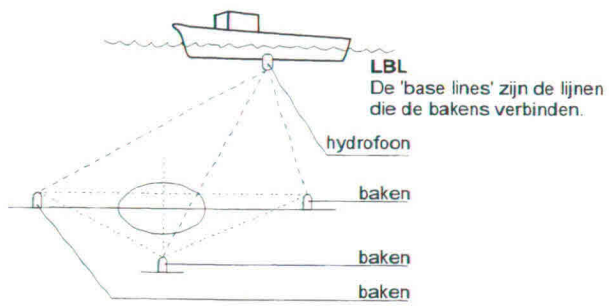
De afstanden worden hierbij bepaald door de onderlinge tijdsverschillen te vergelijken van de looptijden van het bakensignaal naar de ondervragers. Aangezien de 3 interrogators zich normaal gesproken bevinden in de asrichtingen van het schip, is het eenvoudig de relatieve positie van de 3 "hydrophones" door te rekenen naar de scheepspositie.

5.3 Ultra Short Base Line plaatsbepaling (USBL)

Men kan van het SBL systeem ook een meetinrichting maken die vele metingen per puls kan doen, door middel van fasemeting. Men kan dan de faseverschillen meten van het signaal van het bakens dat arriveert bij de array van ondervragers.

Doordat er fasemeting gedaan wordt, kunnen de ondervragers binnen de golflengte van het signaal bij elkaar opgesteld staan, dat wil zeggen enkele centimeters van

elkaar en zeer precies bekend! Daarom noemt men dit het "Ultra Short Base Line" systeem.



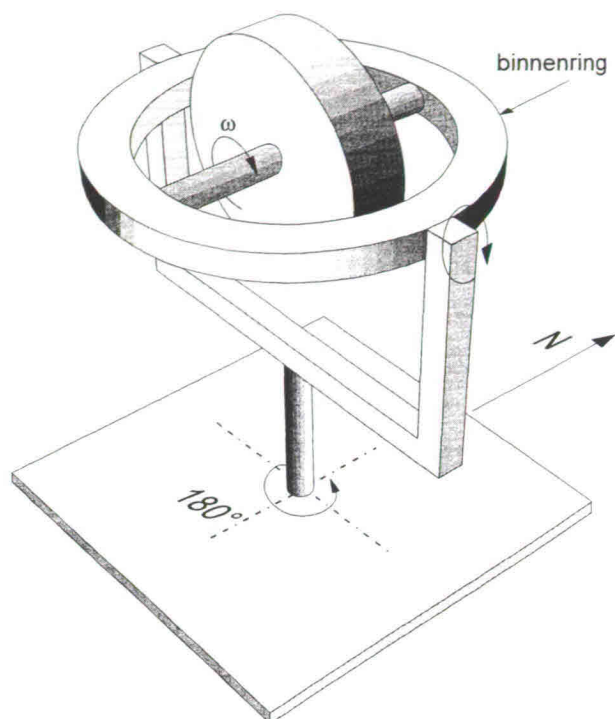
5.2 Systeemschetsen LBL, SBL en USBL

6 Andere sensoren

6.1 Gyrokompas

Het alom bekende magnetische kompas oriënteert zich op de magnetische noordpool, die niet samenvalt met de geografische pool.

Aangezien bij nauwkeurige navigatie een referentie noodzakelijk is in geografische zin en ongevoelig voor allerlei magnetische storingen, heeft het gyrokompas langzaamaan het magnetische kompas voor nauwkeurige toepassingen verdrongen.



6.1 Weringsprincipe gyrokompas

De werking van het gyrokompas berust op het verschijnsel dat een verticaal draaiend vliegwiel zich met de draaias naar het noorden tracht te richten: bij een zwevende ophanging is dat verschijnsel zeer eenvoudig waar te nemen (gyroscop). De "draaiaanwijzer" heeft dus als eigenschap dat de **TOL-as** een vaste richting in de ruimte aanneemt, zolang er geen koppel loodrecht op de as wordt uitgeoefend.

De zwaartekracht "verstoort" deze eigenschap door inderdaad een koppel uit te oefenen loodrecht op de tol-as.

De binnenring zal immers een horizontale positie in willen nemen.

De tol-as verplaatst zich loodrecht op dit versturende koppel en wel met dezelfde draairichting (de "precessie").

Deze verplaatsingen onder invloed van de zwaartekracht hebben tot gevolg dat de tol-as zich weer op het noorden richt. De tol draait met zeer hoge snelheid. Het kost tijd om die hoge snelheid te bereiken en daarna, middels een langzaam uitdempende slingering om de juiste waarde heen, de goede aanwijzing te krijgen.

Hiermede is tenmiste vier uur gemeoid.



6.2 Gyrokompas

Gyrokompassen zijn op vrijwel alle grotere schepen verplicht. Echter de gyrokompassen die ten behoeve van surveydoeleinden gebruikt worden hebben een heel hoge nauwkeurigheid. Een navigatiegyro heeft een nauwkeurigheid van circa 1 graad, een survey-gyro daarentegen soms wel 0,2 graad. Navigatiegyro's hebben een zogenaamde "synchro" uitgang, bedoeld om de gyro-repeaters op de brug te bedienen. Surveygyro's hebben een digitale uitgang, bijvoorbeeld RS-232, om direct door een computer ingelezen te kunnen worden. Soms wordt een "synchro-naar-digitaal" omzetter gebruikt, om een navigatie gyro in te kunnen lezen in een computer. Veelal worden hier omzeters van het type "Lehmkuhl" voor gebruikt.

6.2 Hellingmeters

Hellingmeters worden veelvuldig toegepast op baggerwerktuigen. Om de hoek van de snijkopladder, de hoeken waaronder een zuigbuis hangt, de hoek van een sproeibalk, enzovoort te meten worden hellingmeters toegepast. Veelal is het meetprincipe een slinger (pendulum), die verticaal wil blijven hangen en middels een potentiometer kan worden uitgelezen. Ook optische uitlezing komt voor, evenals andere meetprincipes zoals versnellingsopnemers en dergelijke.

Een belangrijke eis is dat de sensoren goed bestand zijn tegen vibraties en schokken, en uiteraard waterdicht moeten zijn. Over het algemeen worden deze sensoren beschouwd als horende bij het baggerwerktuig. Ze worden dan ingelezen door de baggercomputer, die eventueel schaalfactoren, nulpuntsverschuiving en dergelijke toepast en de waarden gebruikt voor diverse

reken- en controledoelinden. De surveycomputer verkrijgt de benodigde informatie uit de baggercomputer. In de survey computer worden met behulp van deze informatie offsets berekend van diverse punten op het baggerwerktuig.

6.3 Hoekmeters

Hoekmeters worden gebruikt voor het meten van de hoekverdraaiing bijvoorbeeld in de scharnieren van een zuigbuis of de giek of draaikrans van een kraan. Meestal zijn dit soort opnemers "synchro" opnemers, die contactloos de hoekverdraaiing meten. Ook hier wordt de informatie meestal eerst door de baggercomputer ingewonnen en daarna doorgegeven aan de surveycomputer.

6.4 Drukopnemers

Drukopnemers vindt men ingebouwd aan boord van vaartuigen om direct de inzinking te kunnen meten. Op zuigkoppen van sleepzuigers bijvoorbeeld zijn drukopnemers geplaatst om zodoende de diepte van de kop ten opzichte van het wateroppervlak te kunnen meten. Bij sommige getijmeetsystemen fungeert een drukopnemer als sensor, waarmee de hoogte van de waterkolom boven de sensor gemeten wordt.

Het principe van de meeste drukopnemers berust op het vervormen van een membraan, dat in direct contact staat met het medium waarvan de druk gemeten moet worden (het water bijvoorbeeld). Dit membraan is voorzien van opgedampte rekstrookjes, die bij een vervorming van het membraan een spanningsverschil zullen afgeven. Dit spanningsverschil is een maat voor de druk op het membraan. Drukopnemers zijn er dus in zeer verschillende bereiken en nauwkeurigheden. Meest gebruikelijk voor toepassingen op baggerwerken is een bereik van 20 à 50 meter en een nauwkeurigheid van 0,5 of 0,1% van het bereik. Het zal duidelijk zijn dat het membraan een zeer gevoelig onderdeel is, en dat het gemakkelijk beschadigd of vernield kan worden door onzorgvuldig behandelen of blootstellen aan (teveel) overdruk.

Er zijn verschillende typen drukopnemer.

De "absolute" opnemer meet het drukverschil ten opzichte van vacuüm aan de andere kant van het membraan.

De "gecompenseerde" opnemer meet ten opzichte van de buitenluchtdruk. De ene kant van het membraan staat in contact met het water en de andere kant, meestal via een zeer dun nylon slangetje in de voedingssignaalkabel met de buitenlucht.

Drukopnemers die "absoluut" zijn, meten dus de totaal-druk. Dat wil zeggen de druk van de waterkolom die er boven staat, vermeerderd met de barometrische druk. Om hieruit een waterstand of een waterhoogte te berekenen is het nodig de luchtdruk apart nogmaals te

meten en hiermee te corrigeren. Hoewel de luchtdruk over het algemeen niet snel fluctueert, heeft 1 millibar (of 1 hectopascal zoals het thans heet) toch hetzelfde effect als 1 centimeter waterkolom.

Een bui die overtrekt, en gepaard gaat met een depressie (luchtdrukverlaging) kan heel gemakkelijk een luchtdrukvariatie van 30 millibar teweegbrengen. Op de aanwijzing van een niet-gecompenseerde drukopnemer heeft dit evenveel effect als een waterstandsvariatie van 30 centimeter!

Nadat de luchtdrukcompensatie is uitgevoerd, dient het overgebleven signaal, de druk van de waterkolom, nog verrekend te worden voor de dichtheid van het water. Zo is bijvoorbeeld zout water zwaarder dan zoet water en een kolom zout water geeft een hogere druk dan dezelfde kolom zoet water. Voorbeeld: het soortelijk gewicht van gemiddeld zeewater bedraagt circa 1.020 kg/m³. Niet corrigeren betekent dus al gauw een fout van 2%.

7 Dieptemetingen

7.1 Principe van dieptemetingen

Aangezien de baggeractiviteiten zich afspelen nabij de bodem, dient er een voortdurende bepaling plaats te vinden van dit bodemniveau; ook weer om aldus het baggerproces optimaal te kunnen laten verlopen.

Een voor de hand liggende "relatie" is uiteraard de hoogte van het waterpakket boven deze bodem: het verschil tussen wateroppervlak en bodemniveau.

Het wateroppervlak wijzigt zich echter onder invloed van tal van verschijnselen (golven, getij) zodat een vaste "aangepaste" referentie wenselijk is: het **chart datum: C.D.**

Door de baggeractiviteit wijzigt zich ook het bodemniveau. Door nu de beweging van het wateroppervlak en het bodemniveau als functie van de tijd aan dit chart datum te koppelen, is het mogelijk de baggeractiviteiten optimaal uit te voeren.

De bepaling van het referentievlak, de "chart datum" komt in hoofdstuk 8 aan de orde.

De frequentie waarmee de relatieve verandering van wateroppervlak en bodemniveau opgenomen dient te worden, is natuurlijk sterk afhankelijk van de plaats en het soort werktuig.

Een sleephopperzuiger in het Nauw van Calais, die dagelijks 20 ha "bewerkt", tijdens springvloed en met een deining van 2 m, vraagt andere "voorzieningen" dan een snijkopzuiger die dagelijks 20 m vooruitstapt in een kanaaltje van 40 m breedte!

Grofweg kunnen twee soorten dieptemeting onderscheiden worden:

- "mechanische" door middel van handlood, peilstok en dergelijke
- "akoestische" door middel van echoloden en dergelijke.

7.2 Handlodingen

De handlood- en peilstokmetingen behoren nog steeds tot de meest nauwkeurige verticale meetmethodieken die er bestaan.

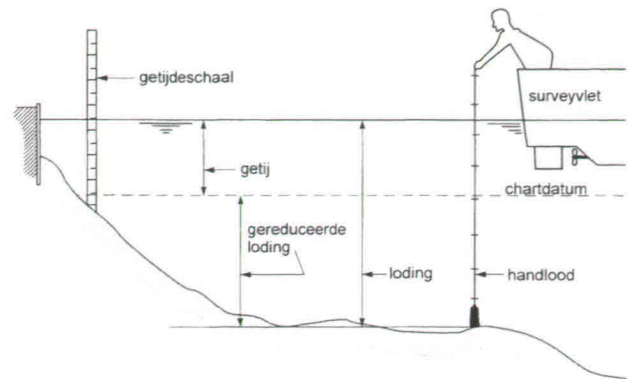
Met vrij grote zekerheid is te bepalen welk soort lagen zich op welke diepten bevinden.

De keuze van gronddruk, als resultaat van gewicht, oppervlakte van het lood of de stok, en de valsnelheid, bepalen in hoge mate waar de onderkant van het peilgereedschap zich zal bevinden ten opzichte van het wateroppervlak.

Aangezien het hier om relatief nauwkeurige metingen gaat, dient ook zeer veel aandacht besteed te worden aan de **reductiewaarde** die toegepast wordt om het bodemniveau ten opzichte van het chart datum te bepalen.

Bij sterk geaccidenteerde bodems of bij taludmetingen kunnen onder "normale" omstandigheden, meestal de beste resultaten worden bereikt met handlodingen, aan-

gezien bij metingen met een echolood de bundelbreedte van het echolood roet in het eten gooit.



7.1 Handloding

Om relatief kleine gebieden, of moeilijk toegankelijke terreinen in kaart te brengen is het handlood of de peilstok nog steeds een ongeëvenaard instrument!

Tal van varianten zijn denkbaar om plaatselijk de nauwkeurigheid nog te vergroten: starre hulpframes kunnen de gevolgen van stroming, die een niet verticale meting tot gevolg kan hebben, of andere afwijkingen, in horizontale zin, nivelleren.

Aan de andere kant komen tot voor kort nog zeer dure en ingewikkelde akoestische meetmethoden als multibeam en "swathe" echolodingen door de snelle technologische ontwikkelingen steeds vaker in aanmerking voor toepassing in "moeilijke" gebieden.

7.3 Echolodingen

7.3.1 Principe

Aangezien handlodingen dan wel nauwkeurig kunnen zijn, maar ook veel tijd en mankracht kosten, is er, evenals bij de plaatsbepaling, een min of meer elektronische oplossing bijgekomen.

Elektromagnetische golven kunnen in water niet gebruikt worden, aangezien ze te sterk verspreid worden (en sterk afgezwakt).

Daarom worden in water geluids(druk) golven toegepast.

Het is natuurlijk prettig dat door toepassing van sommige materialen op eenvoudige wijze deze drukgolven op te wekken zijn. Dit gebeurt in de zogenaamde transducer.

Deze processen zijn echter omkeerbaar, zodat de terugkerende geluidsgolven op de transducer een meetbaar effect hebben op de elektrische aansluitingen (analoog aan een luidspreker en een microfoon).

Door nu het "transducerplaatje" in een reflectoromgeving op te hangen, meestal een cilinder- of balkvormige constructie, ontstaat een transducer die de golven in een bepaalde richting stuurt.

In een echolood wordt in principe de tijd gemeten tussen het uitzenden van een geluidspuls en de ontvangst van het eerste gereflecteerde signaal (echo). De

geluidsgolf heeft in deze tijd 2 maal de afstand van transducer naar bodem, heen en terug, afgelegd. Wordt de halve tijd dus vermenigvuldigd met de voortplantingssnelheid v van de geluidsgolf, dan is daarmee de afstand van de transducer tot de bodem bekend. Wordt daar de afstand van de transducer tot de waterspiegel bijgeteld, dan is de waterdiepte vastgesteld.

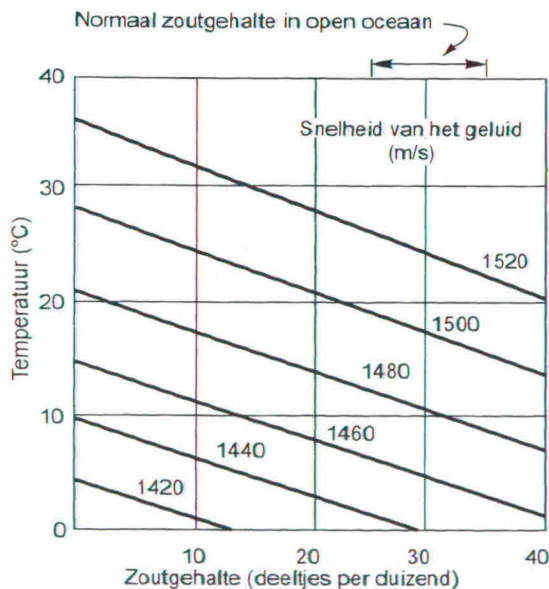
7.3.2 Geluidssnelheid en kalibratie

Een probleem is, dat de geluidssnelheid v afhankelijk is van de dichtheid en het geleidingsvermogen van het medium waardoor de geluidsgolf zich voortplant. In dit geval is dat water, waarvan die factoren worden beïnvloed door temperatuur en zoutgehalte. De geluidssnelheid v laat zich berekenen volgens de volgende formule:

$$v = 1449,2 + 4,6t - 0,055t^2 + 0,00029t^3 + (1,34 - 0,01t) \cdot (s - 35) + 0,016d$$

waarbij:

v	= geluidssnelheid	(m/s)
t	= temperatuur	(°C)
s	= zoutgehalte	(‰)
d	= waterdiepte	(m)



7.2 Invloed van temperatuur en zoutgehalte op de geluidssnelheid in water

De grote invloed van de temperatuur valt direct op alsmede dat hoe zouter het water is hoe hoger de snelheid wordt.

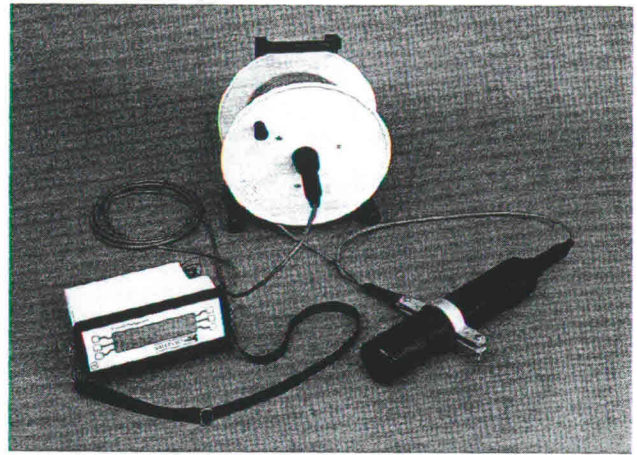
Een tweede probleem is, dat ook de afstand van transducer tot waterspiegel niet constant is. De diepgang van de transducer is met die van het schip immers afhankelijk van factoren als: aantal mensen aan boord, vracht aan boord, voorraad brandstof en drinkwater en de dichtheid van het water waarin gevaren wordt. Ook de inzinking van het schip, die verschillend is bij verschillende vaarsnelheden, de "squat", speelt een rol.

Definitie:

Onder het kalibreren van een echolood verstaat men het vaststellen en instellen van een zo juist mogelijke waarde voor de voortplantingssnelheid van geluid in water en de juiste diepgang van de transducer, alsmede het vaststellen van de resterende afwijkingen.

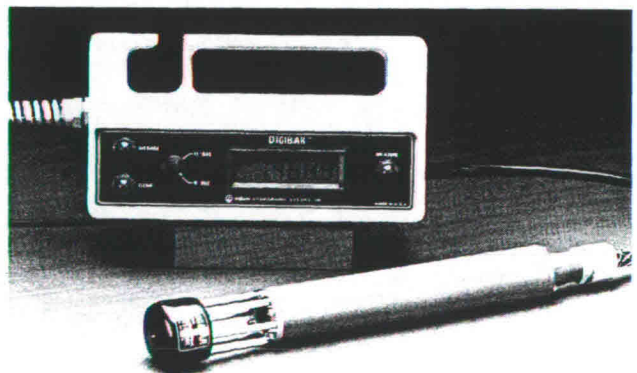
Het "kalibreren" van een echolood kan op de volgende manieren worden uitgevoerd:

- a) Door met instrumenten de temperatuur t en zoutgehalte s (of geleiding C) te meten en vervolgens v met de **formule** te berekenen, dan wel in een tabel af te lezen. Dit is ook tot grotere diepten mogelijk (Oceanografie). Voorbeeld: Valeport CTD meter



7.3 Valeport CTD meter

- b) Door met een geluidssnelheidsmeter direct de geluidssnelheid te meten. Voorbeeld: Odom Digibar



7.4 Odom Digibar

- c) Door middel van een **ijktransducer** (dit is een transducer die voorzien is van een vaste reflector of waar op een vaste ijkafstand met een paar kabels een plaat is bevestigd, die als reflector dient) v rechtstreeks zo in te stellen op diverse diepten, dat aflezing van de ijkafstand wordt verkregen (beperkte diepte door kabellengte van circa 30 m).
- d) Door een **barcheck** te doen (beperkt door lengte meetdraden).

Barcheck

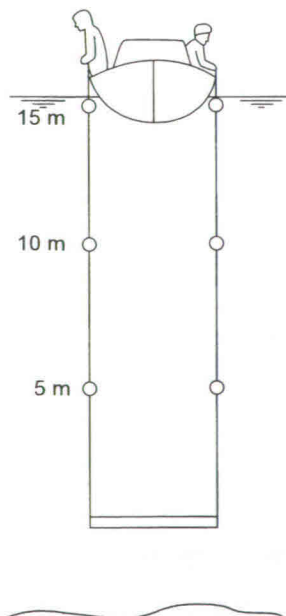
Het principe van een barcheck is, dat men een plaat of balk (bar) onder de transducer van de peilboot brengt en die met meetdraden op een bepaalde diepte onder de waterspiegel houdt. De echo wordt op het echoloodpapier grafisch zichtbaar, zodat de diepte kan worden afgelezen. Dit kan meestal ook rechtstreeks van de digitizer.

