

Materialenneerslag en onderhoudsbagger- werken in de haven te Zeebrugge en in de Scheldemonding

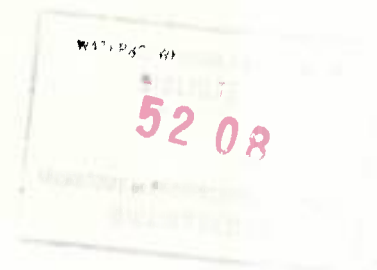
door

Prof. ir. J. VERSCHAVE

Secretaris-Generaal van het Ministerie van Openbare Werken
Docent aan de Rijksuniversiteit te Gent

Uittreksel uit het
TIJDSCHRIFT DER OPENBARE WERKEN VAN BELGIE
n^o 1 - 1976

DRUKKERIJ N. I. C. I.
LOUSBERGSKAAL 32
9000 GENT
1976



MATERIALENNEERSLAG EN ONDERHOUDSBAGGERWER- KEN IN DE HAVEN TE ZEEBRUGGE EN IN DE SCHELDEMONDING

52521

door

0307 002 4409



Prof. ir. J. VERSCHAVE

Secretaris-Generaal van het Ministerie van Openbare Werken
Docent aan de Rijksuniversiteit te Gent

Op het ogenblik, dat belangrijke modelproeven worden verricht in het Waterbouwkundig Laboratorium te Borgerhout met het oog op de verdere uitbreiding naar zee toe van de haven te Zeebrugge en met het oog op de verdieping van de vaargeulen, die tot deze haven toegang moeten verlenen, is het niet van belang ontbloot, de ervaringen uit het verleden ter kennis te brengen van de onderzoekers, die met deze modelstudies zijn belast en ook van alle ingenieurs, die zich later nog zullen bezig houden met de verdere uitbouw van deze haven.

Thans, meer dan 40 jaar geleden, werd ik belast met de controle op de baggerwerken in de kusthavens en sindsdien had ik de gelegenheid bijna ononderbroken deze werken te volgen en het vraagstuk van de materialenneerslag, van aanslibbingen en aanzandingen in de haven te Zeebrugge en in de Scheldemonding van naderbij te bestuderen.

De hiernavolgende studie heeft dan ook tot doel mijn ervaringen ter kennis te brengen van alle ingenieurs van het Departement van Openbare Werken en van alle Waterbouwkundigen, die belangstelling voor deze problemen koesteren.

HOOFDSTUK I

Vaste stoffen in suspensie in het zeewater ten rechte van Zeebrugge en in de Scheldemonding

De haven te Zeebrugge is gelegen in de eigenlijke monding van het Schelde-estuarium, monding die ongeveer omljnd is door de veelhoek Wenduine - Westkapelle - Vlissingen en Breskens.

Het zeewater is in dit mondingsgebied meer slibhoudend dan elders langsheen de Vlaamse en Nederlandse kust. Het is trouwens bekend, dat de stromingen in de Oosterscheldemonding tot gevolg hebben zand en vooral slib, aldaar aanwezig, meer naar het Zuiden toe te stuwen.

Als hoofdoorzaken van dit hogere slibgehalte van het zeewater kunnen nog vermeld worden de grote stroomsnelheden en de grote turbulentie ingevolge deining en golfbeweging, die in dit gebied met geringere zeebodemdiepten aan te stippen vallen.

Voor al bij storm kan het gehalte aan vaste stoffen in het zeewater exponentieel stijgen.

De afvoer van water met geringere saliniteit, die uit de zeearmen, kustrivieren en polderuitwateringen afstroomt en die in de monding van het estuarium met het zeewater vermengd wordt, is eveneens van aard slib in dit gebied te concentreren.

Het massatransport van de golven, die vanuit de zee zich naar de kusten toe bewegen is ook van aard om de zwevende materialen in het estuariumgebied te houden.

Het uitstorten in zee van baggerspecie, voortkomende uit de havens verhoogt de materiaalconcentratie in het zeewater, vooral in de nabijheid der stortplaatsen.

Wegens de grote snelheden is de erosie van sliblagen en kleilagen in dit gebied een bijkomende oorzaak van verhoging der concentraties aan vaste stoffen.

Biologische activiteiten spelen eveneens, zij het, een bijkomende rol.

Het is bekend, dat de slibgehalten het hoogst zijn in een strook van een 4 tal km breed van uit de Vlaamse kust en op het ondiepere platengebied ten rechte van het eiland Walcheren.

De eerste metingen en ontleding van het gehalte aan vaste stoffen, aanwezig in het zeewater, werden uitgevoerd door Prof. T. Swarts van de Universiteit te Gent, omstreeks het jaar 1920.

De monsters zeewater werden bij kalm weer en kalme zee, ontleend op een plaats, gelegen op geringe afstand van de kust ten rechte van de kerk te Heist, vermoedelijk boven de Paardemarkt.

In tabel I zijn deze gehalten van zwevende vaste stoffen in het zeewater opgegeven.

Volgens Prof. Swarts zou er in het zeewater aldaar 5,4 maal zoveel slib en klei aanwezig zijn als zand. Spijtig genoeg wordt er niet vermeld, welke minimum korreldiameter voor zand aangenomen werd.

Deze hoeveelheden zijn afgewogen hoeveelheden.

De volgende metingen, die ons bekend zijn, werden uitgevoerd door de Heer ir. Van Mierlo omstreeks 1925, namelijk op de Raanvlakte, oost van de Walvisstaart, eveneens bij kalm weer.

De resultaten van deze metingen zijn opgegeven in de tabel 2.

TABEL 1

Zwevende vaste stoffen in het zeewater ten rechte van Heist bij kalm weer.
(Prof. Th. Swarts — Universiteit Gent 1920)

Monsternamen van zeewater		Gewicht vaste stof per m ³ zeewater in gram	Gewichts- verhouding zand vaste stoffen %
Plaats op de vertikale	Tijstand		
1	2	3	4
zeeoppervlak	H.W.	141	7
	L.W.	140	22
1 meter boven de zeebodem	H.W.	295	37
	L.W.	404	26

TABEL 2

Zwevende vaste stoffen in het zeewater op de Raanvlakte Oost van de Walvisstaart bij kalm weer (Van Mierlo 1925).

Monsternamen van zeewater			Gewicht vaste stoffen per m ³ zeewater in gram
Plaats op de vertikale	Tijstand en waterdiepte in m	Water- snelheid m/sec	
1	2	3	4
oppervlak 1 m boven bodem	H.W. (10)	0,60	400
	id	id	1.390
oppervlak 1 m boven bodem	H.W. (10)	1	920
	id	id	2.100
oppervlak 1 m boven bodem	kentering (8)	< 0,20	360
	id	id	600

Alhoewel de heer Van Mierlo vermeldt, dat de metingen bij kalm weer werden uitgevoerd, zal de deining of zeegang op deze plaatsen wat hoger zijn geweest dan boven de Paardemarkt ten rechte van Heist. Deze laatste plaats is immers aanzienlijk meer beschermd door de havendam te Zeebrugge.

Uit deze metingen heeft de Heer Van Mierlo de verdeling van het gehalte aan vaste stoffen op de verschillende diepten tussen het wateroppervlak en de zeebodem afgeleid en daaruit werd ook afgeleid het

gehalte aan vaste stoffen in een verticale waterkolom met een bodemoppervlakte van 1 m² en het gemiddeld gewicht aan vaste stoffen per m³ zeewater op deze verticale. (tabel 3).