Eerst brengt men de plaat op $\frac{1}{2}$ à 1 meter onder de transducer. Op deze geringe diepte speelt een kleine afwijking in v geen rol. Als de diepte, die het echolood aangeeft, niet overeenstemt met die van de meetdraden moet de transducerdiepte op het echolood worden bijgesteld tot het wel klopt. De werkelijke transducerdiepte is nu gevonden.

Hang vervolgens de plaat zo diep mogelijk op een "bekende" diepte. Geeft het echolood nu een afwijkende diepte aan, dan moet v bijgesteld worden.

Men haalt de plaat nu bijvoorbeeld 2 meter op, even wachten, weer 2 meter enzovoort, tot men weer boven is. Op het echoloodpapier ontstaat nu een trapjeslijn. In ideaal homogeen water zouden nu alle echo's precies op de goede diepte moeten staan, echter in de praktijk is het water niet homogeen, maar is vaak gelaagd, waarbij de diverse lagen kunnen verschillen in temperatuur en zoutgehalte! Veelal staan de echo's dus niet op de goede diepte.

Door nu een tabel aan te leggen van werkelijke en geregistreerde diepten kan men na het uitlezen van een peiling van de papierrol, de gevonden diepten corrigeren naar de werkelijke waarden.



7.5 Barcheck methode

Bij automatische gegevensverwerking kan men zelfs uitgaan van een "vaste snelheid" bijvoorbeeld 1500 m/s.

Vervolgens maakt men een tabel, middels een barcheck, van werkelijke en gemeten diepten. Het programma corrigeert de gemeten diepten dan naar de werkelijke. Men moet dan wel bedenken, dat de papierregistratie dan niet meer klopt met de werkelijkheid.

Voor in zeewater moet ondanks deze voortdurende kwaliteitsbewaking niet verwacht worden, dat normaal gesproken bij echoloodmeting nauwkeuriger gewerkt kan worden dan ongeveer 5‰ (tenminste 10 cm op 20 m diepte!)

Om dit te bereiken dienen alle kalibratiefaciliteiten optimaal te zijn!

Resumerend kan gesteld worden dat de volgende foutbronnen een rol spelen bij dieptemetingen:

- transducerdiepte en squat
- voortplantingsnelheid van het geluid
- invloed van getij-correctie
- invloed van de relatie plaatsbepaling en diepte
- invloed van gebruikte frequentie en bundelbreedte
- relatieve bewegingen van het peilvaartuig
- interpretatie en instrumentfouten.

Voor de schatting van "nauwkeurigheden" van peilingen op zich, kunnen de volgende vuistregels gebruikt worden.

diepten tot 30 m : 0,20 m + 0,6% d

van 30 tot 60 m : 0,15 m + 0,7% d

7.3.3 Frequentie

Hogere (geluids)frequenties hebben een geringer door-dringend vermogen dan lagere frequenties.

Hoog-frequente geluidsgolven worden door kleinere deeltjes teruggekaatst dan geluidsgolven van een lagere frequentie.

In de hydrografie worden in dit verband twee frequenties vaak toegepast, die van ongeveer 30 kHz en die van ongeveer 210 kHz.

De **golflengte** staat rechtstreeks in verband met de **frequentie**. Neemt men een geluidssnelheid in water aan van 1500 m/s, dan is bij een frequentie van 30 kHz de golflengte 5 cm, aangezien ook hier geldt: golflengte = snelheid / frequentie

De transducer die de geluidspulsen naar de bodem stuurt, heeft een bepaalde openingshoek. Dat wil zeggen de geluidspulsen worden uitwaaiierend, als een kegelvorm, weggezonden.

De tophoek van deze kegel, de openingshoek van de transducer, wordt bundelbreedte genoemd. Deze bundelbreedte is van groot belang voor de nauwkeurigheid waarmee gemeten kan worden.

De bundelbreedte is afhankelijk van de gebruikte frequentie en van de afmetingen van de transducer.

Hoe lager de frequentie, hoe groter de bundelbreedte.

Hoe lager de frequentie, hoe groter de transducer.

Om de bundelbreedte te verkleinen, kunnen meerdere transducers van dezelfde frequentie gecombineerd worden, dus:

Hoe groter de transducer, hoe kleiner de bundelbreedte.

Het **210 kHz** signaal wordt reeds door een laag met geringe dichtheid, bijvoorbeeld dunne slib, gereflecteerd. Het **30 kHz** signaal dringt hier doorheen tot het door een laag met grotere dichtheid wordt gereflecteerd.

Met een nog lagere frequentie kan men nog dieper in de bodem doordringen; daarmee is men aangeland in het overgangsgedebied van Hydrografie naar Geofysica.

Er zijn hydrografische echoloden, die 15 en soms zelfs 12 kHz gebruiken, altijd in combinatie met 210 kHz, om de bovenste bodemlaag aan te tonen. Met deze zogenaamde penetrerende echoloden, kan men vaak de hardere bodemlaag onder slib aanpeilen, mits de sliblaag niet al te dik is.

Met nog lagere frequenties (van 10 kHz en lager) maken de zogenaamde **SUB-BOTTOM PROFILERS** hun entree. Hiermee is het mogelijk om aanmerkelijk dieper in de bodemlagen te kijken, al moet er rekening mee worden gehouden dat dit ten koste van het oplossend vermogen gaat. De golflengte van een 5 kHz signaal is immers al 30 cm!

Ook is de geluidssnelheid in hardere lagen hoger dan in het water (in een dichter medium is de voortplantingsnelheid van het geluid hoger) en hiermee dient dan ook rekening gehouden te worden bij het detecteren van gegevens uit de "sub-bottom"!

De verticale schaal, zoals gevonden bij de kalibratie van het echolood in water, kan niet zonder meer gebruikt worden (zie ook 7.5).

7.3.4 Bundelbreedte

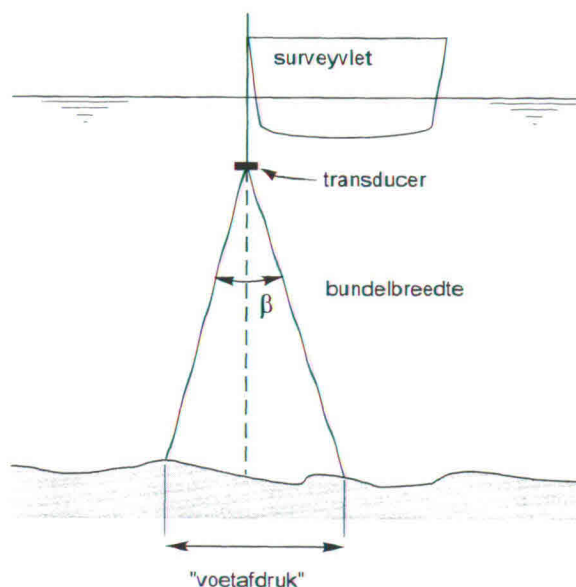
Om het begrip **bundelbreedte** wat meer inhoud te geven, dient men te beseffen dat langs de as, loodrecht op de transducer, de grootste trillingsenergie zich voortplant.

De opgewekte geluidssterkte zal afnemen naarmate de afstand tot de transducer-as groter wordt, als de bundel uitwaaiert.

Ook zal de sterkte afnemen naarmate de afstand tot de transducer groter wordt, bij grotere waterdiepten dus.

Men definieert nu de bundelbreedte als de verzameling punten (een "kegel"), waarop de halfwaarde van de sterkte, behorend bij de projectie op de transducer-as bereikt is.

In de top van deze kegel ligt de transducer.



7.6 Bundelbreedte

De tophoek van deze kegel noemt men de bundelhoek die zich laat omschrijven door:

$$\beta = 65 \cdot \frac{L}{D}$$

waarbij:

λ = golflengte (m)

D = diameter (m)

Bij een 30 kHz transducer van 11 cm is β dus 30° .

Bij een zelfde transducer en 200 kHz al minder dan 5° .

Bij rechthoekige transducers worden deze waarden:

$$\beta_L = 50 \cdot \frac{\lambda}{L} \text{ en } \beta_b = 50 \cdot \frac{\lambda}{b}$$

(L en b lengte en breedte van de balktransducer)

Bij 30 Kc en 50 maal 5 cm: in lengterichting dus 5° / in breedterichting 50° .

Transducers met deze "karakteristieken" zijn in gebruik ten behoeve van "Side Scan Sonars" (SSS).

De **bundelbreedte** is geen duidelijk definieerbaar begrip in wiskundige zin, en tal van verstoringen hebben invloed op de "breedte".

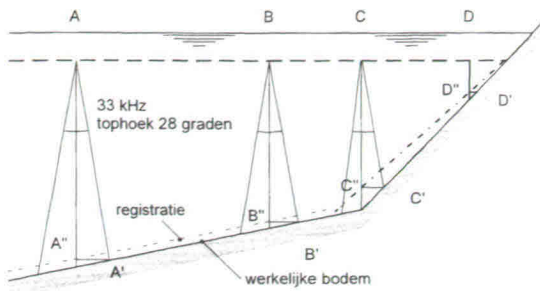
Het effect van de bundelbreedte op echolodingen is echter zeer groot.

In "alle gevallen" zal echter het echolood de "punten" in het bundelgebied registreren die het "dichtst" bij liggen; de echo's van deze punten zijn tenslotte het eerst terug.

Dit kan onder andere tot gevolg hebben dat relatief smalle sleuven niet geregistreerd worden en dat in het algemeen oneffenheden verminkt zichtbaar worden.

Bovendien zal de afwijking van de "werkelijke" diepte altijd naar ondiepere waarden leiden.

Een frappant voorbeeld van deze "eigenschap" vindt men in de taluds.



7.7 Echolood info in taludsituatie

Aangezien een dergelijk profiel (figuur 7.7) een specifieke "bagger" situatie weergeeft, dient deze problematiek een hoge prioriteit te verkrijgen.

Duidelijk is ook te zien, dat de afwijking, die aanzienlijk kan worden, een functie is van de taludhelling, de waterdiepte en de bundelhoek.

Indien de bundelhoek zodanig klein is dat de "kortste" afstand buiten de bundel valt, zal de afwijking ook evenredig kleiner worden!

Er zijn transducers beschikbaar met zeer kleine bundelhoeken, bijvoorbeeld 3 graden bij een frequentie van 210 kHz is een veel toegepast type transducer. Men moet hierbij echter goed bedenken dat de voordelen van deze kleine bundelhoek alleen opgaan bij scheepsbewegingen die ook binnen die 3 graden (ofwel +1,5 en -1,5 graden) liggen. Over het algemeen zal een peilvlet al snel meer slingeren dan deze waarde, zodat dan niet meer verticaal onder de transducer gemeten wordt en het effect van de kleine bundelhoek door de positiefout weer teniet gedaan wordt.

7.3.5 Invloed van scheepsbewegingen

Een veel grotere "verstoring" dan bij de geluidssnelheid is aangetoond, treedt op door bewegingen van het schip en dus de transducer, ten opzichte van het referentievlak.

Het "rollen" van een schip, en in mindere mate het stampen, zal vooral bij smallere bundels tot gevolg hebben, dat niet de bodem loodrecht onder het schip wordt aangemeten, maar de afstand naar een verder gelegen bodem segment.

Afhankelijk van de diepte en rolbeweging kunnen deze afwijkingen aanzienlijk zijn. Er moet dan ook gesteld worden, dat het rollen en stampen van de peilvlet "binnen" de grenzen van de bundelhoek moet blijven om nog verantwoord peilingen te kunnen uitvoeren.

Behalve het aspect hoekverdraaiing kan ook de werkelijk verticale beweging van het schip, onder invloed van deining bijvoorbeeld een zeer belangrijke verstoring teweeg brengen!

Deze beide verschijnselen kunnen opgevangen worden door respectievelijk hellingmeters, gyro gestabiliseerde platformen en (tegenwoordig het meest toegepast) deiningcompensatoren toe te passen. Steeds meer worden bij baggerwerken ook deze deiningcompensatoren

("heave" of "motion" compensatoren) toegepast. Hoewel deze apparatuur duur is, verbetert het de werkbaarheid. Men kan langer doorgaan met peilen.



7.8 TSS 330 serie motion sensors

Bij het gebruik van uitermate nauwkeurige plaatsbepalingssystemen, zoals de DGPS/RTK systemen, die centimeter nauwkeurigheden in X, Y en Z richting geven, is het uiteraard van belang voor alle scheepsbewegingen te corrigeren.

Hier worden dan ook zeer gevoelige (en kostbare) heave, roll en pitch meters (motion-compensators) toegepast.

Een ander verschijnsel dat de door kalibratie gevonden waarden "verstort" is de zogenaamde *squat*.

Aangezien het kalibreren met stilliggend vaartuig gebeurt en het peilen met een zekere snelheid, treedt een extra verplaatsing van de transducer op door het "inzinken" van de peilvlet.

Vooral bij kleinere vaartuigen kan de verticale verplaatsing als functie van de snelheid aanzienlijke waarden bereiken, mede afhankelijk van de rompvorm.

Het is noodzakelijk een zeker grafisch inzicht te hebben in deze verplaatsing.

Per schip zal dit als functie van de snelheid geïjkt moeten worden.

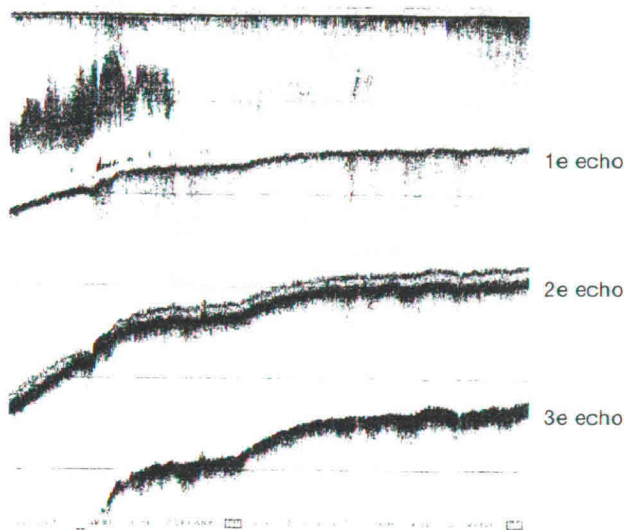
Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan een bekende "vaste" referentie op de bodem, of door een ijkplaat die op vaste diepte is opgehangen met verschillende snelheden te "overvaren" en de bijbehorende echolood-registratie als basis te gebruiken voor een "verstoringgrafiek".

Bij al deze overwegingen is het voornaamste aspect bewust te zijn van invloeden die de nauwkeurigheid verstoren en als functie van deze verstoringen het rand-

voorwaardenpakket bij de berekeningen te optimaliseren.

7.3.6 Andere verstoringen

Een **dubbele echo**, een vaak optredend verschijnsel, doet zich voor, indien de uitgezonden geluidspuls via onderkant schip en/of wateroppervlakte opnieuw richting bodem wordt weerkaatst en pas daarna de transducer bereikt; meestal is dit een minder "sterk" signaal en wordt het zichtbaar als "schaduw" op ongeveer dubbele diepte. Zo kan men ook soms een derde en vierde echo onderscheiden. Deze echo's kunnen verdwijnen door de ontvangstgevoeligheid van het echolood wat terug te draaien, al moet men hier zeer voorzichtig mee omgaan.



7.9 Een echogram met eerste, tweede en derde echo duidelijk zichtbaar

In het algemeen kunnen de echoloodmetingen aan ernstige verstoringen onderhevig zijn:

- 1 ONJUISTE instelling van de **geluidssnelheid**;
- 2 ONJUISTE afstelling van de **NUL-lijn**;
- 3 Scheepsbewegingen: inzinken tijdens varen: **squat**
golfbewegingen: **heave**, "slingeren" **roll** en "stampen" **pitch**.
- 4 Bodemgesteldheid: indien sliblagen geregistreerd worden, kan de navigatiediepte wel eens aanzienlijk groter zijn dan de aangegeven waterdiepte; vooral bij hoogfrequente lodingen (210 kHz) is dit een vervelende verstoring.
NB: Bodemlagen met een dichtheid tot 1200 kg/m^3 worden in sommige gevallen beschouwd als "water" in nautische betekenis!
- 5 Bodemprofiel: de geluidskegel, die het echolood uitzendt, treft de bodem over een cirkel- of ellipsvormig oppervlak. De diepte die wordt geregistreerd, is de diepte van die echo, die het eerst terug is bij de transducer, oftewel het ondiepste punt. Een put binnen diezelfde ellips wordt dus niet "gezien".
- 6 Ondiep water: bij waterdiepten van minder dan circa 3 meter kunnen de 30 kHz transducers geen bruikbaar plaatje meer produceren: de transducers dienen

gescheiden te worden in een apart zend- en ontvangstelement.

Het proces van het uitzenden van geluidspulsen verloopt met grote snelheid; tot zo'n 10 keer per seconde. Indien de transducer als zender en als ontvanger fungeert, heeft dat tot gevolg dat diepten groter dan 70 meter niet meer geregistreerd kunnen worden.

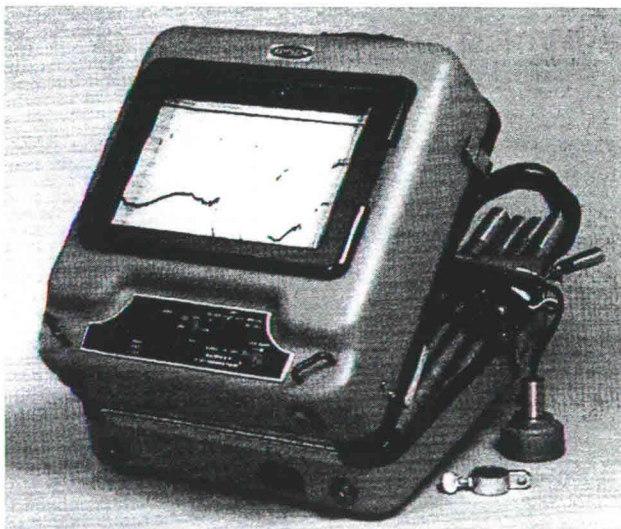
De moderne echoloden en zeker de hydrografische, veranderen dan de snelheid tot bijvoorbeeld 2 keer per seconde.

Ook de pulsduur, omdat voor grotere diepte nu eenmaal sterkere pulsen nodig zijn, wordt aangepast: bijvoorbeeld van 0,3 tot 4 milliseconde.

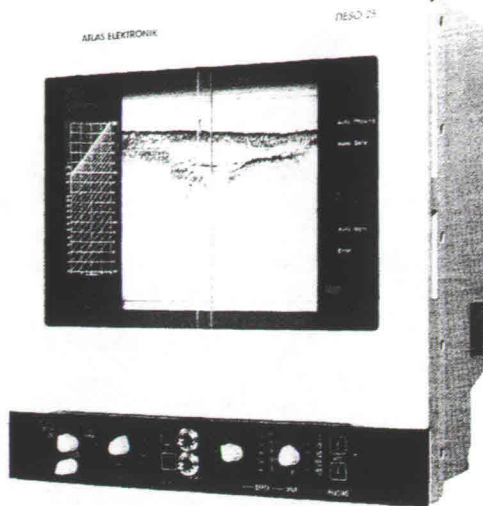
Het grote aantal metingen kan nu gebruikt worden om ongewenste echo's uit te "filteren": men stelt een venster in, waarbij het tevens mogelijk is door middel van statistische berekeningen inzicht te verkrijgen in de nauwkeurigheid van de meting zelf.

Dit geschiedt door een "automatisch" proces met tussenkomst van een digitaliseer inrichting: de **echo sounder digitizer** (die uiteraard het middelen op zich niet verzorgt!).

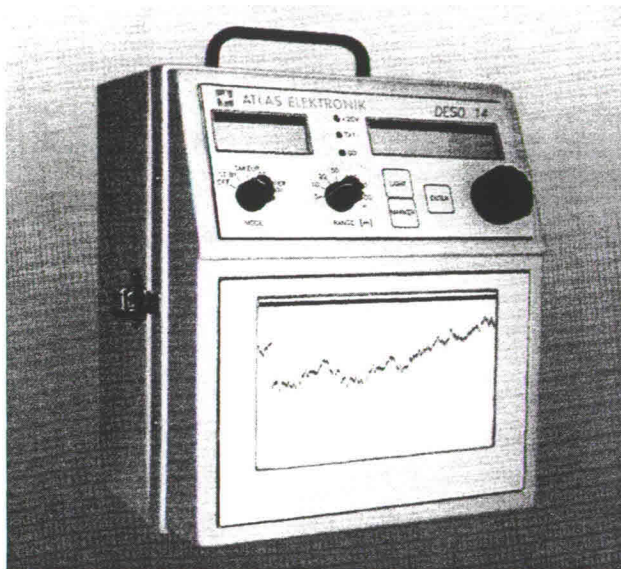
Een aantal veel gebruikte moderne echoloden zijn:



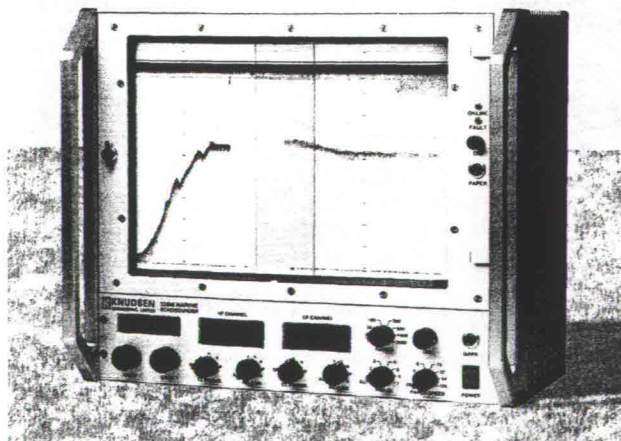
7.10 Raytheon DE 719 portable, 210 kHz



7.11 Atlas Deso 20 serie (20, 22, 25), 210 en 33 of 15 kHz



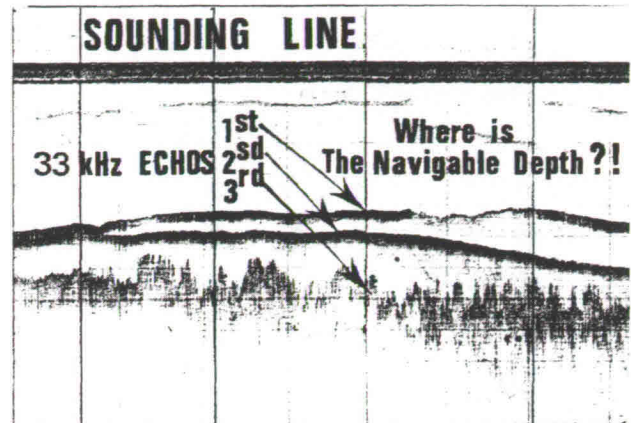
7.12 Atlas Deso 14 (210 of 33 kHz)



7.13 Knudsen 320 M (210 en 33 kHz)

7.4 Slibdichtheden, nautische diepte

In sommige havens wordt tegenwoordig een bepaalde dichtheid gedefinieerd als nog toelaatbaar om doorheen te varen, de zogenaamde "nautische diepte". Veelal is dit een dichtheid van 1200 kg/m^3 . Een bepaalde dichtheid kan echter niet met akoestische technieken (echo-lod) worden aangetoond of gemeten. Alleen dichtheidsovergangen, sprongen kunnen een akoestische reflectie geven.



7.14 Wat is de nautische diepte?

Voor het meten van de absolute dichtheid, om de nautische (bevaarbare) diepte aan te tonen, moeten dan ook andere methoden toegepast worden.

Twee methoden worden algemeen toegepast:

- a) radioactief
- b) stemvork

De radioactieve metingen kunnen onderscheiden worden in verstrooiing (backscatter) en transmissie meetprincipes. In beide gevallen zendt een radioactieve bron straling uit in zijn directe omgeving. Bij de verstrooiingsmethode wordt met een ontvanger die boven of onder de bron is geplaatst, gemeten hoeveel straling gereflecteerd wordt door de slibdeeltjes. Dit is (na ijking) een maat voor de hoeveelheid slib.

Bij de (modernere) transmissiemethode zijn bron en ontvanger op zekere (korte) afstand van elkaar geplaatst. Door slibdeeltjes in het water wordt een deel van de straling van de bron tegengehouden en zal de ontvanger niet bereiken. Na ijking is deze transmissie een maat voor de hoeveelheid slib.

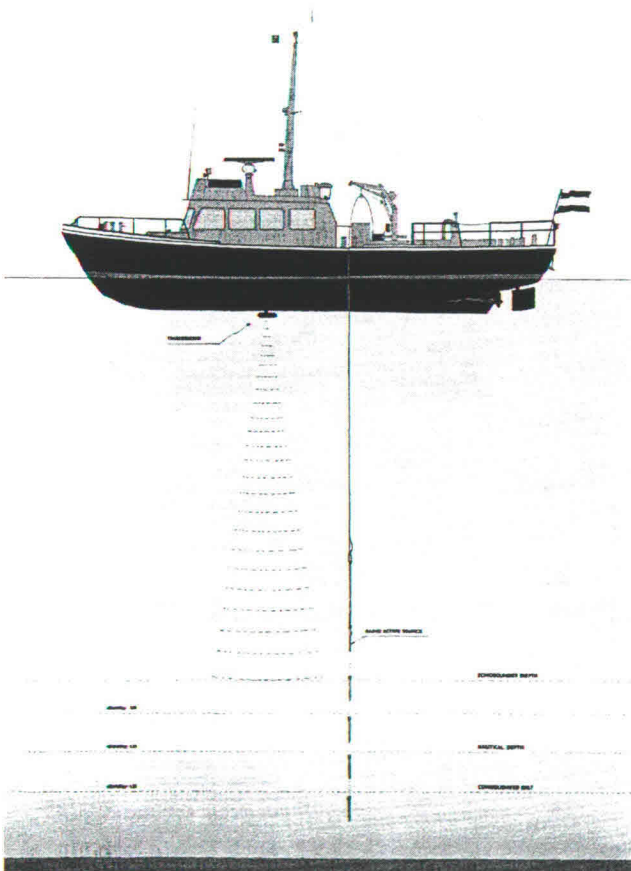
De radioactieve metingen kunnen zeer nauwkeurige resultaten geven. Indien men de opnemer door het water en de sliblagen laat zakken, kan een profiel weergegeven worden van de verdeling van de slibdichtheid in de verticaal.

Een speciale uitvoering van deze methode is de "Navitracker", waarbij het meetsysteem gekoppeld is aan een liersysteem. Al varende zal de visvormige opnemer zakken totdat een bepaalde, vooraf ingestelde dichtheidswaarde overschreden wordt. Dan wordt de vis automatisch weer omhoog getrokken, totdat de

ingestelde waarde weer (nu naar boven) overschreden wordt, daarop zakt de vis weer. De vis zal dus zig-zag verticaal door het water bewegen om een ingestelde dichtheidswaarde heen.

De eerder beschreven methoden geven uitsluitend puntmetingen ofwel een serie metingen in de verticaal.

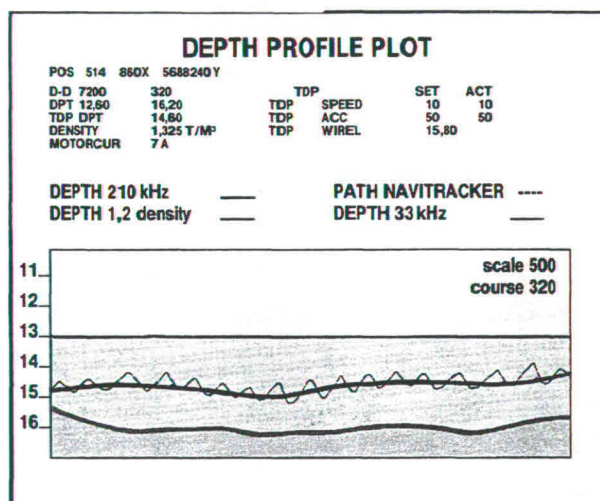
Een nadeel van de radioactieve methoden is de prijs. Deze systemen zijn erg duur, ongeveer 6 tot 10 keer zo duur als de instrumenten die meten volgens het stemvork-principe. Ook is het gebruik en het vervoer (in- en uitvoer!) van radioactieve bronnen aan strenge regels gebonden. Voor het bedienen van dergelijke apparatuur zijn bepaalde certificaten vereist.



7.15 Slibdichtheidsmeting backscatter principe



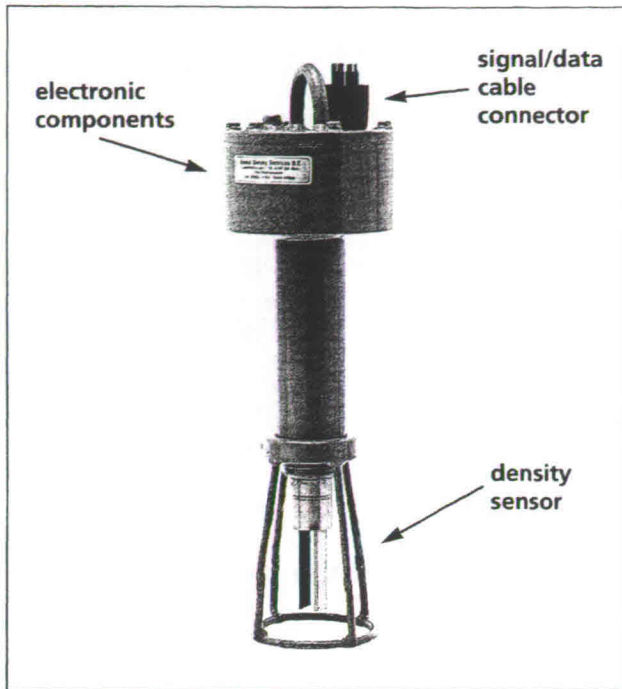
7.16 De "Navitracker"



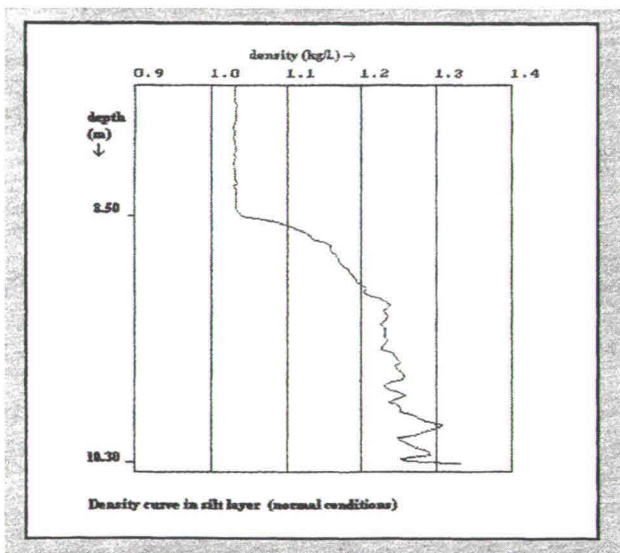
7.17 Voorbeeld meetresultaat van de "Navitracker"

Het stemvork-principe berust op het feit dat een (meta-) staafje, dat in trilling gebracht wordt met een bepaalde frequentie, gedempt zal worden door de aanwezigheid van slibdeeltjes in het water. Echter niet alleen de slibdichtheid veroorzaakt een demping, ook de viscositeit speelt een belangrijke rol bij dit type meting. Ook hier is dus een zorgvuldige ijking van de sensor voor het ter plaatse voorkomende slib absoluut vereist. De instrumenten werkend volgens het stemvork-principe zijn beduidend goedkoper dan de radioactieve instrumenten en bovendien kleiner en handelbaarder.

Nadeel is dat de metingen wat minder nauwkeurig zijn dan bij het radioactieve principe. Echter de nauwkeurigheid zal meestal voldoende blijken te zijn voor het gebruik bij baggerwerkzaamheden ten behoeve van de bepaling van de "nautische diepte".



7.18 STEMA in-situ density meter



7.19 Dichtheidsverticaal gemeten met de STEMA density probe

Voor alle technieken waarbij slibgehalte in water gemeten wordt, geldt dat een zeer zorgvuldige ijking voor het slib daar ter plaatse en zelfs in die periode van het jaar vereist is.

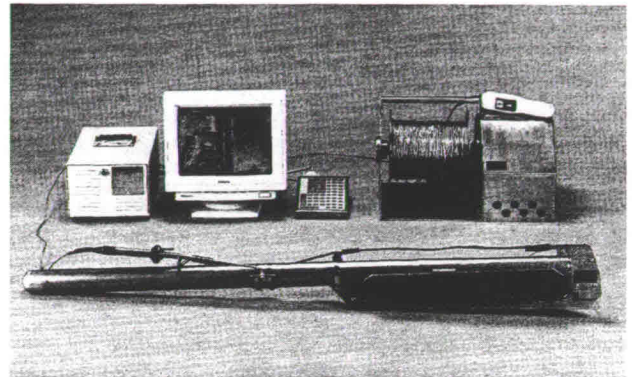
De samenstelling van het slib zal van plaats tot plaats anders zijn en kan zelfs op dezelfde plaats per seizoen verschillen (denk aan rivierafvoer, moesson en dergelijke). De beste ijkmethode is monsters te nemen van het slib-water mengsel. Een flinke hoeveelheid monster maakt het dan mogelijk de te ijken slibdichtheidsmeter hierin te hangen en een uitlezing te verkrijgen. Vervolgens zal op de traditionele wijze door middel van bemonstering, filtratie, drogen, wegen het absolute slibgehalte bepaald kunnen worden. Als deze ijking herhaald wordt voor verschillende slibconcentraties, verkrijgt men een kali-

bratiekromme voor het betreffende apparaat geldig voor het slib op die plaats en in die periode.

7.5 Side Scan Sonar

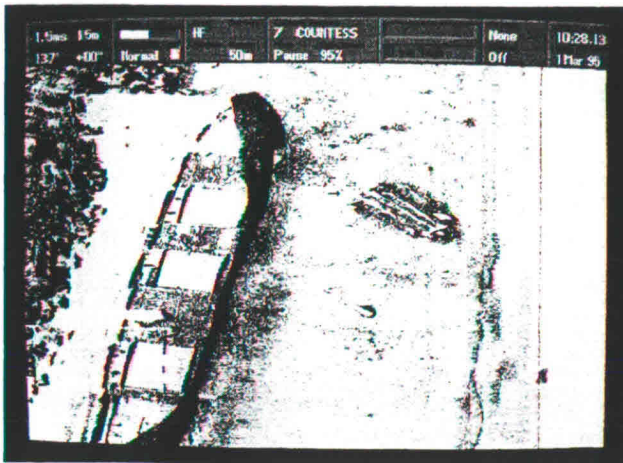
De **Side Scan Sonar** bestrijkt met een bundel akoestische energie een smalle strook van de bodem loodrecht op de vaarrichting, meestal zowel links als rechts.

De Side Scan Sonar bestaat meestal uit een stel langwerpige transducers, ingebouwd in een visvormig lichaam, dat achter de peilboot aan wordt gesleept, een paar meter boven de bodem. De transducers zenden akoestische (geluids)pulsen uit die waaivormig, loodrecht op de vaarrichting over de bodem strijken. Objecten, obstakels op de bodem geven een goede reflectie van deze pulsen, terwijl daarachter een akoestische schaduw ontstaat.



7.20 C-MAX Side Scan Sonar system

Men verkrijgt aldus een beeld van de bodem als een luchtfoto met een zeer laagstaande zon, waardoor schaduwen extra geaccentueerd worden. Oneffenheden worden zo gesignaleerd en er kan zelfs een schatting van de hoogte van die oneffenheden gemaakt worden. Absolute hoogteligging kan niet bepaald worden met de Side Scan Sonar, hiervoor zijn echolood of multibeam technieken noodzakelijk. Aangezien de Side Scan Sonar echter wel een duidelijk beeld kan geven van eventuele oneffenheden in een brede strook ter weerszijden van de vaarrichting (meestal instelbaar van 25 tot 300 meter) wordt dit apparaat vaak toegepast om een gebied te controleren op de aanwezigheid van obstakels. De aard en grootte daarvan moeten met andere technieken worden vastgesteld (echolood, multibeam).



7.21 Fraaie opname van het linkerkanaal van een dual side scan systeem

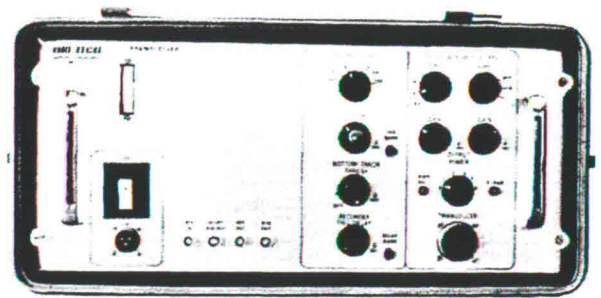
7.6 Sub-bottom profiling

De Sub-bottom Profiler is, zoals gemeld bij 7.3.3, een echolood dat, afhankelijk van de frequentie tot enige tientallen meters in de bodem kan penetreren.

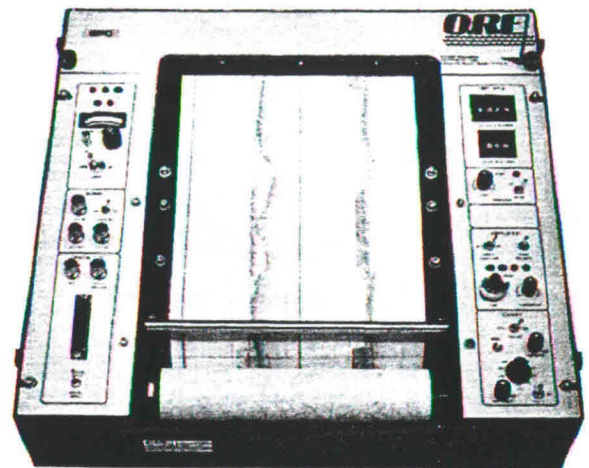
Hiermee kunnen pijpleidingen, bodemlagen en meer algemene geofysische informatie "opgespoord" worden.

Zoals eerder aangegeven geldt, hoe lager de frequentie, hoe dieper het signaal de bodem indringt. Echter ook, hoe lager de frequentie, hoe minder het oplossend vermogen wordt. Ook moet er rekening mee worden gehouden dat de eventueel aangegeven laagdikten (van slib op zand bijvoorbeeld) niet direct van de registratie afgelezen kunnen worden, aangezien de voortplantingsnelheid van de geluidsgolven afhankelijk is van onder andere de dichtheid van het materiaal. Voor de interpretatie van deze sub-bottom profilings zijn altijd boringen, vibrocores of een andere manier van direct meten van de werkelijke laagdikten noodzakelijk.

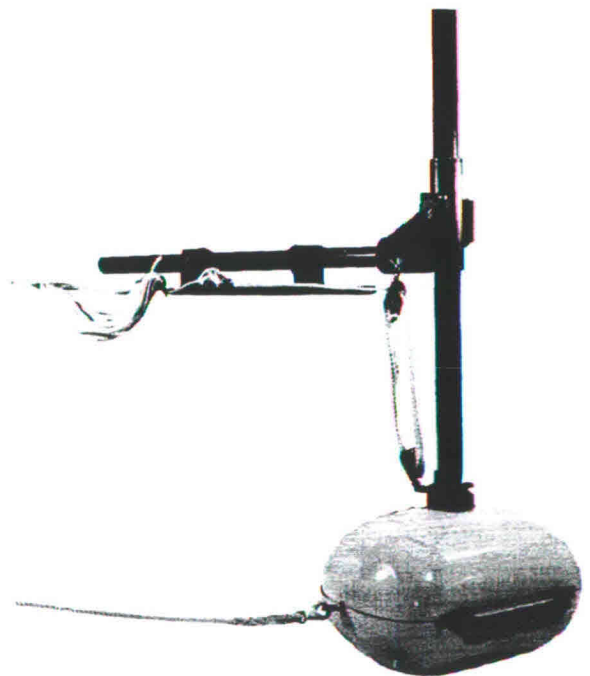
Op baggerwerken worden deze systemen toegepast om bijvoorbeeld de dikte van sliblagen op zand, of zandlagen op rotsbodem, pijpleidingen of andere obstakels in de (zachte) bodem aan te tonen.



Transceiver

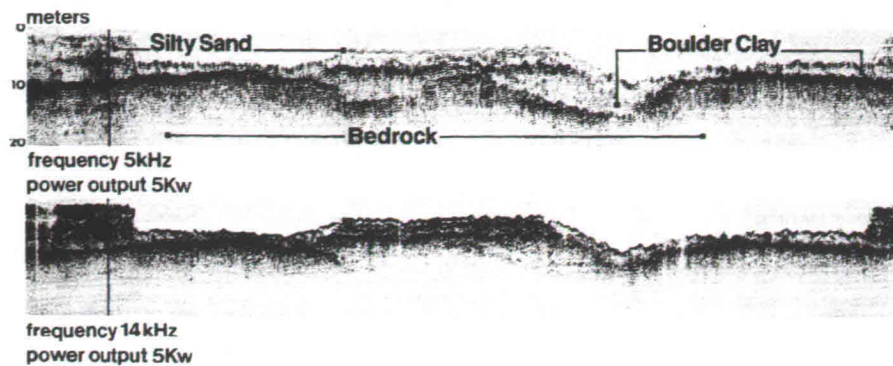


Recorder



Transducer Array

7.22 Sub-bottom profiler met over-the-side transducerarray (O.R.E.)



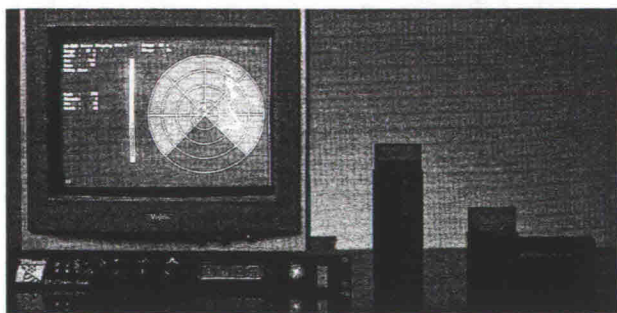
7.23 Verskil in penetrerend en onderscheidend vermogen bij 5 kHz en bij 14 kHz

7.7 Profilers

7.7.1 Mechanische profilers

Profilers zijn apparaten waarmee akoestisch een bepaalde sector kan worden afgetast. Het werkingsprincipe is vrijwel gelijk aan dat van het echolood, alleen maakt de profiler gebruik van een transducer met een hele nauwe bundel, grootte orde 1,5 maal 1,5 graden. Deze transducer kan nu in discrete stapjes gedraaid worden, waarbij dan, als de profiler naar beneden gericht is, een strook op de zeebodem kan worden afgetast. Als de profiler over een sector van 90 graden (+ en - 45 graden ten opzichte van de verticaal) kan draaien, dan wordt een strook ter breedte van 2 maal de transducerhoogte boven de zeebodem afgetast.

Aangezien profilers de transducer in stapjes, mechanisch, bewegen, duurt een scan (het aftasten van een sector) enige tijd. Zo duurt bijvoorbeeld een scan over 120 graden, met stapjes van 1,5 graad, ongeveer 6 seconden. Deze waarden zijn uiteraard afhankelijk van het type profiler, de range, enzovoort. De profilers werken meestal met een hoge frequentie, 200 kHz of hoger, en zijn zeer nauwkeurig. Uit het feit dat een sectorscan al gauw enkele seconden duurt, blijkt meteen het nadeel van de mechanische profiler. Gedurende de scan moet de transducer absoluut niet bewegen, of de bewegingen moeten zeer nauwkeurig gemeten worden en de meetresultaten dienen dan later voor de bewegingen gecompenseerd te worden.