TABEL 3

Zwevende vaste stoffen in het zeewater op de Raanvlakte, oost van de Walvisstaart bij kalm weer. (Van Mierlo 1925)

Tijstand	water-snelheid m/sec	water-diepte m	gewicht vaste stoffen in de water- kolom op 1 m ² zeebodem in kg	gem. gewicht vaste stoffen per m ³ water in gram
L.W.	0,60	6	6	1.000
H.W.	0,60	10	7,9	790
L.W.	1,0	6	9,7	1.616
H.W.	1,0	10	13,7	1.370
kentering	< 0,20	8	3,85	481

Uit deze reeds lang geleden uitgevoerde metingen blijkt overduidelijk, dat de watersnelheid, de bodemberoering door golfbeweging en dus de turbulentie van uitermate groot belang zijn.

Aan het gehalte vaste stoffen in suspensie wordt een bovengrens gesteld, eens dat alle op de bodem aanwezige losse of niet cohesieve materialen, nl. zand, slib en klei, bij zeer zware stormen in zwevende toestand verkeren.

De concentratie aan zand is heel wat groter nabij de bodem in het gebied, rakend aan het eigenlijke bodemtransport, dan in de bovenlagen.

Als zand nemen wij voortaan aan de materialen met een korreldiameter groter dan 60 mikron; als klei die met een korreldiameter kleiner dan 2 mikron; als slibstof de materialen met een korreldiameter begrepen tussen 2 mikron en 60 mikron. Als onderverdeling zal soms de term meelzand gebruikt worden voor de fraktie van 20 mikron tot 60 mikron. Kalk en organische stoffen worden als afzonderlijke frakties of onreinheden betiteld.

Klei en slibstof blijven voortdurend in suspensie, in de bovenlagen, daar over het algemeen de tijdsduur van geringere snelheid bij de kenteringen onvoldoende is om deze materialen te laten bezinken.

In de onderlagen bezinken ze bij kentering en kalme

zee evenwel op de zeebodem en kunnen bij volgende vloed of eb opnieuw in suspensie gebracht worden.

Zand integendeel kan tijdens de kenteringen van stroom bij zeer kalm weer gemakkelijk op de ganse hoogte of op volle waterdiepte bezinken tot op de zeebodem.

In de tabel 4 zijn de valsnelheden in zuiver kalm water van enkele stoffen aangegeven, samen met de korreldiameter, de valsnelheid in mm/sec en de totale valhoogte in de tijdspanne van een half uur in mm.

TABEL 4

Valsnelheden in zuiver kalm water.

Stof	korrelgrootte $\mu=0,001$ mm (mikron)	valsnelheid per sekonde: mm	valhoogte in half uur: mm
1	2	3	4
klei	0,9	0,0025	4,5
kaolin	5	0,02	36
slibstof	10	0,08 à 0,1	180
meelzand	20	0,4	720
zand	60	3,5	6.300
zand	100 à 150	8 à 10	18.000

Bij de in tabel 4 opgegeven theoretische vergelijking, mag men niet vergeten, dat het gaat over zuiver water in rust en niet om zeewater in situ, dat daarenboven steeds een zekere turbulentie vertoont.

In het zeewater kan er wegens het gehalte aan magnesium-chloride en -sulfaat flocculatie van klei optreden en kan de valsnelheid van de kleivlokken alsdan minstens 180 maal groter worden.

De valsnelheid kan dan 0,43 mm/sec bereiken; in de tijdspanne van een half uur blijft de valhoogte nog steeds geringer dan 1 m. (775 mm in theorie).

Zeer weinig vaste stoffen worden door de opperafvoer van de Westerschelde definitief naar het estuarium toe afgevoerd. Deze vaste stoffen blijven in het estuarium en kunnen veel vroeger neergeslagen worden meestal in het gebied, gelegen tussen Burcht en de Belgisch-Nederlandse grens, alsmede in de toegangsgeulen tot de sluizen en op de schorren en slikken.

Uit metingen, uitgevoerd door de Rijkswaterstaat is gebleken, dat het gemiddeld *slib*gehalte in de Westerschelde ten rechte van de lijn Vlissingen-Breskens dus op een plaats met grote diepten, gemiddeld 327 gr per

m³ bedraagt tijdens de vloed en 332 gr per m³ water tijdens de eb.

Volgens Engelse metingen worden aan de oppervlakte van de Noordzee slibgehalten gevonden tijdens de zomermaanden van 200 à 300 gr per m³ zeewater en tijdens de winter van 400 à 1 000 gr per m³ naar gelang het gaat over hoog water of laag water.

Bij de kenteringen zouden steeds aan de oppervlakte slibgehalten van 250 à 300 gr per m³ zeewater worden gemeten.

Als eerste conclusie zou men dus kunnen stellen dat het gemiddeld slibgehalte en vooral het gehalte aan vaste zwevende stoffen per m³ zeewater in een verticale waterkolom zeer gevoelig kunnen schommelen en in het gebied van het Schelde-estuarium kunnen begrepen zijn tussen 250 gr per m³ als minimum en 1.600 gr per m³ als maximum in ronde cijfers, dit in periodes dat er alleen een geringe deining bestaat met een golfhoogte gevoelig beneden 1 m. Vanaf golfhoogten van 1 meter zijn deze gehalten groter, omdat de zeebodem ook door orbitale snelheden van de golven in beroering is zelfs bij tijdstroomkenteringen.

Volgens Vos en Vander Beyl zijn bij een harde en stormachtige wind van 7 à 8 Beaufort, waarbij reeds golven van 2 m hoogte kunnen optreden, de gehalten aan vaste stoffen 4 maal groter geworden.

Wat dit gehalte wordt bij de zwaarste stormen als de maximale golf in het beschouwde gebied ongeveer 6 m kan bereiken en nog meer bij zeer hoge windopstuwing en hoog tij (8 m) zal wel begrensd zijn door de hoeveelheid los materiaal, dat op de zeebodem aanwezig is en in suspensie kan gebracht worden.

De samenstelling van de materialenneerslag op de havenbodem te Zeebrugge en de hoeveelheden neergeslagen materialen per jaar tijdens de laatste 40 jaar zullen een bijkomend inzicht in de problematiek van de wisselende turbiditeit van het zeewater verschaffen.

*
* *

HOOFDSTUK II

Vaste stoffen in de baggerspecie op de havenbodem te Zeebrugge

De voorhaven te Zeebrugge, volledig aan tij onderhevig, vormt sinds 1963, na de volledige afsluiting door de oostelijke havendam, een ideaal bezinkingsbekken.

Vóór de tweede wereldoorlog was de voorhaven nog gedeeltelijk open aan de oostzijde, doch na deze oorlog werd de havengeul naar de zeesluis toe, naar het westen verlegd, wegens de aanwezigheid van talrijke wrakken in de voor-oorlogse geul.

Tenslotte werd de haven ook oostelijk integraal afgesloten, zodat sinds 1963 elke vulling van de voorhaven door het getij langsheen de haveningang moet gebeuren.

Op de figuur 1 zijn de begrenzingen van het eigenlijke havengebied tijdens deze drie periodes aangegeven.

Reeds in de jaren 1933 en 1934 heb ik door een reeks proeven en metingen proefondervindelijk het gehalte aan vaste stoffen in de baggerspecie van de Belgische havens, in functie van het schijnbaar volumetrisch gewicht van deze specie laten bepalen.

De zwarte stippen op fig. 2 geven enkele karakteristieke metingsresultaten aan. De variërende aard van de vaste stoffen in monsters van beperkte omvang (van viskrengen tot metalen voorwerpen) geeft een zekere dispersie in de meetresultaten.

Op het diagram figuur 2 geeft de onderbroken lijn de gemiddelde functie weer.

Deze onderbroken lijn geeft ongeveer het gewicht aan vaste stoffen per m³ baggerspecie, in functie van het volumetrisch eenheidsgewicht dezer specie; in de veronderstelling, dat men voor de densiteit der vaste stof 2,6 neemt en voor de densiteit van het zeewater 1,025.