7.24 Tritech Scanning Sonar ofwel profiler

Mechanische profilers worden nog veel toegepast op ROV's (Remote Operated Vehicles), als bijvoorbeeld de

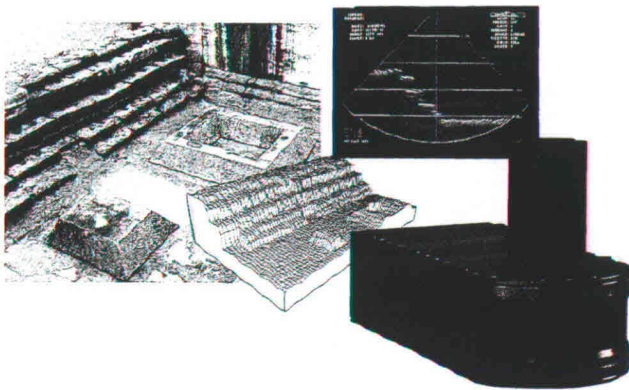
ligging van een pijpleiding op de zeebodem gecontroleerd moet worden. Hierbij wordt dan de ROV op de pijpleiding geplaatst, en dan wordt de scan genomen. Hierbij staat de transducer dus stil tijdens de meting. Het gebruik van mechanische profilers wordt minder naarmate de multibeam technieken (zie hierna) terrein winnen. Een mechanische profiler is echter vele malen goedkoper dan een multibeam sonar en daarom zeker voor bepaalde toepassingen nog in gebruik.

7.7.2 Multibeam technieken

Een multibeam sonar is eigenlijk gelijk aan een profiler, alleen wordt hier de transducer niet mechanisch bewogen. Bij de moderne "multibeams", zoals deze systemen gewoonlijk genoemd worden, (echter ook wel "padloaders" of "swathe bathymetry") wordt een geluidspuls in één keer over de meetsector uitgezonden. Een samenstel van kleine transducer elementen, de "array" wordt elektronisch gestuurd om zo hele kleine, zeer nauwkeurig gerichte ontvang elementen te vormen. Deze elementen worden elektronisch zeer snel achter elkaar afgetast, waardoor een akoestisch beeld van de gehele bestreken sector wordt gevormd. De ontwikkelingen op het gebied van multibeams gaan razendsnel. De sector wordt steeds groter, de frequentie van de scans neemt voortdurend toe, evenals de nauwkeurigheid. Een paar voorbeelden:

De RESON Seabat 9001 heeft een openingshoek (sector) van 90 graden, en een ontvangstarray van 60 elementen van 1,5 bij 1,5 graden. Eén scan levert dus 60 metingen op.

Er worden 30 scans per seconde genomen.



7.25 Reson SEABAT multibeam system

De SIMRAD EM 3000 heeft een openingshoek van 120 graden, met 127 ontvangstelementen. De scan rate bedraagt maximaal 50 scans per seconde.

De ATLAS Fansweep 20 heeft weer een ander meetprincipe, maar produceert maximaal 1440 dieptes acht maal per seconde over een strook die varieert van 1 tot 12 maal de waterdiepte.

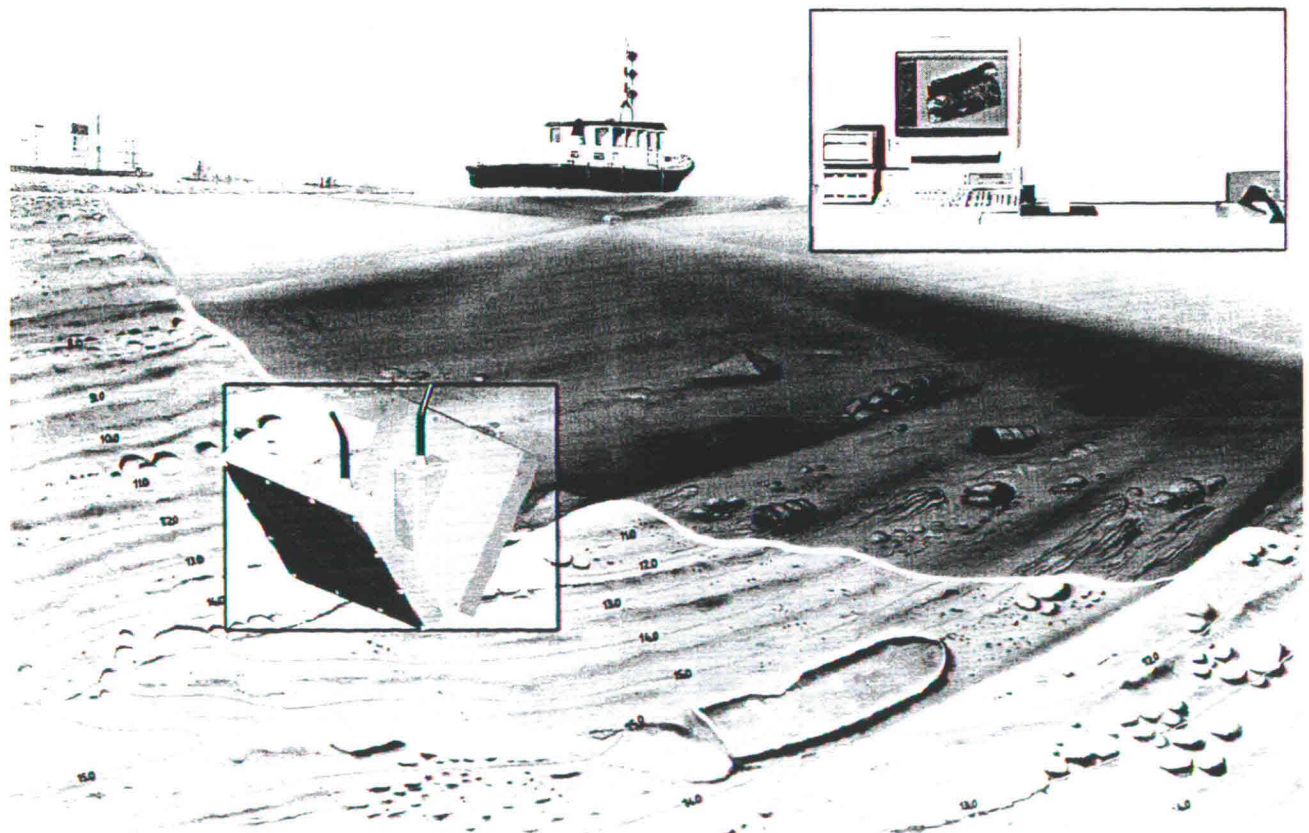
Afgezien van de hierboven genoemde systemen, zijn er nog veel meer "multibeams" op de markt. Sommige

hebben een gecombineerde Side Scan Sonar optie, sommige werken zelfs volgens het principe van de SSS en gebruiken interferometrische technieken. Uit deze veelheid van systemen, die continu aan snelle ontwikkelingen onderhevig zijn, moet de surveyor een keus maken, gebaseerd op de optimale combinatie van inzetbaarheid voor bepaalde werkzaamheden en prijs.

Het merendeel van de ondiepwater multibeam systemen heeft een nauwkeurigheid van 5 tot 10 cm verticaal. Naarmate de beams verder uitwaaiëren, zal de verticale nauwkeurigheid wat minder worden. Bovendien wordt, zeker in de buitenste beams, de uiteindelijke nauwkeurigheid heel erg bepaald door de mogelijkheid de roll, pitch en heave van het meetplatform goed te meten.

Zo zijn er nog veel meer multibeam systemen op de markt, zelfs met openingshoeken van meer dan 180 graden. Deze mogelijkheid is interessant bij het meten in kanalen, trenches, tegen taluds op enzovoort.

Er zijn systemen speciaal voor ondiep water, tot zo'n 100 meter, werkend met frequenties in de orde van 300 tot 500 kHz, en systemen voor diep water, tot duizenden meters, met frequenties van 50 tot 200 kHz. Voor baggerwerken zijn uiteraard alleen de ondiepwater systemen van direct belang.



7.26 ATLAS Fansweep system

Omdat de multibeam systemen zeer snel zijn, kunnen ze uitstekend vanaf bewegende platforms gebruikt worden. Uiteraard moeten dan alle bewegingen van het platform, zoals heave, pitch, roll, heading enzovoort minimaal even snel meegemeten worden. Krachtige computersystemen zijn dan nodig om alle informatie in de tijd zeer nauwkeurig te koppelen. Zeer grote hoeveelheden data worden op deze manier verzameld. Ook dankzij de snelle ontwikkeling in computersystemen kunnen de verzamelde gegevens snel verwerkt worden tot bathymetrische kaarten, Digitale Terrein Modellen met 3-dimensionale weergave enzovoort.

Een digitaal terrein model DTM is een manier om het aardoppervlak zo getrouw mogelijk weer te geven door middel van een wiskundige benadering.

In het veld wordt een aantal punten gemeten op karakteristieke plaatsen, markante punten zoals de rand van het talud van een dijk, bovenzijde en bodem van een sloot enzovoort. In een digitaal terrein model worden deze punten zodanig verbonden dat er driehoeken ontstaan die zo goed mogelijk de werkelijkheid nabootsen. De hoekpunten van de driehoeken zijn de meetpunten in het veld. Bij het gebruik van een krachtig DTM programma behoeft men minder punten in het veld te meten.

Kwaliteitscontrole op de enorme hoeveelheid ingewonnen meetgegevens is van cruciaal belang. Ook de ijking van multibeam systemen vereist speciale aandacht. Een eenvoudige barcheck volstaat niet meer. De sensoren voor het meten van de platform (scheeps) bewegingen, dienen uiterst nauwkeurig gekalibreerd te worden. Zo geeft een afwijking van 0,5 graad in de roll bij een multibeam met een 120 graden sector, op een waterdiepte van 30 meter, in de buitenste meetbundel al gauw een fout van 1 meter in de horizontale positie.

Multibeam systemen zijn echter niet meer weg te denken uit de survey wereld. Hoewel nu nog behoorlijk prijzig, zeker het totaal van multibeam, bewegingssensor, computer hard- en software, zullen deze systemen in de nabije toekomst toch steeds vaker te vinden zijn op peilvletten en surveyschepen, maar ook op sleephopperzuigers, steenstorters en dergelijke.

8 Referentievlak

8.1 Golven

Het wateroppervlak is constant in beweging. Het is onderhevig aan wind, welke golven opwekt, maar ook aan de getijden, de verticale, regelmatige en voorspelbare beweging van het wateroppervlak onder invloed van de aantrekkingskracht van zon en maan.

Met name de golven, te onderscheiden in korte, of lokale windgolven met een periode van 2 tot 6 seconden, en de lange golven, of deining, opgewekt door wind zeer ver weg, en reizend over enorme afstanden, met perioden van 8 tot 18 seconden, hebben een versturende invloed op alle metingen welke het wateroppervlak als referentieniveau gebruiken.

Aangezien het platform van waaraf men meet, de peilvlet of het baggerwerktuig, onderhevig is aan die golfinvloeden, en -afhankelijk van zijn eigen frequentie - daardoor met een bepaalde periodetijd zal gaan bewegen, zullen deze bewegingen ook gemeten moeten worden om hun invloed op de meetresultaten bij het verwerken van de gegevens te kunnen compenseren.

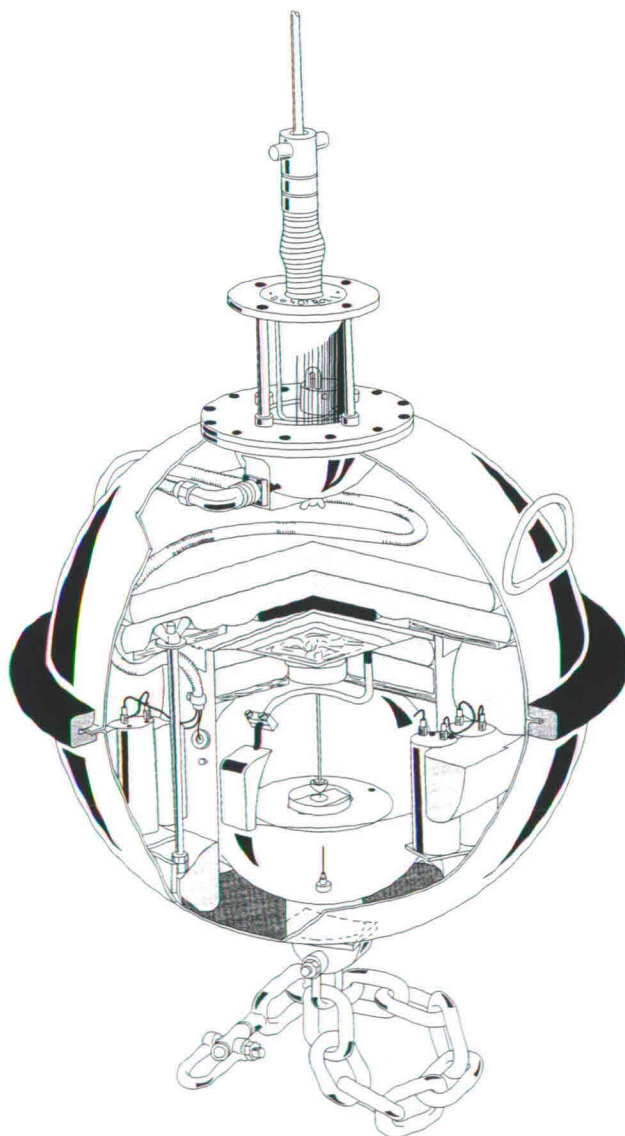
Hiertoe zijn sensoren ontwikkeld welke de scheepsbeweging in verticale zin, de "heave" en soms ook nog de "roll" en "pitch" meten. Meestal gebeurt dit meten door middel van zeer gevoelige versnellingsopnemers. Deze apparaten zijn dan ook kostbaar en bovendien zeer gevoelig voor schokken en stoten. Ook moet men er rekening mee houden dat bij het varen van korte bochten, hetgeen gebruikelijk is bij het varen van survey dwarslijnen, de horizontale versnelling die optreedt in de bocht de meting van de verticale versnelling verstoort. Deze verstoring uit zich in een grote verticale fout. Dit kan voorkomen worden door de bocht heel ruim en heel langzaam te varen of een "heave" compensator te gebruiken welke compenseert voor de horizontale versnellingen. Daar hangt dan uiteraard een behoorlijk prijskaartje aan.

Golven worden bij baggerwerkzaamheden ook vaak gemeten om de werkbaarheid te bepalen. Dit kan contractueel vastgelegd zijn, maar ook, als dit niet zo is, van belang zijn om al dan niet te besluiten een survey "buiten" uit te voeren, of een snijkopzuiger al dan niet naar positie te slepen. Het volgen van de ontwikkelingen van de golfpatronen kan een belangrijk hulpmiddel zijn om op tijd drijvende leidingen af te koppelen, zuigers naar binnen te halen en dergelijke werkzaamheden.

De meest gebruikte installatie voor het meten van golven is de "Waverider". Dit is een bolvormige boei, die op de gewenste lokatie wordt verankerd, en van daar de golfhoogte en periode meet en per radio overstuurt naar één of meer ontvangstations.

Deze boei bestaat uit een bolvormig drijflichaam van roestvrijstaal, waarin als sensor een cardanisch in vloeistof opgehangen versnellingsopnemer fungeert. Hoe de boei ook beweegt, het platform waarop de versnellings-

opnemer zich bevindt blijft altijd horizontaal. Elektronica in de boei zorgt voor dubbele integratie van het versnellings signaal, dat dus resulteert in een verplaatsings signaal, ofwel golfhoogte. Dit signaal wordt continu door de in de boei ingebouwde radiozender uitgezonden. De Waverider is verder voorzien van een flitslicht, dat ingeschakeld wordt zodra het donker wordt. Alles wordt gevoed vanuit (niet-oplaadbare) batterijen in het boeilichaam, waardoor de Waverider in staat is om continu gedurende 10 maanden golf informatie uit te zenden. Voor het juist kunnen meten van de golfhoogte, is het van belang dat de Waverider-boei de golven kan volgen. Een starre verankering zou, zeker onder invloed van stroom en wind, er voor zorgen dat de boei strak in z'n verankering zou komen en als het ware door de golftoppen heen getrokken zou worden. Daarom is de Waverider voorzien van een speciale ankerlijn, bestaande onder andere uit een 15 meter lange rubberlijn die tot 45 meter uitgerekt kan worden, welke de boei in staat stelt met de golftoppen mee te bewegen.



8.1 Waverider golfmeetboei

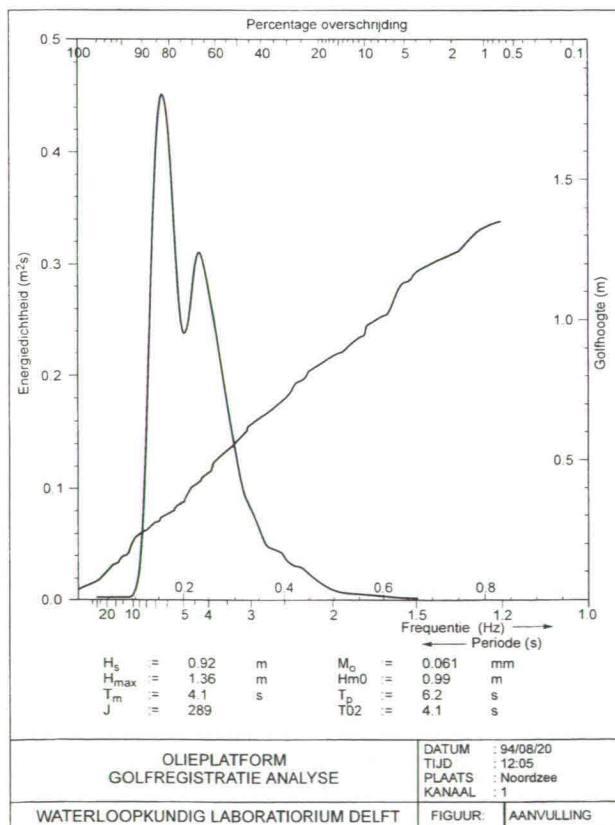
De Waverider zendt dus continu golfhoogte signalen over de radio uit. Door de gekozen zendfrequentie van

27 tot 35 mHz is het signaal, over water, tot circa 40 km ver te ontvangen. Er zijn speciale ontvangers verkrijgbaar, waarmee het signaal kan worden omgezet zodat het door een computer kan worden ingelezen. Voor statistische doeleinden kunnen zo golfgegevens verzameld worden, maar ook zijn on-line de belangrijkste parameters te zien. Vooral voor de bewaking van de werkbaarheid zijn de volgende gegevens van groot belang:

- H_s – de significante golfhoogte, gedefinieerd als het gemiddelde van het hoogste 1/3 deel van de golven in een bepaalde meetperiode
- H_{max} – de hoogst opgetreden golf (top-dal) in de meetperiode
- T_m – de gemiddelde golfperiode over de gehele meetperiode
- T_p – de periode van dat deel van de golven van de meetperiode, waar de meeste energie in zat

Vaak wordt van een bepaalde registratieperiode, meestal zo'n 20 minuten per 3 uur een volledige golfanalyse gemaakt. In de moderne computers is dit geen probleem meer qua rekensnelheid. Hier komt dan een energiedichtheid/golfhoogte-overschrijdingsgrafiek uit, waaruit veel belangrijke parameters zijn af te lezen.

8.2 Voorbeeld spectraalanalyse golfmetingen



8.2 Getij

Onder het getij verstaat men: het regelmatig rijzen en dalen van vrije wateroppervlakken, onder invloed van de aantrekkingskracht van **zon** en **maan**.

De overige hemellichamen oefenen ook aantrekkingskrachten uit, maar de totale invloed daarvan is veel minder dan 1% en dus eigenlijk niet interessant.

De verhouding van de aantrekkingskrachten van **zon** en **maan** in dit systeem is ongeveer 1 op 2.

Tal van astronomische grootheden liggen ten grondslag aan de meest eenvoudige rekenmethodieken om omtrent dit getij voorspellingen te kunnen doen.

Uit de evenwichtstheorie die aan deze berekeningen ten grondslag ligt, volgt dat we het getij kunnen beschouwen als een sommatie van verschillende uitwijkingen ten opzichte van deze evenwichtssituatie.

Hierbij worden voor het gemak een aantal kleinere invloeden weggelaten.

Normaal gesproken zijn er **vier grote SUB-getijden** die in de berekening worden meegenomen: deze grootheden worden respectievelijk de M2, S2, K1 en O1-getijden genoemd.

De tweede orde effecten worden hierbij gerubriceerd naar "hoek" en "factor": de zogenaamde "A" en "f" correcties.

Deze grootheden dienen gezien te worden als "samen-gestelde" invloeden met ongeveer dezelfde (hoek)eigenschappen "A", maar met een factor "f", die het verschil in werkingsgrootte als functie van de tijd beschrijft.

In dit bestek zou het echt te ver voeren de astronomische vergelijkingen af te leiden uit de evenwichtstheorie. De aldus gevonden getijden moeten overigens nog op veel punten aangepast worden voor landschapsvorm en plaatselijke invloeden.

De meeste plaatselijk gebonden invloeden kunnen na enige weken getijaflezingen "empirisch" worden afgeleid; de constante waarden die hierdoor gevonden worden, zijn overigens voor alle min of meer standaardhavens overal ter wereld bekend!