Voor de volumetrische gewichten lager dan 1,33 komen evenwel punten voor boven de lijn en voor de volumetrische gewichten boven 1,33 komen er punten voor onder deze lijn.

De tweede volle lijn geeft een tweede begrenzing van de meetpunten. Ze komt voor een volumetrisch gewicht van 1,2 t per m³ overeen met een gewicht aan vaste stoffen van 300 kg. De gemiddelde overeenstemmende densiteit der vaste stof is dan 2,45.

Voor een volumetrisch gewicht der baggerspecie van 1,4 t per m³ is het gewicht aan vaste stoffen 600 kg. De gemiddelde densiteit der vaste stof is dan 2,65.

Voor het volumetrisch gewicht van 1,6 wordt op de volle lijn het gewicht aan vaste stoffen 900 kg. De gemiddelde densiteit van de vaste stof is dan 2,8.

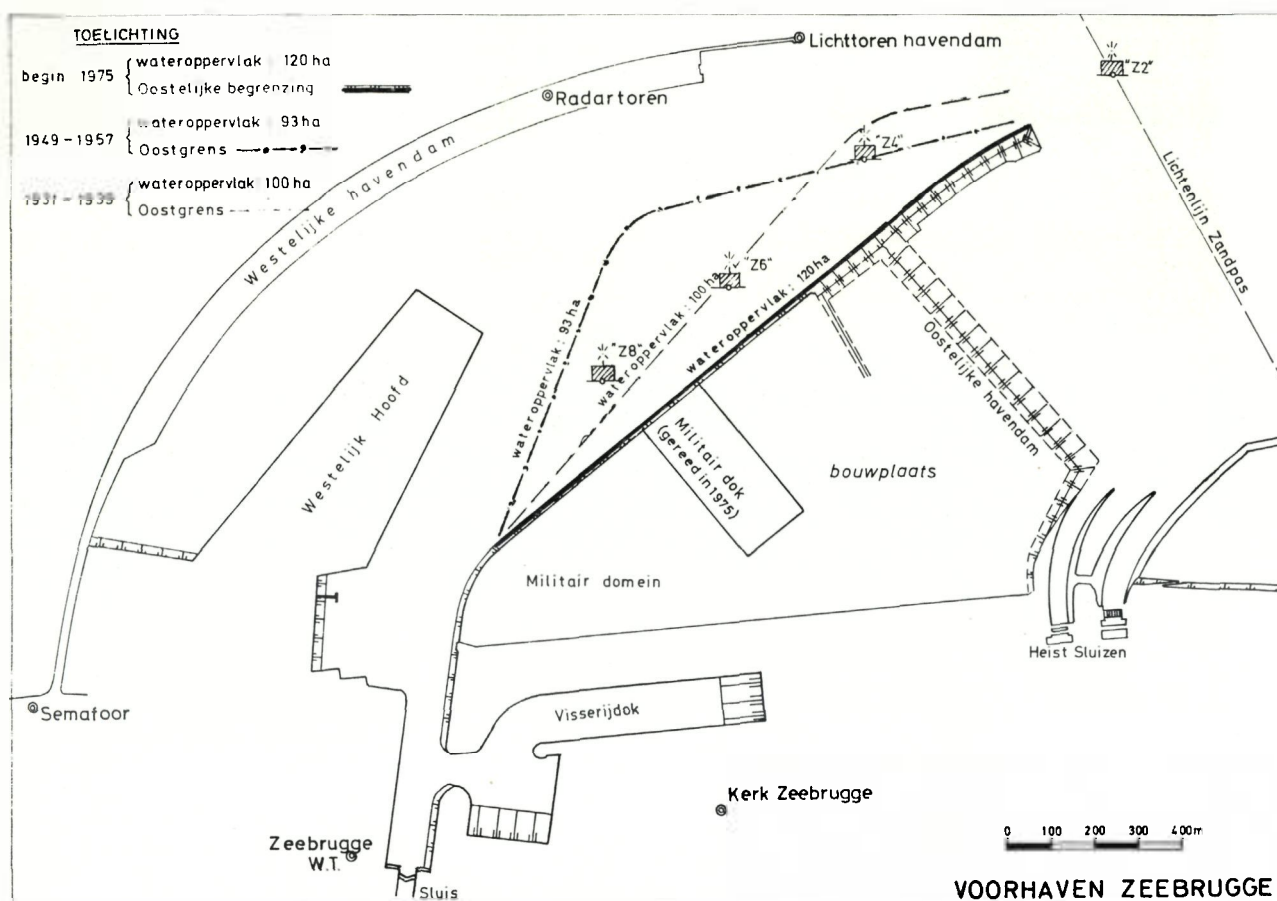


Fig. 1.

Het is inderdaad achteraf gebleken, dat een grote hoeveelheid organische stoffen aanwezig is in de baggerspecie bij lage volumetrische eenheidsgewichten; wat de gemiddelde densiteit van de vaste stof naar beneden drukt en dat, integendeel, bij een hoog volumetrisch eenheidsgewicht van de baggerspecie (1,6) zware bestanddelen — graniet — porfier — basalt — tot zelfs metalen voorwerpen aanwezig zijn.

Deze twee lijnen vormen benaderend de begrenzingen van de werkelijk gevonden gewichten aan vaste stoffen per m³ baggerspecie, in functie van het volumetrisch eenheidsgewicht van deze specie.

In de praktijk wordt sinds 1950 de meest benaderende, namelijk de onderbroken lijn aangenomen voor de bepaling van de gebaggerde tonnages aan vaste stoffen.

In 1953 werden opnieuw op de bodem van de haven te Zeebrugge talrijke monsters van baggerspecie genomen, die in het Laboratorium voor Grondmechanica te Gent volledig werden ontleed.

Van al deze monsters werd het watergehalte bepaald, het gehalte aan organische stoffen, het gehalte aan kalk en na de verwijdering van deze eerste fracties, werden, van de gereinigde minerale faze, de percentages bepaald enerzijds van klei met korrels kleiner dan 2 mikron, van de slibstof (korrels van 2 mikron tot 60 mikron) en van zand met korrels groter dan 60 mikron.

De tabel 5 geeft de gemiddelde samenstelling van de baggerspecie op de bodem en op diverse plaatsen van de voorhaven te Zeebrugge.

Tabel 6 geeft de gemiddelde samenstelling van baggerspecie op de havenbodem te Zeebrugge in functie van het volumetrisch eenheidsgewicht dezer baggerspecie.

De figuur 3 geeft onder vorm van diagram het verloop van de gehalten aan vaste stoffen in functie van het volumetrisch eenheidsgewicht en stelt aldus figuurlijk de gegevens van tabel 6 voor.