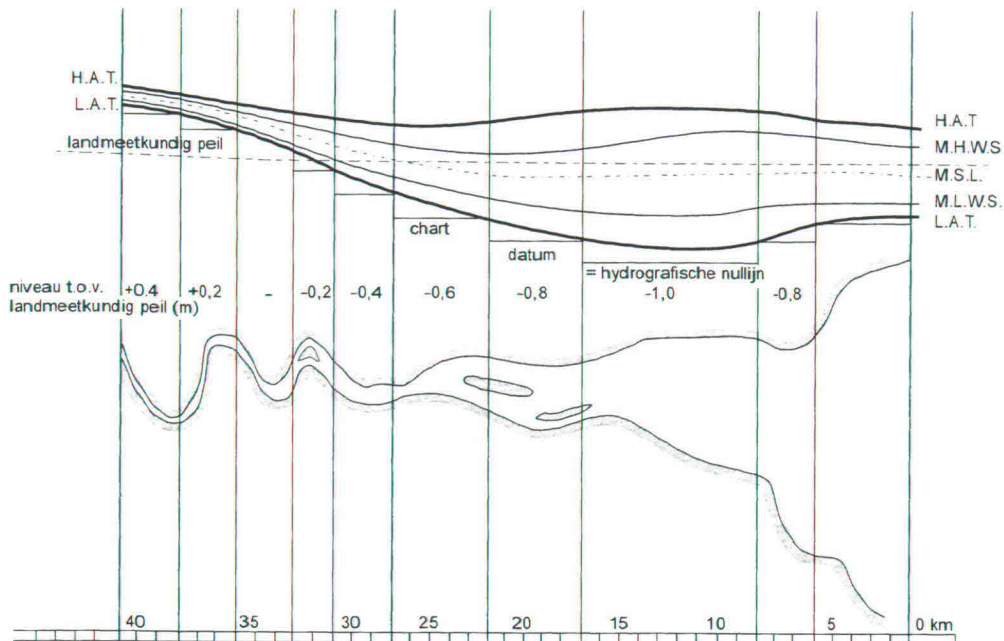
De British Admiralty geeft ieder jaar een serie van 3 boeken uit, waarin voor vrijwel alle havens van de wereld de 4 belangrijkste getijconstanten, soms met enkele ondiep water correctiefactoren, staan vermeld. Voor een aantal "Standard Ports" zijn zelfs de getijvoorspellingen voor het hele jaar gegeven. Deze boeken heten de A.T.T.'s, Admiralty Tide Tables, en zijn een belangrijk hulpmiddel voor zeevarenden, maar ook voor alle surveyors.

Omdat in de baggerpraktijk meestal een aanzienlijk nauwkeuriger getij-informatie onontbeerlijk is, dan die voor **navigatie**-doeleinden, zal het duidelijk zijn dat de actuele registratie, ten opzichte van een bepaald reductieniveau, zeer belangrijk is.

Dit reductieniveau dient gekozen te worden ten opzichte van de laagst mogelijk optredende waterstanden. Hierdoor zal in werkelijkheid vrijwel altijd de werkelijke waterdiepte minimaal de op de kaart aangegeven waarde bedragen. Dit is uit veiligheidsoverwegingen noodzakelijk. Het aldus bepaalde **chart datum** geldt niet, zoals het landmeetpeil, voor een groter gebied omdat het afhankelijk is van de voor die plaats geldende astronomische waarden en geografische invloeden.

Vaak zal dit **nul-niveau** gerelateerd worden aan een

sinds jaren niet meer waargenomen waterstand, als zodanig “gedefinieerd” als “Lowest Astronomical Tide”: L.A.T.
Dit L.A.T. wordt verondersteld vrij te zijn van invloeden van derde orde zoals wind, rivierafvoer, regenval enzovoort.



8.3 De relatie van Chart Datum tot verschillende referentieniveaus

Omdat dit L.A.T. normaal gesproken op geen enkele wijze aan het landmeetpeil kan worden gekoppeld vanwege het grillige verloop, wordt dit meestal segmentsgewijs bepaald en afgesproken ten opzichte van een in dat segment voorkomend laagste L.A.T. De koppeling van deze segment L.A.T. en het land waterpas-niveau heeft uiteraard grote praktische betekenis. Naast het L.A.T. zijn er nog de volgende aanduidingen in gebruik:

HAT	Highest Astronomical Tide
MHWS	Mean High Water Spring
MHWN	Mean High Water Neap
MSL	Mean Sea Level
MLWN	Mean Low Water Neap
MLWS	Mean Low Water Spring

De relatie tussen deze verschillende niveaus wordt in figuur 8.4 duidelijk gemaakt.

8.3 Waterstandsregistratie

Aangezien de **diepte** informatie **Z** van het XYZ stelsel gerelateerd dient te zijn aan het voor dat gebied geldende **CHART DATUM** en de peilingen plaatsvinden ten opzichte van het wateroppervlak, zal te allen tijde het wateroppervlak ten opzichte van deze reductie-niveaus bekend dienen te zijn. Het rijzen en dalen zal op de een of andere manier geregistreerd dienen te worden.

Aangezien de invloed van de maan overheersend is, zal de omlooptijd van de maan terug te vinden moeten zijn in de voornaamste cyclus van de op- en neergaande beweging.

Deze cyclus doet zich inderdaad voor met een “golf-lengte” van ongeveer 24 uur en 50 minuten.

Indien men nu een trommel van ongeveer 125 mm doorsnede omspant met een voorbedrukt A3-vel en deze trommel laat draaien met een omlooptijd van een dag, of veelvoud hiervan, zal men een zeer overzichtelijke registratie verkrijgen.

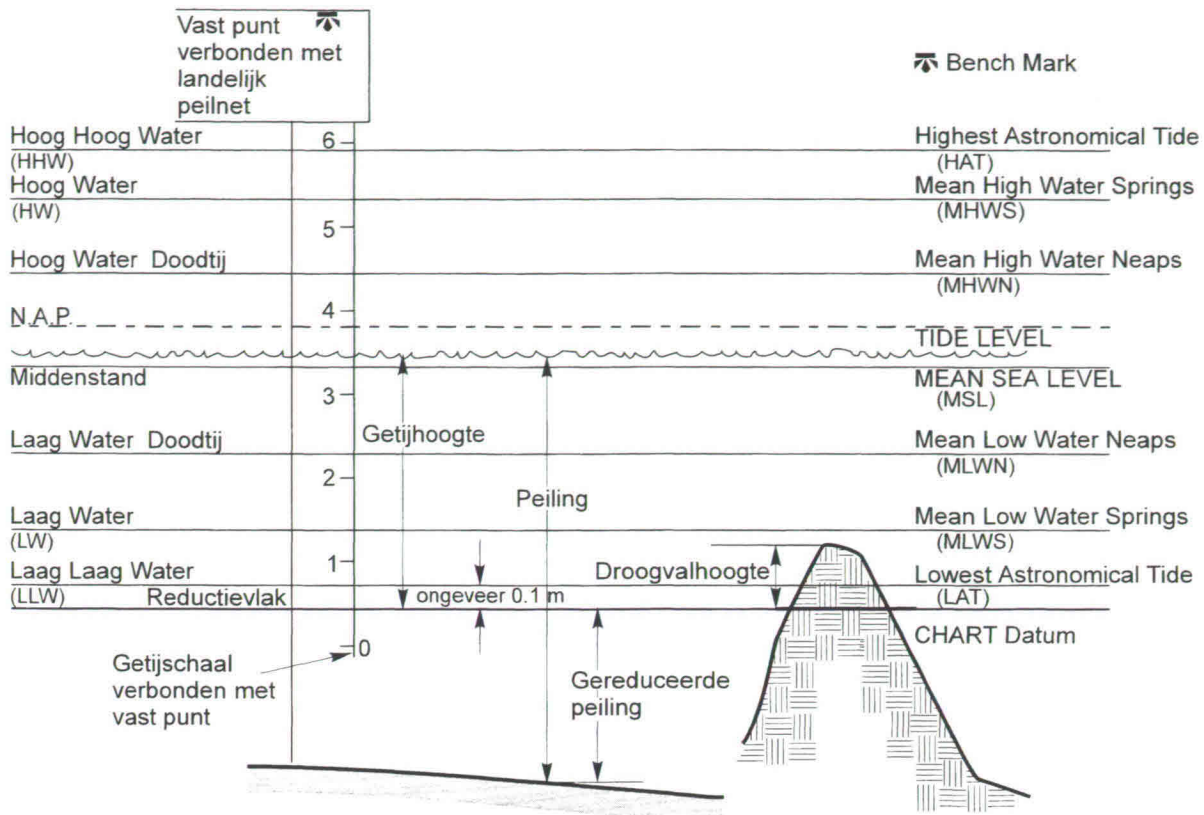
De trommel kan zonder problemen 15 keer ronddraaien en nog zal de informatie niet samenvallen.

Aangezien men geacht wordt de maximale amplitude te kennen, kan men door middel van reductie-tandwiel-tjes de beweging over de gehele trommel uitschrijven (meestal 250 mm hoog).

De trommel kan zowel verticaal als horizontaal geplaatst zijn; de drijver en contragewichten zullen wrijvingsloos moeten worden geïnstalleerd bij voorkeur in aparte pijpen.

De instroomopening zal klein genoeg moeten zijn om golfbewegingen in de registratie te dempen en groot genoeg (meerdere gaten dus!) om verstoppingen te voorkomen (Eventueel uit te voeren met schoonspoelinrichting om bezonken slib en dergelijke periodiek te kunnen verwijderen).

Door de tandwielbeweging te koppelen aan een telwerk, is tevens een digitale aflezing van de waterstand te realiseren.

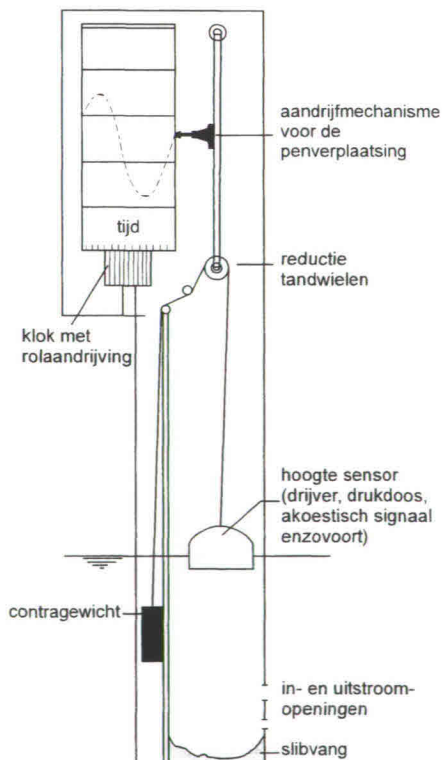


8.4 Relatie tussen diverse referentieniveaus

Radio getijmeter

Door de grafisch/analoge presentatie uit te breiden met een digitaal systeem, wordt het tevens mogelijk de getijaflezing te versturen door middel van radiogolven. Aldus zal op de baggerwerktuigen een constante informatiestroom van actuele waterstanden ontvangen

kunnen worden. Indien gewenst kan het uitgebreid worden naar meerdere getijstations, en kan de informatie gekoppeld worden aan de baggerautomaat. Het hierboven beschreven registreer apparaat (vlotter getijmeter) is relatief goedkoop; de zend- en ontvanginstallaties vergen een wat grotere investering.



8.5 Getijregistratie inrichting (vlotter)

Controle van getijregistratie

Aangezien de "Z" uit het XYZ systeem de meest belangrijke, maar ook de meest onzekere, en relatief meest onnauwkeurige grootte vormt, is de controle van de waterstandswaarden van zeer groot belang. Geringe afwijkingen in verticale zin kunnen ernstige gevolgen hebben voor het baggerproces als zodanig; daarom dient voldoende aandacht besteed te worden aan het soort getijmeter, de plaats en de controle mogelijkheden. In het algemeen zal een opdrachtgever de chartdatums verstrekken.

De reductieniveaus zullen allereerst door middel van waterpassing vastgelegd (en vaak gecontroleerd!) en overgebracht dienen te worden naar de "getij-stations". De registratie-inrichting zal voorzien moeten worden van merktekens om dagelijks de juiste werking te kunnen controleren. Vaak wordt een baak tegen of vlak naast de registrerende getijmeter geplaatst. Zeer regelmatig zal visueel de waterstand afgelezen moeten worden en vergeleken met de automatische registratie om deze op de goede werking te controleren.

Tien minuten verschil in werkelijke en geregistreerde tijd kan, afhankelijk van het getijverschil, tot tientallen cm "afwijking" leiden.

Tevens is dit een indicatie voor het belang van een tijd-correctie zodra op enige afstand van de getijdemeting, het peilwerk wordt verricht.

Een niveau-correctie zal vaak nodig blijken te zijn, indien tussen twee getijmeetstations gewerkt wordt!

Deze aspecten dienen zeer aandachtig te worden behandeld!

Afgezien van de reeds vermelde vlottergetijmeters worden ook andere principes toegepast om de waterstandsvariaties te registreren zoals bijvoorbeeld:

a) druksensoren

Veel moderne getijmeters zijn voorzien van een druk-opnemer als meetelement. Het voordeel ten opzichte van vlottersystemen is dat er geen bewegende delen meer zijn. Het nadeel is dat er indirect gemeten wordt. Er moet nog vertaald worden van gemeten druk naar waterhoogte, dus met inachtneming van luchtdruk en soortelijk gewicht van het water.

Installatie van een drukopnemer is ook betrekkelijk eenvoudig. De opnemer kan, binnen de grenzen gesteld aan de kabellengte (minimaal zo'n 400 meter) overal geplaatst worden.

b) akoestisch

Ook treft men wel akoestische opnemers aan. Deze bestaan uit een soort omgekeerd echolood. Boven het wateroppervlak hangt de transducer, welke geluidspulsen uitzendt naar het wateroppervlak. Het wateroppervlak reflecteert de pulsen en de "echo" wordt weer opgevangen in de transducer. Het verschil in tijd tussen uitzenden van de geluidspuls en ontvangen van de echo is een maat voor de afstand tussen transducer en wateroppervlak, als de voortplantingssnelheid van het geluid bekend is. De geluidssnelheid in het medium, hier de lucht is dus heel belangrijk. De geluidssnelheid is sterk afhankelijk van de temperatuur en in veel mindere mate van de luchtvochtigheid. Altijd zal dus temperatuurscompensatie nodig zijn. Het voordeel van de akoestische meting is dat het een contactloze meting is, er wordt van bovenaf naar het wateroppervlak gemeten. Middeling van metingen zorgt voor het uitfilteren van golfinvloeden. Er is geen onderdeel dat het water raakt of daar in steekt en aldus beschadigd kan worden.

Een nadeel is de gevoeligheid voor bijvoorbeeld wind. Vooral bij wat grotere ranges (meer dan 6 meter bijvoorbeeld) kan het geluidssignaal "wegwaaien" en dus niet meer de transducer bereiken. Ook schuim op het water evenals drijvende voorwerpen verstoren de meting.

c) stappenbaak

Een op baggerwerken weinig gebruikte meetmethode is die van de stappenbaak. Dit is een lange staaf, meestal in verschillende secties te verdelen, welke verticaal in het water geplaatst wordt. Op deze staaf zijn op vaste afstanden (5 cm) elektroden aange-

bracht. Bij onderdompeling in water geven deze elektroden als het ware een kortsluiting, waardoor de waterhoogte op de stappenbaak bepaald is. Het waterstandssignaal wordt vervolgens per kabel of per radio verzonden. Een voordeel van de stappenbaak methode is dat er niet alleen golfhoogte maar ook meteen getij mee gemeten kan worden.

Een nadeel is misschien de constructie die nodig is om een en ander te bevestigen. De moderne stappenbaak is vrijwel ongevoelig voor vervuiling en secties zijn in geval van mechanische beschadiging snel en eenvoudig te verwisselen. De kosten zijn hoger dan voor een vlotter of drukopnemer installatie maar zeker voor langduriger toepassingen het overwegen waard.

9 Gegevensverzameling en -verwerking

9.1 Handmatig

Het handmatig, dat wil zeggen niet gebruik makend van geautomatiseerde systemen, uitvoeren van peilingen, vindt steeds minder vaak plaats. De grotere precisie die tegenwoordig vereist wordt, de snelheid van verzamelen en verwerken van gegevens en de inzet van relatief veel personeel bij handmatige peilingen maken, zeker gezien de huidige snelle ontwikkelingen op het gebied van computers, plaatsbepalingssystemen als DGPS enzovoort dat handmatige peilingen nog slechts sporadisch voorkomen op baggerwerken.

Het blijft echter een interessante mogelijkheid om betrekkelijk snel en eenvoudig wat verkennende metingen uit te voeren bijvoorbeeld ten behoeve van het maken van aanbiedingen.

Voor het uitvoeren van baggerwerken, zelfs voor eenvoudige snijkop- of kraanwerken, loont het tegenwoordig al heel snel om toch maar (gedeeltelijk) geautomatiseerd te werken.

Wordt er handmatig gewerkt, dan moet men goed op een aantal zaken letten.

Ook hier geldt dat een goede voorbereiding het halve werk is!

Plaatsbepaling

De plaatsbepaling kan geschieden door middel van een aantal van te voren uitgezette raaien, waarbij de raai zelf door "zichtbakens" wordt aangegeven. De positie in de raai kan dan bepaald worden door bijvoorbeeld de afstand te meten naar één van de bakens middels een infra-rood of laser afstandsmeter. Ook kan de hoek tussen twee vooraf ingemeten bakens met behulp van een sextant vanaf de boot of met een theodoliet vanaf de wal gemeten worden.

Op deze manier van plaatsbepaling zijn vele variaties denkbaar.

Dieptemeting

Het meten van de diepte kan met behulp van peillood of "slagaard" (soort lange peilstok) uitgevoerd worden. Men verkrijgt dan een serie puntwaarnemingen in de raai. Veelal zal echter toch een eenvoudig registrerend echolood toegepast worden, zoals de Raytheon DE 719. Uiteraard dient dit echolood gekalibreerd te worden voor de ter plaatse geldende geluidssnelheid, terwijl de diepte van de transducer onder het wateroppervlak ook bepaald moet worden. Een barcheck blijkt dus ook hier noodzakelijk te zijn. Bij iedere positiebepaling, de zogenaamde "fix", moet een markering op het echolood gegeven worden, voorzien van een "fix-nummer".

Referentievlak

Ook zal de waterstand tijdens het uitvoeren van de

lodgingen gemeten moeten worden en wel ten opzichte van een referentievlak. Vaak kan volstaan worden met het plaatsen van een (waterpas)baken in het water, tegen een steiger of een ander vast punt. Visueel kan dan de waterstand bijvoorbeeld iedere 10 minuten afgelezen en genoteerd worden. Een waterpassing naar een bekend punt zal de nul van deze peilschaal moeten relateren aan het lokale referentievlak.

Administratie

Om alle aldus verkregen gegevens aan elkaar te kunnen koppelen, is het bijhouden van allerlei administratieve gegevens tijdens de meetcampagne van essentieel belang.

Zo wordt de positie bepaald ten opzichte van bakens of andere bekende punten op de wal. Deze punten moeten in coördinaten bekend zijn. In welk stelsel, hoe ze ingemeten zijn en waar de referentiepunten precies staan moet nauwkeurig genoteerd worden. De "fixen" op het echolood moeten gekoppeld worden aan de plaatsbepaling. Er moet dus aan boord een log bijgehouden worden van iedere fix. Minimaal moet per fix worden genoteerd:

- fixnummer
- tijd
- plaatsbepaling (afstand in de raai of hoek).

De tijd is nodig om later te kunnen reduceren voor waterstandsvariaties welke ook per tijdseenheid genoteerd worden.

Uit het bovenstaande blijkt al dat dit zeer arbeidsintensief gaat worden. Afgezien van een persoon om de peilvlet te besturen, is aan boord iemand nodig die de plaatsbepaling verzorgt, iemand die de administratie bijhoudt en de fixen op het echolood noteert, en iemand die bij de peilschaal de waterstanden opschrijft. Bij plaatsbepaling met behulp van twee sextanten of hoekmeting vanaf de wal zijn nog meer personen benodigd.

Verwerking

Om al deze gegevens nu tot een peilkaart te kunnen verwerken, dient allereerst de echoloodrol "gereduceerd" te worden voor de waterstandsvariaties.

Tezamen met de "bar-check"-gegevens (transducerdiepte!) kan nu het chart-datum op de echoloodrol worden weergegeven. Vanaf deze lijn kunnen nu de waterdiepten worden afgelezen.

Vervolgens kunnen de tussen de fix-punten gelegen kaartpunten worden bepaald:

Vijf of tien waarden van fix tot fix is een veel gebruikte verdeling, die met behulp van een zogenaamde tienpuntspasser de lengte tussen de fixed-points in gelijke stukken verdeelt. Eventueel kan dit ook met een schaal-lat gebeuren.

Indien met een constante snelheid gevaren is, kan tevens worden gecorrigeerd voor de fix-points die "te laat" op het papier zijn gekomen: een situatie die zich regelmatig voordoet.

Het verdient aanbeveling om op de uiteindelijke dieptekaart de diepte-aanduidingen niet dichter op elkaar te

plaatsen dan 1 cm in de raai en 1,5 cm tussen de gevaren lijnen.

Bij de veel gebruikte schaal van 1:2000 betekent dit dus: raaien om de 30 meter en indien de afstand tussen de fixen 100 meter bedraagt: 4 tussenpunten: met een diepte-aanduiding om de 20 meter.

Een tienpuntspasser kan in de situatie telkens het gebied tussen 3 fixed-points omspannen.

De dieptewaarden bij deze punten dienen nu ten opzichte van het reductievlak bepaald te worden en overgebracht op de peilkaart.

De "chart-datum"-lijn op het echoloodpapier zal over het algemeen een licht hellend karakter vertonen in verband met de correctie voor het getij!

Indien de fix-punten al varend zijn bepaald, door middel van gelijktijdig fixen met twee sextanten bijvoorbeeld, kunnen de hierbij behorende posities onmiddellijk op de peilkaart worden aangetekend, met de sextantkaart als tussenstap, en de tussenliggende punten als functie van de afstand worden bepaald.

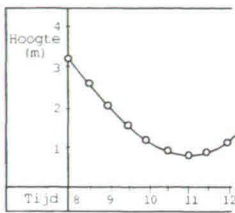
Hoewel deze methode een meer natuurgetrouwe weergave kan opleveren van de werkelijk gevaren peillijnen, werkt het in het algemeen een rommelige en onoverzichtelijke peilkaart in de hand.

Indien nu de dieptewaarden op de peilkaarten aangebracht zijn dienen ook voor het werk relevante grensaanduidingen zoals taludlijnen, kademuren en dergelijke zoveel mogelijk te worden ingetekend, en kan eventueel een dieptecontourlijnen patroon worden getrokken.

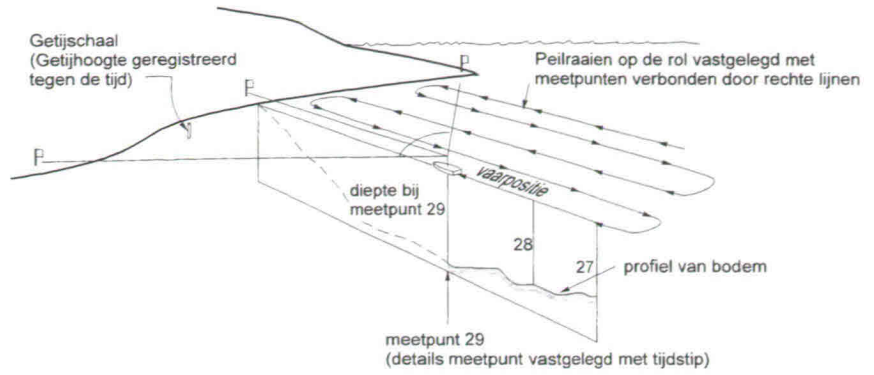
Deze contourlijnen maken de dieptekaart snel overzichtelijk maar zijn vooral ook van belang als hulpmiddel bij het opsporen van fouten in de peiling of verwerkingsfase!

Tijd	Hoogte op peilschaal	Nulpunt onder peil	Gereduceerde hoogte
0800	5,4	2,2	3,2
30	4,8		2,6
0900	4,3		2,1
30	3,7		1,5
1000	3,3		1,1

getijdeboek



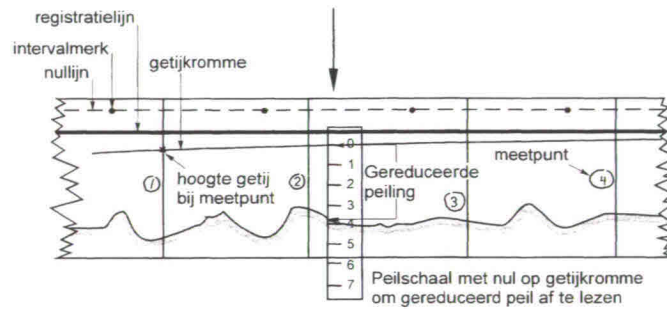
getijkromme



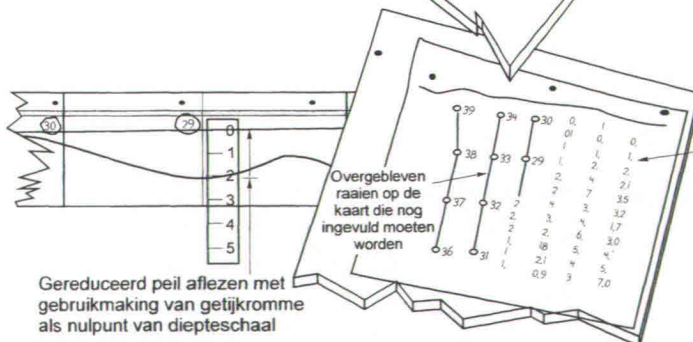
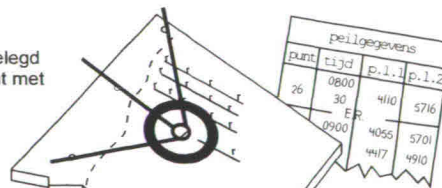
Tijd	Meetpunt	Positie lijn	
		HiFix 1	HiFix 2
VIII			
01	1	745,32	1132,04
	2	748,32	1203,24
	3	746,00	1203,24
	4	743,76	1228,18
05	5	741,57	1279,09
	E R		

peilgegevens

peilregistratie

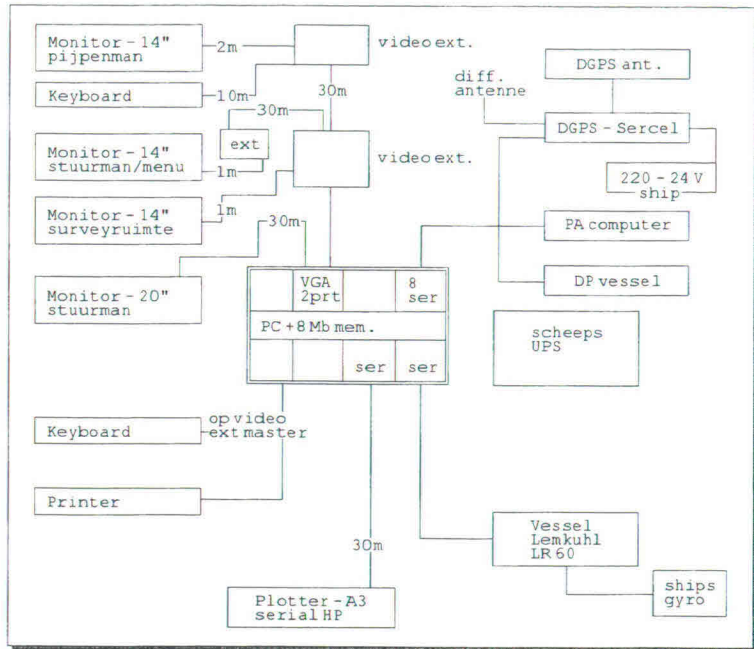


Vaarpositie van de peilvlet vastgelegd op de kaart. Details van meetpunt met tijdstip vastgelegd in peillogboek.

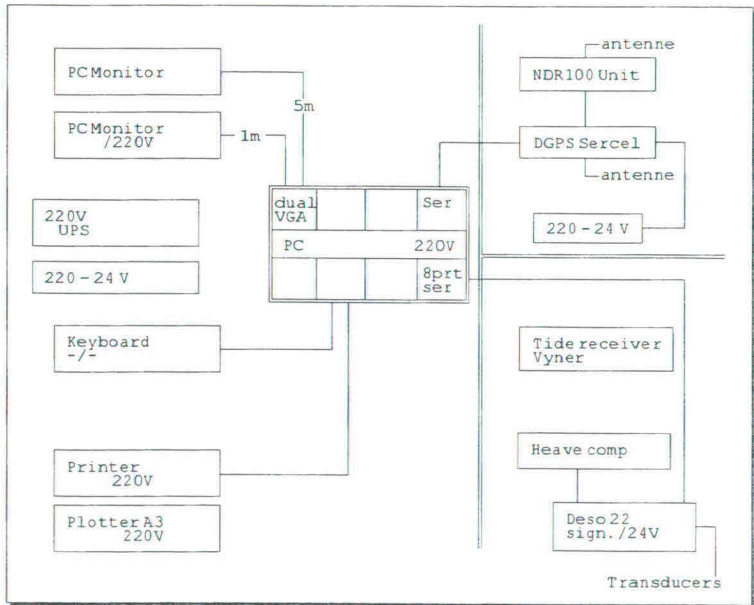


Gereduceerde peilingen inken op doorzichtig papier om daarna dieptelijnen te trekken

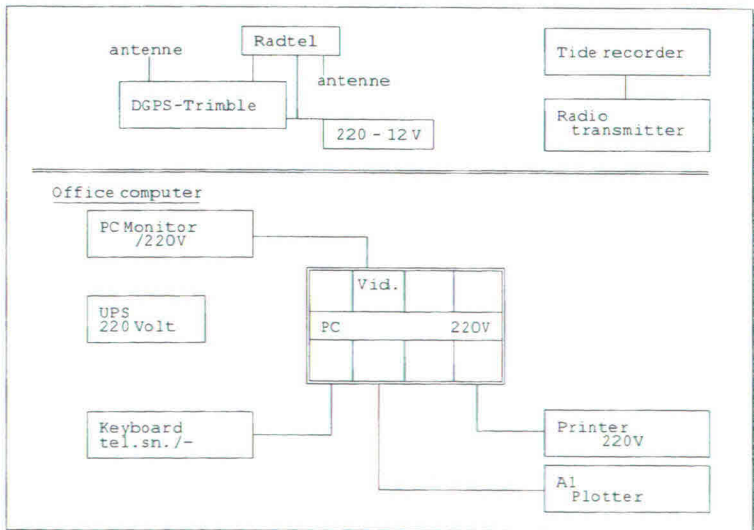
Aan boord
sleephopperzuiger



Aan boord
peilvlet



Aan de wal



9.2 Geautomatiseerde peilsystemen

De noodzaak tot snelle en veelvuldige voortgangscntrole waarbij het eindresultaat, de diepte kaarten, dwarsprofielen of hoeveelheidsberekeningen, zo spoedig mogelijk ter beschikking moeten zijn, heeft in sterke mate bijgedragen tot de ontwikkeling van geautomatiseerde peil- en verwerkingssystemen, die in de baggerpraktijk momenteel in ongeveer 90% van de gevallen onontbeerlijk blijken te zijn.

Een grote mate van verscheidenheid in apparatuur en randinstrumentarium is hiertoe beschikbaar: de **hardware**. Ook veel programmatuur om deze eenheden te verbinden en te besturen, de **software** is commercieel verkrijgbaar.

Vele baggerbedrijven geven er echter de voorkeur aan om deze "software" in eigen huis te ontwikkelen, om daarmee volledig te kunnen inspelen op de specifieke eisen van hun werkomstandigheden en baggerwerktuigen.

De automatiseringssystemen zijn tegenwoordig op vrijwel alle baggerwerktuigen zoals sleepopperzuigers, snijkopzuigers, maar ook ploegboten, kraanpontons en dergelijke te vinden.

In het algemeen zal de configuratie bestaan uit een computersysteem, waaraan plaatsbepalingssysteem, gyrokompas, en diverse scheepssensoren gekoppeld zijn. Eén of andere presentatie hiervan op een beeldscherm, veelal een bovenaanzicht en zij- of dwarsaanzichten worden getoond, met de contouren van het betreffende baggerwerktuig in het werkgebied. Diepten, omgevingsinformatie, "links - rechts" vaarinformatie worden grafisch weergegeven terwijl veelal ook informatie in getalvorm gepresenteerd wordt op hetzelfde scherm.

De verzamelde, gecoördineerde gegevens zullen, liefst zonder enige vorm van bewerking, "ruw" dus, opgeslagen worden, voor verdere behandeling of bewerking achteraf.

Hiertoe worden magneetbanden of schijven gebruikt. Afhankelijk van de taken die een dergelijk systeem moet verrichten is voor de gegevenscyclus normaal gesproken een tijd benodigd van minimaal 0,2 à 1 seconde, de zogenaamde **cyclustijd**.

Een directe consequentie van deze ontwikkeling is dat herinvestering steeds vaker gepleegd dient te worden om de moderne technische ontwikkelingen bij te kunnen houden.

9.3 Presentatie- en registratievormen

Verwerking en Presentatie

In de meeste gevallen zal de automatisering op de baggerwerktuigen een afgerond geheel vormen; de presentatie kan gezien worden als "eindstation".

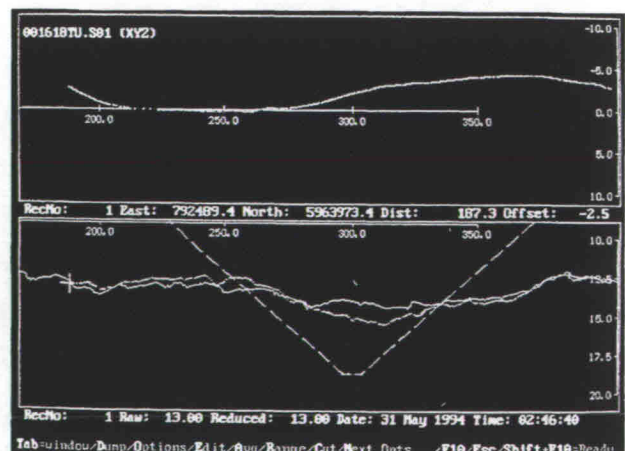
Bij peilgegevens is een verdere verwerking standaard en zal de verwerking tot peilkaarten meestal niet tijdens het peilen geschieden.

Bij het volledig uitwerken van de peilgegevens speelt de nauwkeurigheid van de getij-informatie een zeer belangrijke rol.

Bij het verwerken van de met de peilvlet opgenomen gegevens, moet een aantal stappen worden doorlopen. Veel van deze stappen kunnen geautomatiseerd worden. Het is echter raadzaam om niet te veel door de computer "automatisch" te laten doen. De surveyor kan het beste beoordelen of een bepaald gegeven wel of niet meegenomen moet worden. Zo kan de surveyor bij twijfelachtige diepte informatie uit de computer altijd nog het echogram raadplegen, om daaruit te kunnen concluderen of de digitaal opgenomen waarde juist is of niet. Een computer kan pieken in een registratie wel verwijderen, maar de kans bestaat daarbij dat werkelijk aanwezige pieken dan ook weggefilterd worden!

De gang van zaken bij het verwerken zal over het algemeen als volgt zijn:

- De surveyor voert de getijgegevens in de computer, dit kan een file zijn van reeds opgenomen of gedigitaliseerde data, ook wel een getijdetabel of een voor-spelling.
- Het programma reduceert nu alle opgeslagen dieptewaarden voor het getij
- De surveyor laat nu op het scherm de "trackplot" zien, van de gevaren lijn, met de individuele fixen. Zitten hier vreemde sprongen in, ten gevolge van slecht functioneren van het plaatsbepalingssysteem, dan kan hij de track hiervoor corrigeren.
- Vervolgens wordt van diezelfde track het opgenomen diepteprofiel getoond. Hier zullen over het algemeen "spikes" of uitschieters inzitten, veroorzaakt door akoestische reflecties ten gevolge van vissen, schroefwater en dergelijke. Deze spikes kunnen nu verwijderd worden, waarbij de surveyor het betreffende echogram erbij heeft om de spikes te kunnen



9.3 Beeldscherm met editing functies voor positie en diepte

beoordelen. Het echogram geeft altijd meer informatie dan de gedigitaliseerde getallen alleen.

- Zijn alle gegevens nu gecontroleerd, gereduceerd en juist bevonden, dan worden deze in een nieuwe file weggeschreven. De gegevens zijn over het algemeen nu in de vorm van een grote hoeveelheid punten waarvan de X, Y en Z waarde bekend is.
- Deze file kan nu gebruikt worden in het plot programma om te komen tot een trackplot kaart, dieptelijnen kaart, kleuren- of vlekkenkaart, er kan een matrix mee aangemaakt worden, digitale terrein modellen en 3-dimensionale aanzichten kunnen worden geproduceerd, zowel op het scherm als op papier. Ook worden deze gegevens nu gebruikt om aan boord van het baggerwerktuig weer als achtergrondgegevens ingevoerd te worden, waardoor men aan boord de beschikking heeft over de laatste peil informatie.

Dieptekaarten en Contourlijnen

Dit is ongetwijfeld de meest gebezigde vorm van peilkaartpresentatie.

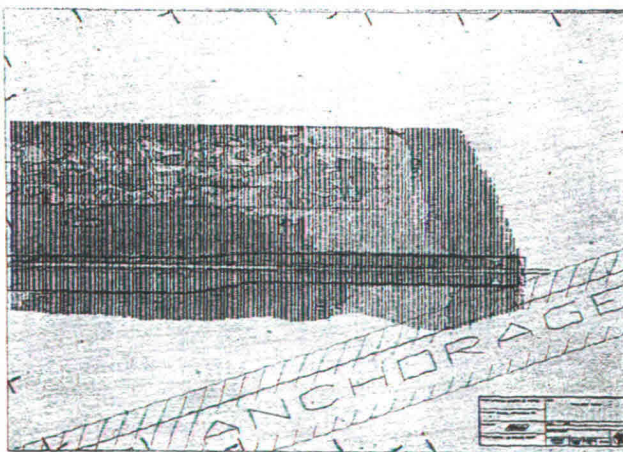
In de vorm "as-sailed", geven de dieptewaarden zoveel mogelijk aan bij welke XY positie ze aangetroffen zijn; de "werkelijke" peillijn, zoals gevaren!

De theoretische raaien kunnen eventueel gebruikt worden om de posities zoals berekend te projecteren, om aldus de diepte-informatie langs de theoretische lijn te groeperen.

Voorals als de kaart niet als voortgangkaart zal fungeren is deze mogelijkheid te overwegen.

De contourlijnen zijn het middel bij uitstek om de diepte-informatie te rubriceren; gekleurde gebieden binnen de teenlijnen van de taluds bijvoorbeeld zouden zo kunnen aangeven welke gebieden nog niet op de vereiste diepte zijn.

Bij het gebruik van contourlijnen dient zorgvuldig overwogen te worden welke informatie gewenst is! Teveel informatie op een kaart werkt uitermate verwarrend. Het is vaak lonend om van een peiling meerdere kaarten te plotten, één met dieptecijfers, één met contourlijnen, één met vlekken enzovoort.

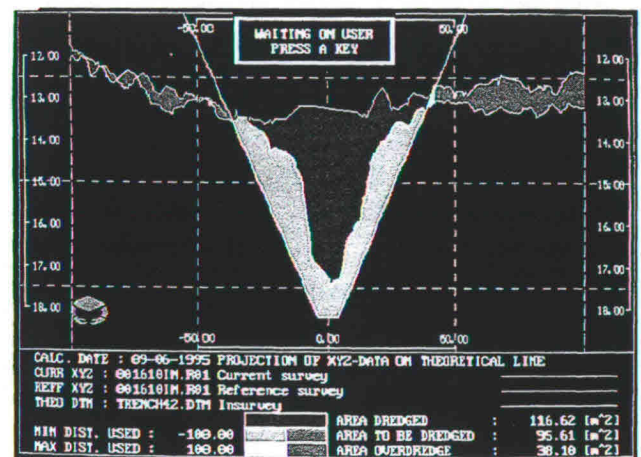


9.4 Bathymetrische kaart met dieptecijfers en contourlijnen

Dwarsprofielen en hoeveelheidsberekeningen

Bij gebruik van de matrix methode, waarbij over het gepeilde gebied een grid wordt gelegd, en de gemeten dieptewaarden worden geïnterpoleerd danwel geëxtrapolleerd naar de gridpunten, ontstaat een zeer regelmatige verdeling van dieptecijfers over het gepeilde gebied. Dit heeft tot resultaat dat de dieptecijfer-, dieptelijnen- of contourkaart er heel verzorgd en overzichtelijk uitziet. Hierbij moet wel bedacht worden dat niet alle aangegeven diepten werkelijk gemeten zijn! Dit is alleen het geval bij data gegenereerd door overlappende multibeam scans.

Het is nu heel goed mogelijk om willekeurige dwarsprofielen door het gebied door de computer te laten bepalen en te plotten. Ook hoeveelheidsberekeningen kunnen op deze wijze nauwkeurig gebeuren. Helaas hebben sommige opdrachtgevers nog wel eens de neiging om een bepaalde methode van hoeveelheidsberekening voor te schrijven (bijvoorbeeld Simpson's rule wordt veel in India vereist). Hier dienen dan weer aparte programma's voor ontwikkeld te worden.



9.5 Dwarsprofiel ten behoeve van hoeveelheidsberekening

Verschil- en vlekkenkaarten

De informatie die in de verschillende stadia van voortgang beschikbaar is, kan op allerlei manieren gebruikt worden, afhankelijk van het beoogde doel. Indien twee voortgangkaarten met een interval van enige tijd vergeleken worden, is snel te zien waar de activiteiten zich hebben afgespeeld.

Is echter meer precies het effect van de baggeractiviteit gewenst, dan is het mogelijk slechts de verschillen tussen deze kaarten in beeld te brengen.

Voorals als het hierbij gaat om automatisch verwerkte peilkaarten is dit een relatief snelle mogelijkheid.

Onmiddellijk is nu te zien, waar en hoeveel er werkelijk verdwenen of bijgekomen is. Door te "spelen" met "minnen" en "plussen", of door bij grotere laagdikte een steeds intensievere grijs-zwart- of kleurnuance aan te brengen, kunnen visueel zeer begrijpelijke kaarten worden geproduceerd, die in bepaalde gevallen als basis voor de verdere werkwijze kunnen dienen.

Deze verschil- en "vlekken" kaarten geven in feite de

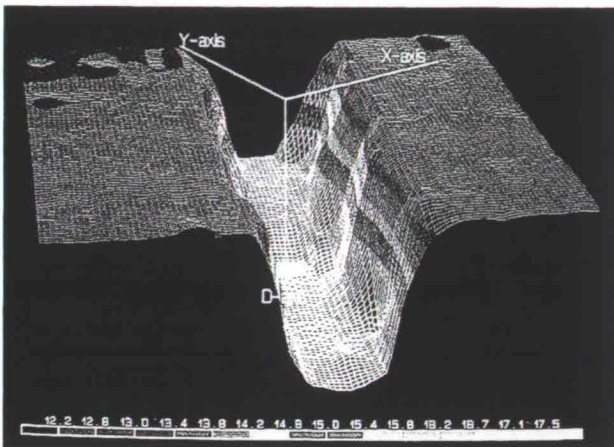
grafische verdeling van de hoeveelheidsberekening ten opzichte van twee elkaar opvolgende peilkaarten.

Driedimensionale projectie

Om nog meer visuele ondersteuning te verkrijgen omtrent de toestand van een detailgebied, in termen van baggeroperaties, kan een driedimensionale projectie een handig hulpmiddel zijn.

Wat lastig te achterhalen is door middel van tweedimensionale peilkaarten met dieptegetallen of contourlijnen, kan met één oogopslag worden herkend door een driedimensionale projectie.

Zoals met dit type "speciale" presentatie ook beoogd wordt, valt er weinig verder commentaar te geven over de betekenis van de informatie!