Bij stijgend volumetrisch eenheidsgewicht der specie,

Kgr Gewicht vaste stof per m³ baggerspecie in Kgr

BELGISCHE KUSTHAVENS

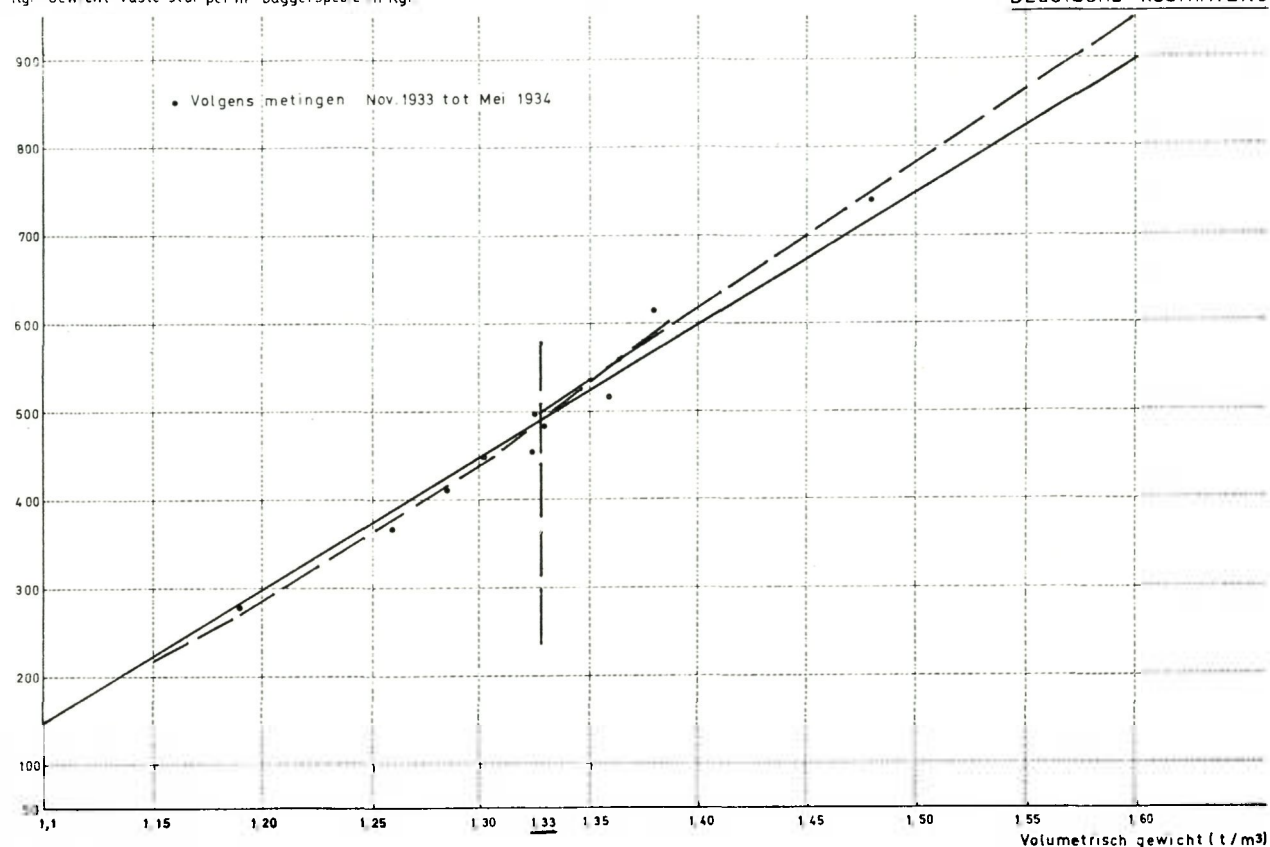


Fig. 2

TABEL 5

Gemiddelde samenstelling van baggerspecie op de bodem van de voorhaven te ZEEBRUGGE.
(metingen en ontleding 1953)

Plaats	diepte onder L.L.W.S. (m)	Gehalte in % tegenover gewicht vaste-stoffen			
		water	org. st.	kalk	vaste stoffen na verwijdering van kalk en org. stoffen
1	2	3	4	5	6 (100 - (4 + 5))
1. haveningang	— 8,60	197	10	28,5	61,5
2. zwaaiplaats	— 8,10	254	11,6	30	58,4
3. aanlegplaats zeestation	— 10,30	300	12,5	30	57,5
4. aanlegplaats zuid van koninklijke trap	— 9,40	260	11,6	30	58,4

TABEL 6

Gemiddelde samenstelling van baggerspecie op de havenbodem te Zeebrugge in functie van de densiteit of het volumetrisch eenheidsgewicht.

gewicht per m ³ in Ton	gewicht vaste stoffen in Kgr	gewicht water in Kgr	% water V. stof	% org. stof. V. stof	% kalk V. stof	% zuiver V. stof V. stof	op zuivere vaste stof %			op vaste stof %		
							zand > 60μ	klei < 2μ	slib 2μ à 60μ	zand > 60μ	klei < 2μ	slib 2μ à 60μ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1,15	220	930	422	16	30	54	2	53	45	1	29	24
1,20	290	910	313	13	30	57	3	51	46	2	29	26
1,25	365	885	242	11,5	30	58,5	4	45	51	2,5	26	30
1,30	440	860	195	10	28	62	16	35	51	9	22	31
1,35	535	815	152	8	27	65	27	28	45	18	18	29
1,40	600	800	133	7	26	67	34	21	45	23	14	30
1,45	675	775	115	7	24	69	43	13	44	30	9	30
1,60	940	660	70	7	22	71	68	—	32	48	—	23

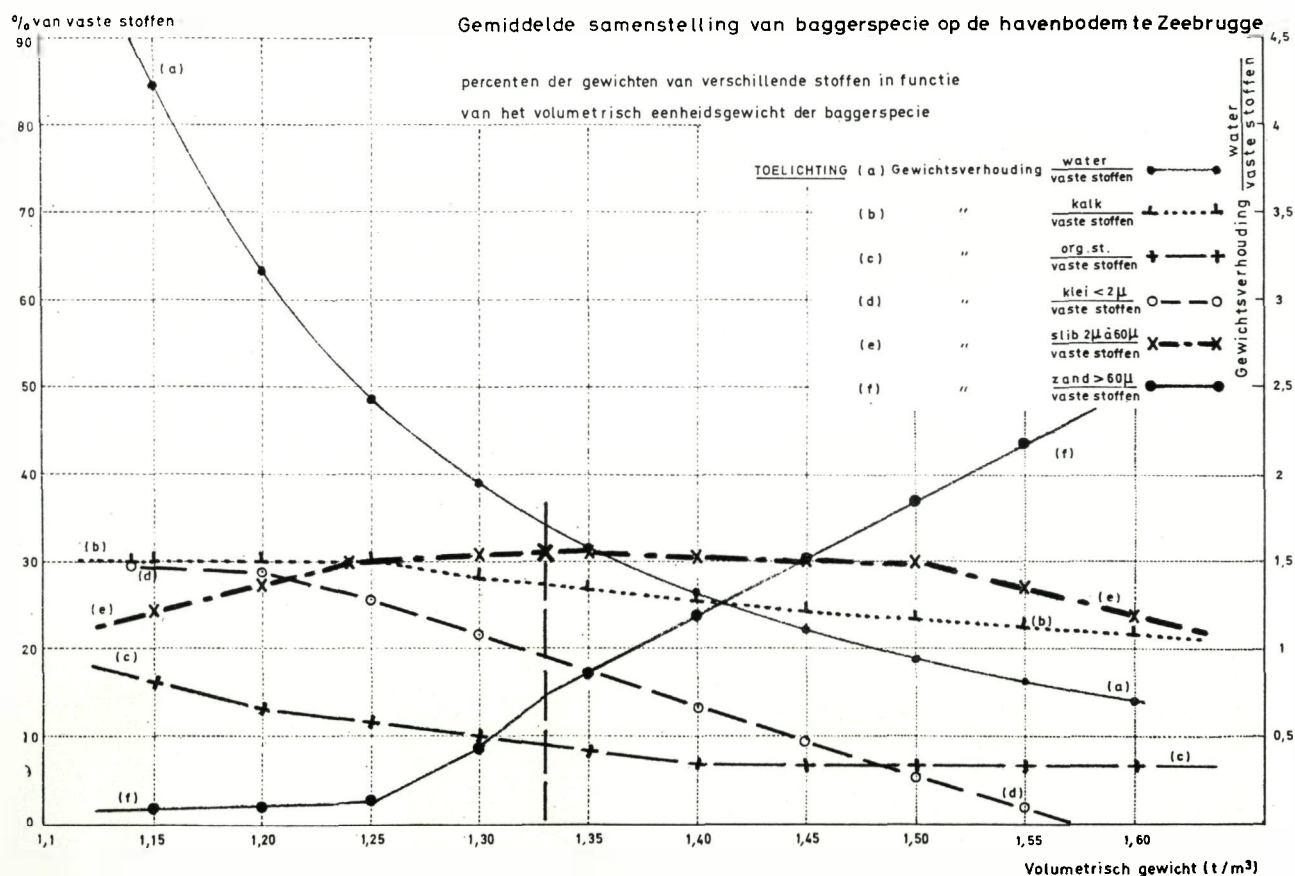


Fig. 3.

dalen de gehalten van organische stoffen en klei gevoelig, stijgt het zandgehalte snel, daalt het kalkgehalte

langzaam terwijl het gehalte slibstof eerder konstant blijft met maxima nabij abscis 1,33.

Uit deze tabellen is ook duidelijk merkbaar, dat de zwaarste baggerspecie met het geringste watergehalte te Zeebrugge gevonden wordt aan de haveningang; wat wijst op het spoedig aldaar bezinken van het zand, aanwezig in het vullingswater van de haven.

Het volumetrisch gewicht van de baggerspecie bereikt in situ 1,3 ton per m³.

In de andere gedeelten van de haven is de baggerspecie reeds lichter en heeft een volumetrisch gewicht van 1,24 à 1,25, steeds in situ.

Aan de aanlegplaats nabij het zeestation, die in 1953 het diepst werd onderhouden, vloeit op de havenbodem het lichtste slib naar deze kuil toe en het volumetrisch gewicht in situ daalt tot 1,21 ton per m³.

In de huidige situatie van de voorhaven is de snelheid van het door de havenmonding binnenvloeiende water bij stijgend tij en van het uittrekwater bij dalend tij steeds kleiner dan gemiddeld 14 cm/sec. Dit is een uitermate kleine snelheid, wat uitlegt, dat de hoeveelheid zand in het zeewater aanwezig, reeds overwegend in de zone, gelegen ten Zuiden van de havenmonding, bezinkt. Dit vullingswater is geruime tijd bijna in rust in het bezinkingsbekken en is in elk geval bij hoog en laag tij volledig in rust.

Daarenboven wordt er weinig of geen zoet water doorheen de zeesluis of de kleine uitwateringssluizen in de voorhaven te Zeebrugge geloosd, in vergelijking met het jaarlijks volume zeewater, dat de haven in- en uittrekt.

Het zeekanaal Brugge-Zeebrugge wordt trouwens met zeewater gevoed.

Het kanaalwater is zeer brak. In het kanaal zelf hebben de belangrijkste bezinkingen plaats juist ten zuiden van de oude zeesluis.

In de huidige situatie is er behalve een kleine neer bij de volle vloed juist aan de havenmonding geen uitwisseling van water, dwz. dat er in de bovenlagen van de monding geen water uitvloeit als het gelijktijdig in de onderlagen zou binnenvloeien, of omgekeerd.

Nabij de tijdstippen van H.W. en L.W. treedt er zeer vlug een stratificatie in van de waterlagen in de haven zelf, zodanig dat de meest geladen waters nabij de bodem aanwezig zijn en de waters met de geringste turbiditeit aan de oppervlakte aanwezig zijn.

Door het lange verblijf van het vullingswater in de haven kunnen, naast het zand, ook de slibfracties en

de kleifracties gemakkelijk naar beneden vlokken en bezinken.

Klei geladen met waterstof-, natrium- en kalium-ionen is in zuiver water onderhevig aan een intense colloïdale beweging, de zogenoemde Brownse beweging, doch het toevoegen van magnesiumchloride of -sulfaat en calciumchloride aanwezig in zeewater, zal het vlug naar beneden uitvlokken in dit rustig milieu in hoge mate bespoedigen.

De hoogte van de telkens per getij vernieuwde waterlaag is in de haven te Zeebrugge gemiddeld 3,72 m. Als dit water gemiddeld 2 h 30' in de haven vertoeft, dan zijn alle materialen aanwezig in dat water, op de bodem bezonken.

Welnu, het stijgen van het getij duurt er ongeveer 5 h 30' en het dalen ongeveer 7 h. De enige versturende factor is de turbulentie veroorzaakt door de beweging der schepen en door de aktie van scheepsschroeven.

Uit de tonnages vaste stoffen, per jaar in de haven te Zeebrugge gebaggerd, kan men benaderend afleiden, welke hoeveelheid materialen per m³ vullingswater neergeslagen worden.

HOOFDSTUK III

Vaste stoffen gebaggerd in de haven te Zeebrugge

Wij hebben gedurende drie karakteristieke periodes de tonnages vaste stoffen bepaald, die in de haven te Zeebrugge werden gebaggerd.

De eerste periode gaat van 1931 tot en met 1939. Tijdens die ganse periode werden geen wijzigingen aan de begrenzing van de haven aangebracht en werden ook geen verdiepingswerken in de haven zelf uitgevoerd.

De gebaggerde hoeveelheden tijdens al die jaren dienen dan ook gerekend bij de zuivere onderhoudsbaggerwerken nodig om het peil van de toenmaals te onderhouden havenbodems te handhaven.

Tijdens de tweede wereldoorlog was de haven gemilitariseerd, was in hoge mate dichtgeslibt en door talrijke zeemijnen en wrakken versperd. Eerst na het volledig ruimen van de wrakken en na het verleggen van de havengeul tussen havenmonding en zeesluis trad een tweede periode van normaal onderhoud in, namelijk de periode van 1949 tot 1957.

Vanaf 1960 werden aanzienlijke werken uitgevoerd

in de haven, namelijk de volledige afsluiting van de voorhaven door de oostelijke havendam en het bouwen van het westelijk hoofd. Talrijke werken tot verbreding van de zwaaiplaatsen en verdieping van de havenbodems werden eveneens uitgevoerd.

Naast de normale onderhoudsbaggerwerken werden in de periode van 1958 tot 1972 ongeveer 5,5 miljoen m³ grond in situ extra uit de haven verwijderd voor verruiming en verdieping. Het bepalen van de zuivere onderhoudsvolumes boven dit geciteerde kubiek is derhalve moeilijk en onbetrouwbaar.

Een derde periode van normaal onderhoud is ingegaan op 1 april 1973 en tijdens de twee laatste jaren tot 31 maart 1975 werden eveneens de tonnages vaste stoffen per jaar gebaggerd, nauwkeurig berekend.

Tabel 7 geeft de uitslag van dit onderzoek; namelijk de gemiddelde jaarlijkse tonnages vaste stoffen, in de voorhaven te Zeebrugge gebaggerd tijdens de drie hierboven vermelde periodes. Terzelfdertijd geeft zij aan, de oppervlakte van de voorhaven, die aan een volledige tijvvulling van gemiddeld 3,72 m per getij onderhevig was.

Naast de maximum diepte van de haveningang, geeft de tabel per periode het uit deze gegevens berekende gewicht vaste stoffen per m³ vullingswater aan, uitgedrukt in gram per m³ zeewater. Het jaargemiddelde van het gehalte vaste stoffen in het zeewater aanwezig voor de kust in het Schelde-estuarium moet dus 700 gram per m³ water bedragen.

Uit de tabellen 5 en 6 blijkt daarenboven, dat de materialenneerslag aan de haveningang ongeveer 16% zand van het totaal gewicht van de gezuiverde vaste stoffen bevat; hetzij dus ongeveer 1/6; wat betrekkelijk goed overeenstemt met de vroegere gegevens van Prof. Swarts en de Heer Van Mierlo betreffende het zandgehalte tegenover het slibgehalte in het zeewater.

Elders in de haven, waar het schijnbaar volumetrisch gewicht daalt tot 1,2 à 1,25 ton per m³ is er min dan 5% zand op het totaal gewicht van de gezuiverde vaste stoffen aanwezig.