9.6 Driedimensionale presentatie van een gebaggerde geul

9.4 Presentatie aan boord van baggerwerktuigen

Trackplotterkaarten spelen nog slechts een geringe rol bij de presentatie, maar zijn nog steeds een zeer belangrijk hulpmiddel in de verwerkings- en operationele fase van het baggerbedrijf. Zowel ten aanzien van de bedrijfsvoering bij sleephopperzuigers, steenstoters en dergelijke, als wel bij het peilen, zijn trackplotterkaarten een zeer bruikbaar hulpmiddel.

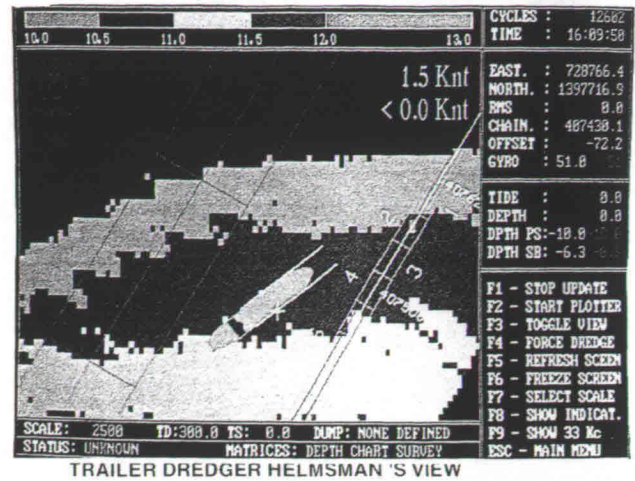
Allerlei plottertypen, aangepast aan de specifieke werkomstandigheden staan hierbij ter beschikking.

Over het algemeen zullen de trackplotters de registratie van de vaarbaan verzorgen, en tevens de stuurman de informatie kunnen verschaffen omtrent het volgen van geplande routes.

Zowel de orthodoxe plotters met papier en pen, in welke hoedanigheid dan ook, als de moderne wijze van "plotten" op een beeldscherm, kunnen in dit kader toegepast worden.

Grafische plotters worden soms vereist door opdrachtgevers om aan te kunnen tonen waar het schip geweest is.

De zogenaamde links/rechts aanwijzers moeten gezien worden als een toegespitste vorm van trackplotter informatie.



9.7 Voorbeeld van een beeldscherm presentatie voor de roerganger op een hopper

9.5 Interactie met baggercomputers

Zuigklokatie

Aangezien het baggerbedrijf geïnteresseerd is in de plaats waar de verschillende "operaties" zich afspelen, is meestal niet de bepaling van het **meetpunt** zelf voldoende. Dit meetpunt is namelijk steeds de antenne van het betreffende plaatsbepalingssysteem.

Om optimalisering van de baggeractiviteiten te verkrijgen in de zin van:

voorkomen van overdiepten, elimineren van scheepsafhankelijke talud situaties en dergelijke, is het veelal interessant om een positie te relateren aan de plaats waar de uiteindelijke actie plaats vindt!

Specifiek optredende voorbeelden bij het baggerbedrijf zijn daarbij de zuig- en snijkplocatie.

Hoewel het meetkundig gezien eenvoudige doorreken-technieken zijn, op basis van horizontaal en/of verticaal doorrekenen van hoeken en vaste scheepsmaten (zuigbuis, snijkopladder enzovoort), zitten er zoveel haken en ogen aan een verantwoord systeem dat het de moeite waard lijkt de randvoorwaarden hierbij op een rijtje te zetten.

Onontbeerlijk zijn in ieder geval:

- Gyrokompas
- Hellingmeter(s) en/of hoekverdraaiingsmeters, of akoestische opnemers
- Nauwkeurig bepaalde scheepsmaten
- Bekabelingsschema's en doorvoeringen
- Interface faciliteiten

Het zal duidelijk zijn dat vaste scheepsuitrusting vanaf de "nieuwbouw" hierbij meer dan wenselijk is: de kosten van het installeren op een operationeel schip zijn een veelvoud van die bij nieuwbouw, bovendien zijn de bekabelingen, nadien aangebracht veel kwetsbaarder.

In alle gevallen gaat het hierbij om gevoelige **sensoren**, die met grote zorg geplaatst dienen te worden, terwijl de **koppeling** met een automatisch inlees- en reken-systeem tot de nodige problematiek kan leiden.

Tegenwoordig worden veelal de scheepsgebonden sensoren ingelezen door de "baggercomputer", die verder alle processen bewaakt en ook informatie geeft over mengselverhouding, vacuüm, toerentallen enzovoort. De baggercomputer is geïnterfaced met de surveycomputer, welke de plaatsbepaling ten opzichte van de rest van de wereld regelt. Relevante gegevens worden tussen beide computers on-line uitgewisseld. Zo zal bijvoorbeeld de baggercomputer de trim en beladingsgegevens van het schip monitoren, terwijl de surveycomputer de getij-informatie binnenhaalt.

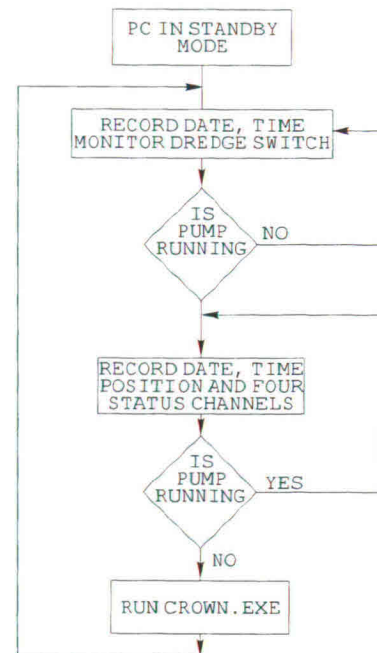
9.6 Door klant of overheid opgelegde registratiesystemen

Steeds vaker wordt men op baggerwerken geconfronteerd met maatregelen van overheden betreffende de controle op het uitvoeren van baggerwerkzaamheden. Een paar voorbeelden zijn: het TDS meetsysteem ten behoeve van Rijkswaterstaat in Nederland, het Environmental Monitoring System in Engeland, het Barge Monitoring System in Singapore.

In eenvoudige gevallen bestaat een dergelijk systeem uit een grafische (papier) recorder waarop in de tijd, door middel van verschillende kleuren pennen, de status van een aantal scheepsparameters wordt vastgelegd. Dit kunnen zijn baggerpomp aan/uit, bodemkleppen open/dicht, inzinking, vaarsnelheid en dergelijke. Aan boord bevindt zich dan vaak een "bewaker" van de betreffende overheid die deze recordings verzamelt en aan de hand hiervan dus toezicht uitoefent op het naleven van de bepalingen.

Een meer autonoom systeem is het bijvoorbeeld in Engeland en Hong Kong toegepaste E.M.S. systeem. Aan boord wordt een speciale computer geplaatst, die geïnterfaced is met een aantal scheepssensoren en de plaatsbepaling. Continu worden alle relevante gegevens opgeslagen op een speciale floppy disk, die na een aantal dagen aan de autoriteiten overhandigd moet worden. Deze autoriteiten kunnen dan precies nagaan wat het schip die afgelopen periode gedaan heeft. Baggeren en dumpen buiten de toegestane gebieden zal dan aan het licht komen en veelal staan daar dan hoge boeten op.

E.M.S. OPERATING SOFTWARE SCHEMATIC DIAGRAM



9.8 Voorbeeld van de opzet van een E.M.S. systeem

Een nog verdergaand systeem wordt in Singapore toegepast, en, in een soortgelijke vorm ook door R.W.S. bij het onderhoud van de Nieuwe Waterweg. Niet alleen worden positie en statusgegevens opgeslagen, maar ook on-line via een speciale telemetrie verbinding doorgezonden naar het kantoor van de autoriteiten. Er is dan dus een 24 uren controle op de uitvoering van het baggerwerk, tot in details, zonder dat een vertegenwoordiger van de opdrachtgever aan boord is.

Het steeds vaker toepassen van dit soort monitoring systemen maakt het dus noodzakelijk dat de aannemer uiterst nauwkeurig te werk gaat. Hiervoor is dan ook een goede interactie tussen bagger- en surveycomputers aan boord, en een bemanning die zich terdege bewust is van de op het spel staande belangen, van essentieel belang.

9.7 Koppeling van DP/DT systemen, snijkopautomaten en dergelijke met survey

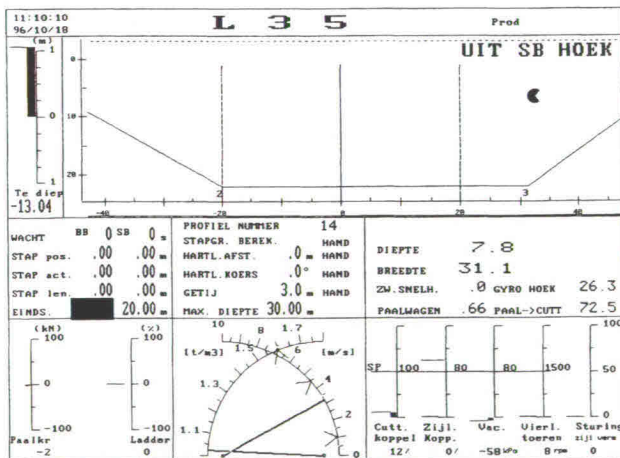
Op veel baggerwerktuigen is de survey een schakel in het geheel. Op sleepopperzuigers, die DP/DT (Dynamic Positioning/Dynamic Tracking) hebben, zoals veel van de grotere, moderne sleepopperzuigers, is met name de plaatsbepaling van uitermate groot belang. Hoe nauwkeuriger en vooral ook hoe stabiel de plaatsbepaling, hoe beter het DP/DT zal gaan. Veelal zal het DP/DT systeem vaker een update van de plaatsbepaling vragen, dan het plaatsbepalingssysteem zelf kan leveren, bijvoorbeeld 5 keer per seconde gevraagd terwijl het systeem maar 1 of 2 keer per seconde kan

leveren. Speciale filter- en voorspellingstechnieken worden dan vereist. Ook vereist is een zeer goede koppeling van survey- en baggercomputers. Een goede documentatie en vastgelegde protocollen voor de uitwisseling van gegevens tussen de beide computersystemen is essentieel.

Ook dient duidelijk afgesproken te zijn welk systeem welk plaatje op welk beeldscherm levert.

Voorkomen dient te worden dat min of meer hetzelfde plaatje op verschillende beeldschermen door verschillende systemen getoond wordt. Dit werkt verwarring in de hand.

Ook bij snijkopautomaten dient goed geregeld te zijn uit welk computersysteem het plaatje komt waarmee gewerkt wordt door de bemanning. Hier mag geen keuzemogelijkheid zijn! Veelal is een plaatje gegenereerd door de baggercomputer stabiel, en dat van de surveycomputer wat onrustiger. Dit ligt aan het feit dat vaak de baggercomputer de spudpaal als vast referentiepunt neemt, en de surveycomputer de plaats van de spudpaal ten opzichte van de rest van de wereld, middels het plaatsbepalingssysteem. Onnauwkeurigheden in het plaatsbepalingssysteem zullen dus het surveyplaatje wat onrustig maken. Op het werk moet heel duidelijk afgesproken zijn met welke presentatie gewerkt wordt. De andere presentatie moet dan bewust onderdrukt worden.



9.9 Voorbeeld van beeldschermpresentatie van de baggercomputer op een snijkopzuiger

10 Nauwkeurigheds- beschouwing survey

10.1 Belangrijkste foutenbronnen en de beperking hiervan

Onnauwkeurigheden van dieptemetingen

Een gestructureerd controlesysteem op alle versturende invloeden op de dieptemeting is een onontbeerlijk gegeven.

De stortvloed van zaken die de metingen beïnvloeden is zo groot, dat een juiste administratie en verwerking van levensbelang zullen blijken!

In aanvulling op wat reeds opgesomd is, lijkt het zinvol de "toevallige" afwijkingen die kunnen optreden bij onvoldoende aandacht ten opzichte van de volgende, specifieke, omstandigheden te inventariseren:

- Onjuiste afstelling van geluidssnelheid of matig uitgevoerde barcheck: 10 tot 20 cm
- Scheepsbewegingen, uiteraard afhankelijk van grootte der golven, deining, "pitch & roll", afhankelijk dus van omstandigheden. Vaste afwijkingen door bijvoorbeeld "Squat" kunnen aanzienlijk zijn: 10 tot 40 cm
- Frequentie, bundeleigenschappen zullen tot gevolg hebben dat lagen aangetoond worden die **niet** bedoeld zijn: 5 tot 10 cm. In de taluds: 10 tot 50 cm. Gaat het om dikke slibpakketten, dan zal de afwijking niet meer "ongemerkt" blijven.
- Storing ten gevolge van slecht gedefinieerd reductie-niveau, geen of verkeerde correctie in tijd en plaats van de getij-informatie en ontregeling van registratie inrichting: 10 tot 20 cm, (soms echter aanzienlijk meer!)

Een dergelijke opsomming zal duidelijk maken dat het vrijwel onmogelijk is een "enkele" dieptemeting te presenteren die beter is dan plus of min 10 tot 20 centimeter.

Deze afwijkingen kunnen bij nonchalant gedrag tot vele decimeters oplopen.

Tezamen met een matige XY bepaling kan dat (in geaccidenteerde omgeving bijvoorbeeld), tot desastreuze omvang toenemen!

Aangezien over "nauwkeurigheid" van plaatsbepalingssystemen nogal uiteenlopende benaderingen de ronde doen, lijkt het wenselijk dit aspect eens nader te beschouwen.

Behalve de evidente fouten, in de zin van blunders en vergissingen die normaal gesproken door herhaling van metingen geëlimineerd kunnen worden, bestaan er nog twee "groepen" fouten die ieder verschillende "eigenschappen" bezitten.

- a) Constante en systematische fouten;
- b) Toevallige fouten.

Te allen tijde zal herhaling van metingen zowel tegen vergissingen als wel met betrekking tot testen, kalibreren en het vereffenen van tijdsafhankelijke invloeden, een gunstig effect hebben op de uiteindelijk beschikbare informatie.

Aan dit herhalen van metingen moet dan ook grote aandacht worden besteed!

Bij **constante fouten** zoals bijvoorbeeld een onjuiste nulafstelling, kunnen ijkmethoden ingeschakeld worden om deze "fouten" zo gering mogelijk te maken.

De door kalibratie gevonden verschillen tussen de "werkelijke" waarde en de aangegeven grootte kunnen of opgeheven worden door een nieuwe nulpuntsinstelling, of het gevonden verschil wordt geïntroduceerd in de berekeningsmethode als "aanpassing" op de gevonden waarde; deze laatste mogelijkheid, de zogenaamde **C-O correctie** (zie later), verdient de voorkeur aangezien deze nauwkeuriger werkt, en bovendien de mogelijkheid biedt om op eenvoudige wijze het verloop van de correcties, als functie van tijd, in de gaten te houden. Bij **systematische fouten** kan niet precies worden voldaan aan de randvoorwaarden van de meting. Hoewel dit type fouten een ander karakter vertoont, zijn ze niet duidelijk afwijkend in verschijning, zodat de constante en systematische fouten gemakshalve op dezelfde manier behandeld kunnen worden.

Theoretisch is het mogelijk deze effecten te nivelleren, hoewel het voorkomt dat dit type fouten een "toevallig" karakter vertoont.

Door allerlei niet te elimineren onvolkomenheden in observatie en instrumentarium zullen er echter altijd "**toevallige**" **variëaties** in een serie metingen optreden.

Dit **random** karakter kan echter gevangen worden in rekentechnieken. Dat wil zeggen als men het verschil tussen het rekenkundig gemiddelde van een serie observaties, en de waarde van één enkele meting vergelijkt, dan kan op het verschil (het residu) een aantal rekentechnieken losgelaten worden.

Hierbij kan het effect van verschillende observaties worden "vergeleken".

Voor de goede verstandhouding dient ten overvloede te worden opgemerkt, dat slechts de fouten van het "random" type voor deze regels in aanmerking komen!

Het rekenkundig gemiddelde S is per definitie die waarde, waarbij de afstanden tot de verschillende meetwaarden $W_1, W_2 \dots W_n$ een zo klein mogelijke sommatie

geeft; ofwel $S = \sum_1^n W_n$ is zo klein mogelijk.

De **standaard deviatie** σ is hierbij:

$$\sigma = \sqrt{\frac{S}{n-1}}$$

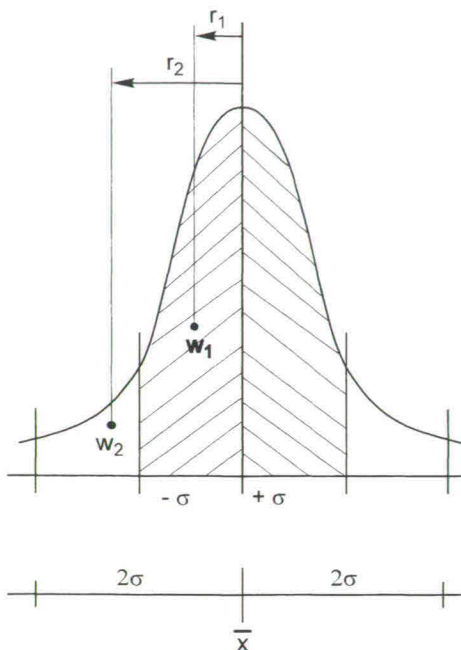
waarin

$$S = \sum_{i=1}^n (W_n - S)^2$$

Deze standaardafwijking is dus de geschatte afwijking die bij één van de metingen uit de serie kan optreden. Bekijkt men ook de waarde van het aldus gevonden **gemiddelde** van de gehele serie waarnemingen, dan vindt men:

$$\sigma = \sqrt{\frac{S}{n \cdot (n-1)}}$$

Deze sigma waarde geeft de zogenaamde RMS (Root Mean Square error) van overvallige berekeningen aan.



10.1 Standaard deviatie

Het verdient aanbeveling de kreet RMS slechts in dit kader te hanteren, aangezien er tal van "definities" de ronde doen, die geen enkele relatie met deze statistische RMS waarde bezitten.

Een veel voorkomend voorbeeld van het misbruiken van de term "RMS" is die, waarbij de straal van de ingeschreven cirkel tussen drie berekende posities als zodanig gehanteerd wordt.

Indien nu bijvoorbeeld de standaard afwijking van de hoeken in een driehoek: respectievelijk σ_1 , σ_2 en σ_3 bedragen, zal de standaard afwijking van de som van deze waarnemingen te schrijven zijn als:

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2}$$

Deze rekenregel is universeel voor het zogenaamde voortschrijden der fouten. Met andere woorden het is niet nodig alle individuele fouten zonder meer te sommeren om het totaal effect op het gehele meetstelsel

te kunnen vinden; dit is een te negatieve benadering. Anderzijds is het uitgesloten om van een reeks sigma-waarden slechts de grootste te beschouwen, indien om de nauwkeurigheid gevraagd wordt van een geïntegreerd systeem.

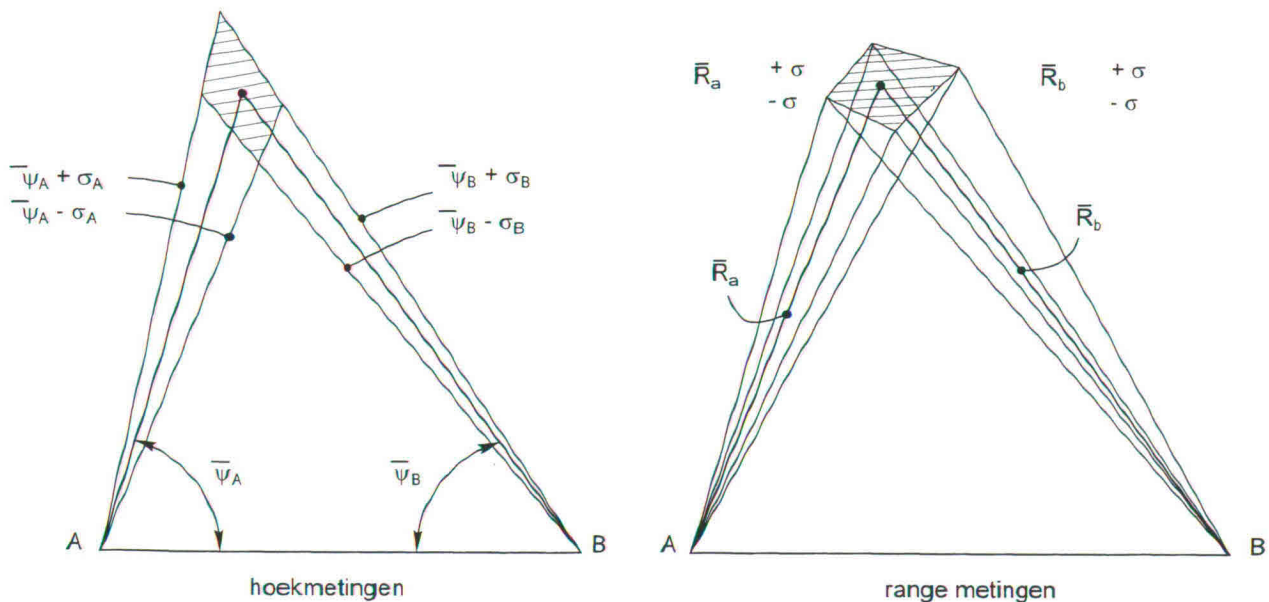
Beschouwt men bijvoorbeeld het geval dat vier samenstellende grootheden ongeveer dezelfde sigma-waarden bijdragen; bijvoorbeeld

$$\begin{array}{ll} \sigma_1 = 1,28 & \sigma_3 = 0,84 \\ \sigma_2 = 0,96 & \sigma_4 = 1,10 \end{array}$$

dan zal men al snel zien dat de σ_s ongeveer 2 keer het gemiddelde van de samenstellende sigma's zal bedragen:

$$\sigma_s = \sqrt{1,28^2 + 0,96^2 + 0,84^2 + 1,10^2} = 2,12$$

Ook deze voortplantingsregel dient de nodige aandacht te verkrijgen bij het opstellen van meetspecificaties. Grafisch wordt het begrip van het effect, veroorzaakt door dit sigma-verhaal, al snel wat duidelijker, indien men respectievelijk de hoeken en afstanden met hun respectieve standaardafwijkingen laat fungeren als basis voor de constructie van de foutenveelhoek. (Of met andere woorden: waar **kan** de positie zich bevinden binnen de door de sigma-waarden veroorzaakte afwijkingen).