De baggerspecie wordt thans te Zeebrugge door een slibzuiger van de havenbodems verwijderd en in zee gestort op een afstand van ongeveer 5 km ten oosten van de vuurtoren, namelijk ten rechte van het Kursaal bij het Albertstrand te Knokke op de westelijke helling van de Appelzak.

Tijdens de eerste periode, omstreeks 1936-1937 was het gemiddeld volumetrisch gewicht van de slibspecie in de zuigers, 1,24 à 1,25 ton/m³ met minima in de kalme zomerperiode van 1,237 ton/m³.

Wegens de volledige afsluiting, is dit gemiddelde tijdens de jaren 1974-1975 gedaald tot 1,225 met een minimum na de zomerperiode van 1,217 ton/m³, steeds in de zuigers gemeten.

De volledige afsluiting van de haven heeft het gemiddeld zandgehalte in de baggerspecie verminderd. Dit is begrijpelijk, aangezien vroeger de vulling ook deels over de oostelijke bank mogelijk was. Bij deining en golfbreking op die bank was vooral het zandgehalte in het water merklijk hoger.

De geringere densiteit van de baggerspecie in de zuigers, na de zomerperiode vastgesteld, is het gevolg van het ontbreken van stormen en zware deining tijdens de zomermaanden. Alsdan heeft het zeewater een geringer zandgehalte.

Er moet geconcludeerd worden, dat de vulling van de haven langs een goed afgelijnde haveningang, zoals het thans gebeurt, steeds dezelfde stroomrichting over de ganse oppervlakte van deze sectie waarborgt, zowel

TABEL 7

Gemiddelde jaarlijkse tonnages vaste stoffen, in de voorhaven te Zeebrugge gebaggerd.

Periodes	gemiddeld tonnage vaste stoffen gebaggerd per jaar ton	wateroppervlakte met tijvvulling Ha	maximum diepte haveningang onder L.W. m.	gewicht vaste stof per m ³ water — havenvulling door getij — gram.
van 1931 tot 1939	1.910.000	100	— 8	735
van 1949 tot 1957	1.710.000	93	— 9	700
van 1.4.1974 tot 31.3.1975	2.180.000	120	— 10	685

bij vloed als bij eb en dat de verdieping van deze ingang en ook de aanzienlijke verdieping van de havenbodems geen verhoging van aanslibbing per ha wateroppervlak hebben veroorzaakt; dat integendeel het gehalte aan neergeslagen vaste stoffen per m³ zeewater in 1973 à 1975 nog enigermate is verminderd. Elke parasitaire wateruitwisseling is dus definitief uitgeschakeld.

Verder mag men besluiten, dat voor het ganse gebied van de voorhaven, de tonnages aan zand geschat mogen worden op gemiddeld 6 à 7% van de globale hoeveelheid van de gezuiverde vaste stoffen en op ongeveer 3 à 4% van de globale tonnage van vaste stoffen, kalk en organische stoffen inbegrepen.

De voornaamste conclusie is, dat men aan de configuratie van de voorhavenmonding en aan de volledige afsluiting ervan door de oostelijke zowel als door de westelijke havendam niet mag tornen, wil men geen aanzienlijke bijkomende baggerwerken in het leven roepen. De voorhaven is daarenboven tegen golfaanloop vanuit zee beveiligd en bijkomende materiaal-neerslagen, die ervan het gevolg kunnen zijn, zijn optimaal gereduceerd. De oostelijke havendam betekent een hoogstnoodzakelijke beschutting voor de toegang tot de nieuwe ontworpen zeeluis en voor de sluisdeuren zelf, dank zij de thans bestaande vernauwing van de havenmond en de golfdiffractie zowel als golfuitspreiding tussen de havenmond en deze zeeluis.

HOOFDSTUK IV

Verdieping en onderhoud van de Pas van het Zand en het Ribzand

In 1960, toen voor het eerst proefbaggerwerken tussen de Bol van Heist en de Bol van Knokke in het Scheur werden uitgevoerd, met het oog deze vaarweg voor de grote zeeschepen open te stellen en de toegang tot de haven te Antwerpen te verbeteren werd eveneens door het Departement van Openbare Werken beslist de toegang tot de haven van Zeebrugge te verbeteren en een Pas doorheen het Zand te onderhouden. (tabel 8)

De oorspronkelijke hoogte van de rug van het Zand lag in 1960 tussen peil - 6,50 en - 7 m onder L.L.W.S.

Het verzoek van het havenbestuur te Brugge beoogde ineens een verdieping te bekomen tot op peil - 9 m. (L.L.W.S.)

De eerste proef tot verdieping en onderhoud is evenwel maar geslaagd tot op het peil - 8 m. (L.L.W.S.)

Tijdens deze eerste periode gaande van 1960 tot en met 1967 zijn grote hoeveelheden materialen uit deze Pas verwijderd.

TABEL 8

Baggerwerken in de Pas van het Zand en het Ribzand.

Periode	gebaggerde en onderhouden geul				gebaggerde tonnage vaste materialen (t)			
	lengte (m)	onderhouden diepte (m-L.L.W.S.)	verdieping (m)	sektie-verruiming (m ²)	totaal (t)	aanleg (t)	onderhoud (t)	onderhoud/jaar (t) per jaar
van 1960 tot en met 1967	3.200 (zand)	- 8,00	1	400 (zand)	7.250.000	2.120.000 (29%)	5.130.000 (71%)	641.000
van 1968 tot 1975	3.400 (zand)	- 8,00 à - 9,5	1,5	850	36.800.000	4.780.000 (13%)	32.020.000 (87%)	4.000.000
	+							
	3.000 (ribzand)	- 8,80 à - 9,5	0,70	280	8.200.000	1.220.000 (15%)	6.980.000 (85%)	870.000
Totalen periode 1968-1975					45.000.000	6.000.000	39.000.000	4.870.000
Totalen periode 1960-1975					52.250.000	8.120.000	44.130.000	

Het onderhouden ervan viel reeds zeer zwaar uit en het nuttige rendement voor de verdieping heeft gedurende deze ganse periode maar 29% bereikt.

Desondanks werd in 1968 beslist de krachtingspanning nog op te drijven, wegens de vestiging van de Texaco-Terminal te Zeebrugge en om de toegang voor grotere tankers tot de haven mogelijk te maken.

Tijdens deze tweede periode, gaande van 1968 tot 1975 werd de Pas van het Zand verdiept tot het peil - 9,5 m. (L.L.W.S.)

Aangezien daarenboven de natuurlijke diepte in de Wielingen en het Ribzand maar - 8,80 m (L.L.W.S.) bedroeg, dienden deze baggerwerken eveneens uitgebreid tot het Ribzand tussen het Zand en het Scheur, in de verlenging van de lichtenlijn, van het Zand.

Het nuttig rendement is, zoals blijkt uit de tabel 8 nog gevoelig gedaald: 13% voor het Zand; 15% voor het Ribzand.

Enorme hoeveelheden materialen werden uit deze Passen verwijderd en ten noorden van het Scheur op de banken in zee uitgestort.

Het onderhouden van de Pas van het Zand tot - 8 (L.L.W.S.), peil dat nog boven de omliggende bodem van de Wielingen lag, kon nog enigermate logisch lijken, aangezien de tonnages vaste stoffen, die per strekkende meter vaargeul en per jaar als onderhoud moeten verwijderd worden, ongeveer 200 t. bedraagt.

Dit blijft lager dan de som van het gezamenlijk bodemtransport van zand, verwerkt door de vloed- en de ebstroom.

Het is duidelijk, dat deze vaargeul, bijna loodrecht op de stroomrichting gelegen, als een zandvanger voor het bodemtransport, zowel tijdens de eb als tijdens de vloed werkt. Voor een onderhoud op peil - 8 m (L.L.W.S.) bezinken weinig of geen zwevende materialen definitief in de Pas en als die tijdens de kenteringen bezinken, dan worden ze tijdens de volgende vloed en ebstromen opnieuw gelicht en in suspensie gebracht.

Dit is niet meer het geval voor een onderhoud op peil - 9,5 m (L.L.W.S.), aangezien de tonnages vaste stoffen, die als onderhoud per strekkende meter vaargeul en per jaar moeten verwijderd worden, gestegen zijn tot 1.176 t. Dit overtreft zeer ver het bodemtransport en aanzienlijke hoeveelheden materialen moeten dus tijdens de kenteringen als een mengsel van zand, slibstof, klei enz. gezamenlijk bezinken, om nadien ofwel buiten de aktie- van eb en vloedstroom te blijven, ofwel een zo hoge kohesie te bereiken, dat

deze stromingen en de turbulentie, veroorzaakt door de orbitale snelheden der golven tegen de bodem, niet meer in staat zijn deze materialen opnieuw in suspensie te brengen.

Het is uit bepaalde proeven bekend, dat de erosiesnelheid van neergeslagen stoffen tegelijk als de turbiditeit van het zeewater, waaruit deze stoffen bezinken, gevoelig gaat stijgen. In die turbiditeit zijn vooral de klei- en slibstof en de organische stoffen in suspensie van groot belang. In funktie van de turbiditeit zijn de gemiddelde erosiesnelheden:

Turbiditeit van het zeewater waaruit de materialen neerslaan	gemiddelde erosiesnelheid van het water (gemiddelde snelheid op de volledige waterdiepte)
0,2 gr per l	0,3 m per sec
0,6 à 0,9 gr per l	0,5 m per sec
1,6 à 2,7 gr per l	0,8 m per sec

Het besluit is dat verdere verdiepingswerken in de onbeschermde Pas van het Zand tot grotere diepten dan - 9,50 m (L.L.W.S.) ontzettend kostelijk zouden uitvallen en economisch niet zijn verantwoord, zolang deze Pas niet door een behoorlijke infrastructuur is vastgelegd. Dat is uiteraard een zeer moeilijke opgave, wil men er een voldoende snelheid en agitatie doorheen behouden om het bezinken van zwevende stoffen tijdens de kenteringen te beletten en vooral om de alsdan neergeslagen stoffen bij het optreden van de eb- en vloedstromen opnieuw te eroderen en te lichten.

Op peil - 9,5 ligt de bodem van de onderhouden Zandpas reeds 2,5 à 3 m onder de kruin van de doorgegraven bankenruggen.

Als men aanneemt, dat in dit geval het globaal bodemtransport veroorzaakt door eb en vloed over de geul heen, naar een door mij destijds uitgevoerde berekening ongeveer 500 t per strekkende meter en per jaar bereikt, dan slaan er bijna 700 t materialen tijdens de kenteringen over de volle breedte van de Pas definitief op de bodem neer. Het zand kan tijdens de kenteringen op de volle hoogte en over de volle breedte van de Pas dus twee maal per getij bezinken, bij kalm weer althans. Slib en klei bezinken uit de onderste waterlaag (± 2 m hoog). Een gewicht van 700 t per jaar en per meter geeft 1 t gemiddeld per tij en per meter en voor een breedte van de Pas van 500 m geeft dat 2 kg per m² en per tij of 1 kg per m² en per kentering.

Om evenwel de Pas van het Zand voortdurend op peil - 9,5 m (L.L.W.S.) te onderhouden zal men een

maximum van 2.000 t per strekkende meter en per jaar moeten verwijderen door baggerwerk, dit betekent 500 t per strekkende meter en per jaar aangevoerd door het bodemtransport en 1.500 t per strekkende meter en per jaar bezonken vaste stoffen tijdens de kenteringen. Dit betekent 3 t per m² en per jaar, wat overeenkomt met meer dan 2 kg per m² en per kentering.

Als men aanneemt dat een verticale kolom water met een bodemoppervlakte van 1 m² en van 11 m hoog tijdens de kentering aan de oppervlakte 360 gr vaste stoffen per m³ bevat en nabij de bodem 600 gr vaste stoffen per m³ zeewater, dan bevat deze waterkolom ongeveer 5,3 kg vaste stoffen in zwevende toestand. In de Pas van het Zand zouden bij een onderhoud tot - 9,5 m (L.L.W.S.) 40% van de gemiddelde hoeveelheid vaste stoffen, in het water aanwezig, tijdens de kenteringen, blijvend bezinken.

De onderhoudsbaggerwerken in de Pas van het Zand evenals de verdiepingsbaggerwerken worden uitgevoerd door de sleepzuiger Vlaanderen 18, die eveneens de baggerwerken in Ribzand en Scheur uitvoert.

De gemiddelde densiteit van de baggerspecie die voorkomt uit de Pas van het Zand, is in de sleepzuiger 1,433 met een maximum van 1,47 tijdens de zomermaand juli en een minimum van 1,40 in de winterperiode tijdens de maand december. Deze densiteit in het schip is in de Pas van het Zand merkkelijk geringer, dan de densiteit van de specie voortkomend uit de Pas van het Scheur, waar ze gemiddeld 1,496 bedraagt met een maximum van 1,528 in mei en een minimum van 1,459 in februari.

De in het Zand gebaggerde specie bezinkt dus moeilijker en trager in het schip, wat duidt op een heel wat groter gehalte aan slib, dan voor de specie uit de Pas van het Scheur.

Uit dit alles valt te besluiten, dat het onderhouden van een nog diepere geul doorheen het Zand nog veel meer permanente materialenneerslag uit het zeewater tijdens de kenteringen zou tot gevolg hebben, en dat het nuttig rendement van deze baggerwerken nog gevoelig zou dalen.

HOOFDSTUK V

Baggerwerken in de Scheurpas

Vanaf het jaar 1960 werd een vaste hompel liggende tussen de Bol van Heist en de Bol van Knokke weg-

gebaggerd, dit onder het peil - 7,5 m (L.L.W.S.) tot peil - 9,3 m. (L.L.W.S.). Ruim 480.000 t materialen werden aldaar verwijderd. Na 2 jaar werd de toestand op deze plaats opnieuw nagepeild en de diepten waren ongewijzigd gebleven. De ebstroom, evenwijdig met en doorheen deze Pas trekkend in westelijke richting, had de bodem op diepte - 9,3 m (L.L.W.S.) onderhouden.

Deze harde hompel, die sinds vele jaren aanwezig was, bestond uit stevige leemachtige klei, die in de verlopen jaren niet volledig door stroomerosie afgetakeld werd.

Na deze proefperiode van 2 jaar werd een eerste verdieping van de Scheurpas ingezet, periode gaande van 1962 tot 1970, jaar, waarin een gemiddelde diepte van - 10,14 m (L.L.W.S.) werd bereikt.

Vanaf 1971 werd de krachtinspanning, door de verhoging van de kredieten, gevoelig versterkt en op 30.4.1975 was een gemiddelde diepte van - 11,47 m (L.L.W.S.) over de volle lengte van de Scheurpas bereikt tussen de meridiaan 3° 04' en de meridiaan 3° 19'. De baggerspecie wordt uitgestort op de banken, ten noorden van het Scheur op minstens 4 km van de Noordrand van de Pas. Sinds 1 april 1973 en tot 31 maart 1975 zijn in totaal 9.500.000 ton materialen in de Appelzak ten rechte van Knokke-Heist uitgestort in het vooruitzicht van de algehele opvulling ervan.

De tabel 9 bevat alle gegevens en uitslagen betreffende deze verdiepingsbaggerwerken, met in de laatste kolom, daaruit afgeleid, de tonnages, die gemiddeld per jaar tijdens deze verdiepingswerken voor het onderhouden dienden verwijderd te worden.

De tabel 10 herneemt de vergelijking met de Pas van het Zand en van het Ribzand en in de laatste kolom wordt een intra- en extrapolatie van de voor de onderhoud te verwijderen tonnages op iedere diepte aangegeven; dit per jaar en per strekkende meter vaargeul.