10.2 Nauwkeurigheidveelhoeken

Kalibreren

Kalibreren in de meest elementaire vorm zal bestaan uit het vergelijken van gemeten grootheden (met daarin alle specifieke onzekerheden) met een op andere wijze vastgestelde standaard van "hogere orde".

Zo kan men bijvoorbeeld de nul-aflezing van een sextant **kalibreren** met behulp van de horizon, of een verweg gelegen schoorsteen.

Aan het kalibreren van radiografische systemen zal veel aandacht moeten worden besteed. De bedoeling is het kalibreren uit te voeren onder gemiddelde werkomstandigheden.

Indien bijvoorbeeld in een Range Range patroon gewerkt wordt met afstanden variërend van 500 tot 5000 m, zal het kalibreren "ergens" in de buurt van de 2000 meter dienen te geschieden.

Elke kalibratie zal systeem inherente afwijkingen dienen te elimineren; "nulpunts-afstelling" door middel van potentio-meters, of fase verschuivings analyse bij hyperbolische systemen als gevolg van bijvoorbeeld topografische omstandigheden.

Bij "geautomatiseerde" systemen dient overwogen te worden om deze correctie "statistisch" aan te brengen; zodanig dat bij een volgende kalibratie de waarden van een "C-O" correctie vergeleken kunnen worden, en eventueel "vreemd" gedrag gedetecteerd kan worden. Een C-O correctie moet gezien worden als het verschil dat het meetsysteem aangeeft tijdens de kalibratie ten opzichte van de "werkelijke" waarde (bepaald met "betere" meetmethodieken).

C-O staat voor "Calculated minus Observed" en is de bij de gemeten waarde op te tellen correctie.

Bijvoorbeeld: + 16 meter bij een te "korte" Range-afstand of - 0,6 graden bij een gyrokompass.

Belangrijk bij dit ijkten is ook dat er een vast tijdschema

voor wordt opgesteld, zodat niet "toevallig" als het uitkomt eens gekalibreerd wordt.

Soms maken kleine ingrepen in de apparatuur-hoedigheid, zoals kabels verwisselen, knoppen vervangen en dergelijke, al een kalibratie noodzakelijk.

Het kalibreren van de apparatuur moet beschouwd worden als één der hoofdtaken van de hydrografische surveyor, en als zodanig ook behandeld worden!!

Ook bij de thans algemeen gebruikelijke methode van plaatsbepaling, middels het G.P.S. systeem, zijn er nog tal van foutenbronnen. Een hele belangrijke is de keuze van de juiste **datum**, de omrekening van het ene naar het andere coördinatenstelsel.

Een verandering in de satelliet configuratie kan een positie-sprong van soms wel 10 tot 20 meter tot gevolg hebben. Het juist kunnen inschatten van deze effecten en het tijdig nemen van maatregelen om deze effecten te minimaliseren blijft een belangrijke taak van de hydrografisch surveyor.

10.2 Wat is haalbaar en wat niet

Met de hiervoor beschreven technieken lijkt het wel of men alles kan meten, en nog wel met hoge nauwkeurigheden en grote snelheid ook. Vaak zal echter de praktijk anders zijn. Een limiterende factor is uiteraard de kosten. Veel high-tech apparatuur vereist ook veel goed opgeleid en ervaren personeel. Zelfs als dit ter beschikking is, kunnen de lokale omstandigheden zodanig zijn, dat het gewenste doel niet volledig gehaald kan worden. Er kan gepeild worden met hoge nauwkeurigheid, gegeven goede apparatuur en goede mensen, maar als de peilboot niet geschikt is, of als het weer te slecht is, of als de telemetrie-apparatuur waar men meer en meer afhankelijk van wordt, gestoord wordt door lokale radiozenders, dan krijgt men niet, soms bij lange na niet, die gewenste resultaten.

Het is dus gevaarlijk, zeker in de begrotingsfase, om er van uit te gaan dat men altijd een optimaal resultaat zal hebben met de surveys, waardoor men een optimale productie zou kunnen waarborgen. Ook bij het maken van een survey begroting, of een beschrijving van de survey werkmethode, moet er gedaan worden aan een vorm van risico-analyse. Er moet gedacht worden aan back-up methoden, reserve apparatuur.

Er is tegenwoordig erg veel mogelijk, op surveygebied. Maar veelal staat daar dan een hele grote investering tegenover. Slechts in uitzonderlijke gevallen zal een dergelijke investering in mensen en materieel werkelijk verantwoord zijn. Dit kan bijvoorbeeld bij milieuwerken, waar een paar centimeter zwaar vervuilde grond over een groot oppervlak een enorm bedrag kan vertegenwoordigen.

10.3 Omgaan met marges

Zoals eerdergenoemd, hebben alle metingen een bepaalde marge. Op een baggerwerk zal de opdrachtgever uiteraard geïnteresseerd zijn in de uitleg van die marges naar de ene kant, en de aannemer zal ze liever naar de andere kant uitleggen.

De hydrografisch surveyor verricht alle metingen en wordt dus direct geconfronteerd met die marges. De moderne hydrografisch surveyor is een hoog opgeleide specialist, die zijn werk zo goed mogelijk wil verrichten, daar een eer in stelt.

Het behoeft geen betoog dat men tegenwoordig uitgaat van de mondigheid van de opdrachtgever. Ofwel hij heeft survey expertise binnen zijn organisatie beschikbaar, ofwel hij huurt deze in, om de aannemer te controleren. Ook kan de opdrachtgever tegenwoordig over dezelfde high-tech middelen beschikken als de aannemer. Hij zal bij belangrijke surveys, zoals de in-, uit- en tussenliggende betalingssurveys een ter zake kundige vertegenwoordiger meesturen met de surveyor van de aannemer. Sommige opdrachtgevers hebben zelfs in het bestek opgenomen dat deze belangrijke surveys door hemzelf of namens hem door een derde partij uitgevoerd zullen worden, waarbij dan een vertegenwoordiger van de aannemer aanwezig dient te zijn.

Het is het goed recht van de opdrachtgever om surveyresultaten te zijner gunste te interpreteren, maar evengoed het recht van de aannemer om dat ook te doen. Binnen de bestaande marges, zoals die in de surveywereld bekend zijn, zal een baggersurveyor dus verplicht zijn om, in alle redelijkheid, naar zich toe te rekenen. Hierbij gaat het dan ook echt om marges, dat wil zeggen metingen waarvan het resultaat een bepaalde bandbreedte heeft, die nu eenmaal niet met de beschikbare middelen verkleind kan worden. Die bandbreedte dient hij ten voordele van zich zelf (het baggerwerk) uit te leggen. Echter wel op een zodanige wijze dat hij professioneel bezig blijft. Hij dient te allen tijde tegenover de opdrachtgever hard te kunnen maken hoe hij aan dit resultaat gekomen is. Indien de opdrachtgever een

andere mening toegedaan is, zal er eventueel opnieuw, gezamenlijk, gemeten dan wel steekproeven genomen dienen te worden.



10.3 Cartoon: "omgaan met marges....."

10.4 Communicatie met de klant, gevaar van toezeggingen, controles

De surveyor op een baggerwerk dient zich altijd te bedenken dat hij overleg pleegt met de werkleiding voordat hij met de klant praat over zijn werk. Nooit zal hij toezeggingen mogen doen zonder overleg vooraf. Ook in vergaderingen met de opdrachtgever, waar hij regelmatig als specialist bij aanwezig kan zijn, dient hij niet zelfstandig toezeggingen te doen, of bijvoorbeeld andere werkmethoden voor te stellen. Hoewel het van groot belang is dat de surveyor op een werk voortdurend op de hoogte is van de voortgang, de verhouding met de klant, de controlerende instantie, kennis heeft van het contract en van de voor hem van belang zijnde bepalingen daarin, kan hij niet geacht worden alle "ins" en "outs" te weten. Een ondoordachte uitspraak kan door de opdrachtgever geheel verkeerd uitgelegd worden en de positie van de projectmanager nadelig beïnvloeden.

Anderzijds is het de taak van de surveyor om de werkleiding in kennis te stellen van alle zaken op zijn vakgebied die van invloed kunnen zijn op de relatie met de opdrachtgever of mogelijkere wijs hun weerslag hebben op de uitvoering van het werk of het resultaat. Hierin

heeft hij een duidelijk adviserende taak naar de werkleiding.

Indien de opdrachtgever op survey gebied bepaalde controles voorstelt, dient de surveyor altijd in overleg met de werkleiding het mogelijke effect van deze controles te bespreken. Hij dient ook voorstellen te doen om de controles zo soepel mogelijk te laten verlopen, daarbij zowel de relatie met de opdrachtgever als het belang van de aannemer in het oog houdend.



11.1 Kleine peilvlet, 8 meter

3. Grote peilvlet (14-20 meter)

Voor grote snijkopwerken, ook op zee voor sleep-hopperzuigers. De vlet dient voorzien te zijn van een ruime, gesloten cabine, vaste tafels en dergelijke voor het installeren van uitgebreide survey-apparatuur, in (sub)tropische omstandigheden is een airconditioning absoluut vereist (voor de apparatuur!!), een betrouwbare, stabiele spanningsvoorziening van 220 VAC, een beun voor de echolood transducers of ingebouwde transducers.

11 Peilvletten en surveyschepen

11.1 Verschillende soorten vletten en schepen

De peilvlet of het surveyschip is het belangrijkste gereedschap van de surveyor. Ideaal gesproken is er voor ieder type werk een bepaald specifiek soort peilvlet of surveyschip benodigd. Meestal echter is de beschikbaarheid van dit soort vaartuigen bijzonder gering, en zal er geïmproviseerd moeten worden. We kunnen een aantal categorieën schepen onderscheiden:

1 Roeiboot, rubberboot

Geschikt voor kleine surveys in beschermd water, het survey systeem zal op zijn best bestaan uit DGPS en een laptop computer, alles met batterijen of accu-gevoed, vaak toereikend voor een klein snijkop-, kraan- of kust- en oeverwerk.

2 Kleine peilvlet (8 tot 12 meter)

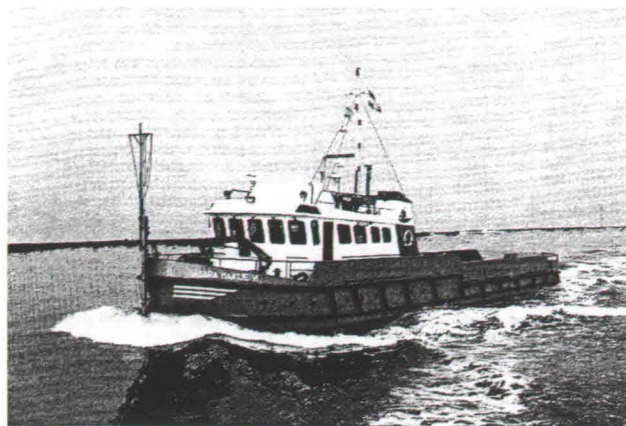
Voor de iets grotere snijkopwerken of kleinere werken met een kleine sleep-hopperzuiger, in redelijk beschermde omstandigheden, een beperkt survey-pakket dient geïnstalleerd te kunnen worden, spanningsvoorziening middels accu's en een omvormer naar 220 VAC, beun voor de transducers of een mogelijkheid voor het over-de-zij monteren van de transducers.



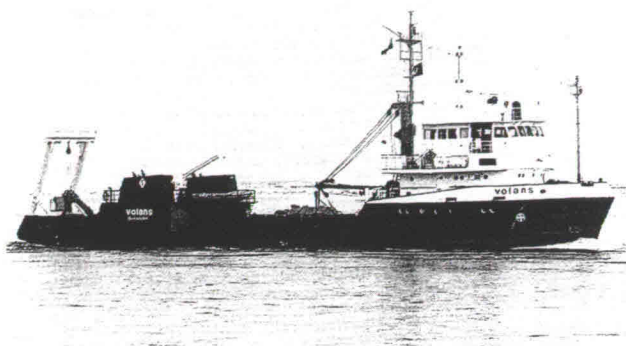
11.2 Peilvlet van 16 meter lengte

4. Surveyschip (> 20 meter)

Grote werken, veelal voor de offshore industrie, waarbij op grotere afstand uit de kust (haven) gewerkt dient te worden, en waarbij het schip langere tijd buitengaats kan blijven. De zeewaardigheid kan een grote rol spelen, zeker bij offshore werken. Als het surveyschip veel eerder moet stoppen bij slechter wordend weer dan debaggerwerktuigen, treedt nodeloos verlet op. Dit zijn over het algemeen goed uitgeruste, grote schepen, met voldoende accommodatie en een vaste bemanning. Dit soort schepen zal meestal projectmatig extern ingehuurd worden.



11.3 Surveyschip van 30 meter, ondiep stekend



11.4 Surveyschip van 50 meter, zeegaand

11.2 Het belang van de juiste keuze van schip en bemanning voor het werk

In deze tijd waarin het belang van een goede survey begeleiding essentieel is voor de baggerwerken, is de juiste keuze van een schip ten behoeve van survey uitermate belangrijk. Helaas wordt dit belang niet altijd onderkend. Veel verlet ontstaat bij survey-werkzaamheden door een niet toereikend surveyvaartuig. Dit kan zijn een te klein schip, waardoor bij wat meer deining, wat meer wind, niet of niet meer met de vereiste nauwkeurigheid gepeild kan worden. Een schip met slechte spanningsvoorziening kan veel schade aanrichten aan de (dure en moeilijk vervangbare) survey apparatuur. Het niet hebben van airconditioning onder tropische omstandigheden (waarbij niet zozeer de temperatuur maar meer de hoge vochtigheidsgraad van de lucht maatgevend is) kan veel survey apparatuur aanmerkelijk bekorten in zijn levensduur. Het komt regelmatig voor dat beeldschermen kapot gaan omdat ze vochtig waren bij het aanzetten. Niet meer functionerende echoloden, domweg omdat de metalen delen verroest zijn, zijn ook geen uitzondering.

Zeker op de lange duur loont het wat meer aandacht te geven aan deze aspecten van de survey.

11.3 Inrichting en onderhoud van surveyvletten en schepen

Is er eenmaal een echte surveyvlet op het werk, dan dient deze ook als zodanig behandeld te worden. Niet voor niets heeft de werkleiding besloten te investeren in een goede surveyvlet. De survey-afdeling zal er voor zorg dragen dat de juiste apparatuur aan boord komt, goed geïnstalleerd wordt, en onderhouden wordt. Het op het spel zetten van een dergelijke investering door de vlet ook voor sleepwerk en andere ruwe werkzaamheden in te zetten moet dan ook sterk worden ontraden. Een goede surveyvlet ziet er als volgt uit:

- voldoende ruimte in de cabine, voor alle apparatuur en mensen
- voldoende tafelruimte om de apparatuur zeevast op te plaatsen
- kabels netjes weggewerkt en vastgezet waar nodig om lostrillen te voorkomen
- een beun of ingebouwde transducers
- airconditioning indien nodig om de apparatuur in goede staat te houden
- een goede betrouwbare spanningsvoorziening
- een rompvorm die garandeert dat het schip een stabiel meetplatform vormt
- voldoende manoeuvreermogelijkheden, een surveyvlet moet vaak hele korte bochten kunnen maken
- goed onderhouden en bedrijfszeker, de voortgang van een werk is vaak afhankelijk van de mogelijkheden om goede peilingen op tijd af te kunnen leveren
- een schipper die surveylijnen kan varen
- vlet en schipper ook daadwerkelijk beschikbaar als dat voor de gevraagde survey-werkzaamheden nodig is.

Dit is een aantal belangrijke voorwaarden waaraan een surveyvlet moet voldoen. Veel kan op de site zelf nog geïmproviseerd worden, maar van de survey op een baggerwerk kan alleen maar het uiterste gevraagd worden, als de hulpmiddelen, waarvan de surveyvlet een zeer belangrijk onderdeel is, geschikt en ter beschikking zijn.

Trefwoorden

A.T.T.	8.2	hellingmeter	6.2
achterwaartse insnijding	4.1.2	hoekmeter	6.3
afstandsmeter	4.1.4	hydrografie	1
antennehoogte	4.2.1	hydrografische metingen	1
antennehorizon	4.2.1	hyperbolische systemen	4.2.2
ashtech	4.3.2	inzinking	6.4
Atlas Deso	7.3.6	kaartprojecties	3.1
axyle	4.2.1	kartering	1
azimutale projectie	3.1	kegelprojectie	3.1
		L.A.T.	8.2
baggercomputer	9.5	lambert	3.1
barcheck	7.3.2	landmeetkunde	1
bundelbreedte	7.3.4	landmeetkundige grondslag	3
C.D.	7.1	lane	4.2.2
chart datum	8.2	LBL	5.1
cilinderprojectie	3.1	Lehmkuhl	6.1
circulaire systemen	4.2.3	line of sight	4.2.1
cirkelbogenkaart	4.1.4	LLWS	3.2
C-O correctie	10.1	looptijd	4.2.3
conforme projectie	3.1	loran	4.2.1
contourlijnen	9.3	luchtdrukcompensatie	6.4
coördinatiesystemen	4.1.3	Magellan	4.3.2
correctiesignalen	4.3.2	matrix	9.3
CTD meter	7.3.2	mercator-projectie	3.1
Decca	4.2.1	microfix	4.2.1
dieptekaart	9.1	miniranger	4.2.1
digitale terreinmodellen	7.7.2	motion-compensators	7.3.5
DP/DT	9.7	MSL	3.2
drukopnemer	6.4	multibeam	7.7.2
E.M.S.	9.6	N.A.P.	3.2
echogram	7.3.6	nautische diepte	7.4
echolood	4.1.3	NAVSTAR	4.3.1
ED50	3.1	openingshoek	7.3.3
fansweep	7.7.2	OTF	4.3.3
fix	4.1.3	padloding	2
GDOP	4.3.1	peilkaart	9.1
geluidssnelheid	7.3.2	peilvlet	11.1
geodesie	1	polaire systemen	4.2.4
geodimeter	4.1.5	polartrack	4.1.5
geoïde	3.2	profilers	7.7
geometrie	4.3.1	projectie	3.1
getij	8.2	radio plaatsbepaling	4.2
getijvoorspellingen	8.2	radiohorizon	4.2.1
GLONASS	4.3.3	rangefinder	4.1.4
golfanalyse	8.1	range-range	4.2.3
golven	8.1	raytheon	7.3.6
GPS	4.3.1	referentiestation	4.3.2
gyrokompas	6.1	referentievlak	3.2
handlood	7.2	Rho-Theta	4.1.3
heave	7.3.6	ROV	7.7.1
heave-compensators	7.3.5	RTK	4.3.3

S/A	4.3.1
satellietplaatsbepalingsystemen	4.3
SBL	5.2
seabat	7.7.2
selective availability	4.3.1
sercel	4.2.1
sextant	4.1.2
Side Scan Sonar	7.5
significante golfhoogte	8.1
snijdingen	4.3.1
sonar	7.7.2
squat	7.3.6
stappenbaak	8.3
stereografische projectie	3.1
Sub-bottom Profiler	7.5
surveycomputer	6.2
swathe	7.2
Syledis	4.2.1
synchro	6.1
taludmetingen	7.2
TDS	9.6
theodoliet	4.1.3
TM-projectie	3.1
total station	4.1.5
trackplot	9.3
transducer	7.3.1
transponder	5.1
Transversale Mercator	3.1
Trimble	4.3.2
Trisponder	4.2.1
Universele TM-projectie	3.1
USBL	5.3
UTM	3.1
vlekkenkaart	9.3
waterpasinstrument	3.2
Waverider	8.1
werkbaarheid	7.3.5
WGS72	3.1
WGS84	3.1
zichtraai	4.1.1

Literatuurlijst

- Admiralty Manual Of Hydrographic Surveying (1965)
Vol.I + Vol. II
Hydrographer of the Navy, UK
- Admiralty Tidal Handbooks Vol. I + Vol. II
Hydrographer of the Navy, UK
- Ackroyd, Neil and Lorimer, Robert (1990),
Global navigation, a GPS Users Guide
Lloyds of London Press Ltd.,
ISBN 1 85 044232 0
- Bugayevskiy Lev M. and Snyder John P. (1995),
Map projections, a reference manual
Taylor & Francis, London, ISBN 0 74 840303 5
- Hurn, Jef (1989), GPS, A guide to the next utility
published by Trimble Navigation Ltd. USA
- Hurn, Jef (1993), Differential GPS Explained
published by Trimble Navigation Ltd. USA
- Manual Of Hydrographic Surveying Vol.I + Vol. II (1984)
S.H.O.M. (Service Hydrographique et
Océanographique de la Marine), Paris
ISBN 2 11 080570 6
- Smith, J.R. (1988), Basic Geodesy, an introduction to
the history and concepts of modern geodesy
without mathematics
Landmark Enterprises, USA,
ISBN 0 91 084533 6
- Strang van Hees, G.L. (1993),
Globale en lokale geodetische systemen
Nederlandse Commissie voor Geodesie,
publicatie 30, ISBN 9 06 132244 8

tijdschriften en publicaties:

- The Hydrographic Journal by the Hydrographic Society
- The International Hydrographic Review by the
International Hydrographic Bureau, Monaco
- Hydro International by G.I.T.C. Lemmer, NL
- Sea Technology by Compass Publications, USA
- Underwater Systems Design by A.P. Publications,
London, UK
- Proceedings of HYDRO conferences by the
Hydrographic Society