Voor de bepaling van de verschillende secties van de vaarpassen werden de taluds aangenomen, zoals die uit de peilingsplannen zijn naar voren gekomen.

Het gaat hier om betrekkelijk platte taluds met hellingen tussen 2,5‰ en 10‰ of 1%.

De resultaten van de verdiepingsbaggerwerken in de Pas van het Scheur zijn bemoedigend. De tonnages, die per strekkende meter geul en per jaar dienden verwijderd, wisselen tussen 0 t op peil - 9,30 m, vroegere diepte van de Pas in 1962, en 68 t per strekkende meter

TABEL 9

Baggerwerken in de vaargeul Scheur.

Periode	Gebaggerde en onderhouden geul				Gebaggerde vaste materialen (ton)			
	lengte (m)	onderhouden diepte (-LLWS) (m)	verdieping (m)	sektie-verruiming (m ²)	totaal (t)	aanleg (t)	onderhoud (t)	onderhoud per jaar (gemiddelde) (t) per jaar
1960	< 100 m	— 9,30	0,7 à 1,5	< 500	480.000	480.000 (100%)		
1962 à 1970	10.500 à 13.600	— 9,30 à — 10,14	0,84	532	13.500.000	10.500.000 (78%)	3.000.000 (22%)	335.000
1971 à 1975	13.600 à 18.900	— 10,14 à 11,47	1,33	1.150	35.500.000	30.000.000 (85%)	5.500.000 (15%)	1.100.000
totalen:					49.480.000	40.980.000 (83%)	8.500.000 (17%)	

TABEL 10

Onderhoud van vaargeulen in de Scheldemonding.

vaargeul	onderhouden diepte m. onder L.L.W.S.	lengte van de vaargeul (m)	gemiddelde tonnages van jaarlijks gebaggerde materialen voor onderhoud t./j.	gemiddelde tonnage per strekkende meter geul en per jaar (t)/j./m.	max. tonnage, id. als kolom 5 (t)/j./m.
1	2	3	4	5	6
Zand: }	— 7	—	0	0	0
	tot	3.200	641.000	200	
	— 8,00				400
	tot	3.400	4.000.000	1.176	2.000
Ribzand: }	— 8,80	—	0	0	0
	tot	3.000	870.000	290	
	— 9,50				580
Scheur: }	— 9,30	—	0	0	0
	tot	13.600	335.000	24	
	— 10,15				48
	tot	18.900	1.100.000	58	68
	— 11,50				

geul en per jaar in 1975 op de diepte — 11,50 m. (L.L.W.S.).

De ebstroom, komende uit de Scheldemonding naar het Westen toe gericht, volgt nauwkeurig de gemiddelde hartlijn van deze Pas tot aan de bocht ten Noorden van de Wandelaar.

De vloedstroom integendeel, heeft een richting die een hoek van 11° tot 17° vormt met de gemiddelde hartlijn van de vaarpas.

De vloedstroom is noord-oost gericht.

Het bodemtransport, verwekt door de vloed kan dus enigermate zand in de gebaggerde vaargeul voeren.

De vloedstroom per strekkende meter, normaal op zijn richting, voert bodemmateriaal aan, naar ongeveer 5 strekkende meter vaarpaslengte. Een vloedtransport van 300 t per strekkende meter sectie normaal op zijn richting komt overeen met een aanvoer van 60 ton per strekkende meter in de vaargeul. Dit cijfer komt benaderend overeen met het laatste cijfer van 68 ton per strekkende meter en per jaar, voorkomend in de tabel. Het bodemtransport verwerkt door de vloedstroom zet zand in de vaargeul af en de ebstroom, integendeel, oefent een schurende werking uit die de Pas volkomen onderhoudt.

De materiaalneerslag tijdens de kenteringen is er niet van blijvende aard en wordt vooral door de daaropvolgende ebstroom en ook deels door de vloedstroom opnieuw in suspensie gebracht. Dat blijkt eveneens uit de hoge densiteiten die in het baggerschip « Vlaanderen XVIII » bereikt worden. De hoge densiteiten in het schip duiden op een spoedige uitvlokking van de materialen tijdens het laden als het pompwater overboord vloeit en dus op een zeer hoog zandgehalte in de specie. Het zand is er ook enigermate grover dan meer zuidwaarts in het Schelde-estuarium.

Zoals hierboven reeds gemeld bereiken de gemiddelde volumetrische gewichten in het schip per jaar $1,496 \text{ t/m}^3$ met een maximum van 1,528 in mei en een minimum van 1,459 in februari.

Deze seizoenverschillen zijn ongetwijfeld te wijten aan de zwaardere deining tijdens de wintermaanden, aan het schommelen van het schip en derhalve aan een ietwat geringere vulling en een kortere tijdspanne van het overboord vloeien van het pompwater.

Die verschillen van densiteit zijn hier van ondergeschikt belang.

Aangezien het de bedoeling is de vaarpas van het Scheur tot — 12 m (L.L.W.S.) te verdiepen, is de tot dusver bereikte uitslag zeer bemoedigend en, zoals blijkt uit de tabel 9 is het nuttige rendement van de verdiepingswerken zeer hoog en bereikt 85%.

De vlugste aanzanding en dus het zwaarste onderhoud ligt hier in de bocht ten noorden van de Wandelaar, waar betrekkelijk vlug een kleine bodemverhoging van ongeveer 1 voet aan te stippen valt. Dit is het resultaat enerzijds van het materiaaltransport door de eb in westelijke richting; anderzijds van enig transport door de vloedstroom vanuit Z.W. (Wandelaar) naar N.O. richting toe en van de golfactie die bij zware zeegang en storm bodemmateriaal van uit zee naar de monding toevoert.

De dorpel van de estuariumarm (la barre) schijnt dus ten N.O. van de Wandelaar te liggen.

De baggerwerken in het Scheur sinds 1962 uitgevoerd, hebben de natuurlijke uitwerking der stromingen in hoge mate bespoedigd; werking die tot dusver door de aanwezigheid van natuurlijke hardere leemlagen in zeer traag tempo verliep.

Sinds 1960 is een kleiner tonnage gebaggerd in het Scheur dan in de passen van het Zand en het Ribzand, doch met veel hoger rendement.

HOOFDSTUK VI

Besluiten

Uit de studie van de materialenneerslag en van de baggerwerken in de haven te Zeebrugge en in het Schelde-estuarium kunnen volgende besluiten getrokken worden:

1. De omvang van de materiaalafzettingen in de huidige haven te Zeebrugge bevestigt de voorzieningen van vroegere metingen betreffende het gehalte aan zwevende stoffen in het zeewater. Als jaarlijks gemiddelde van de turbiditeit van het zeewater over de volle diepte kan een rond cijfer van 700 gr vaste stoffen per m^3 zeewater aangenomen worden.

Dit cijfer is te beschouwen als een gemiddelde voor het ganse jaar, de volledige diepte (bodemtransport uitgezonderd) en alle getijencyclusen, gemiddelde bij alle mogelijke stroomsnelheden en alle golfpatronen op zee tijdens het jaar.

De huidige haveningang en de huidige beschutting van de haven door de bestaande havendammen

dienen ongewijzigd behouden wil men deze gunstige toestand niet verstoren.

2. De baggerwerken in de Pas van het Zand vertonen een zeer gering nuttig rendement, omdat deze vaargeul volledig de hoofdsnelheidsrichtingen van vloed- en ebstroom kruist en gelegen is ten zuiden van de Wielingenpas, doorheen gebieden met een hogergelegen zeebodem, waar zowel het bodemtransport als het zwevend transport het belangrijkste zijn en waar ook de turbiditeit van het water het grootst is.

Verdiepingsbaggerwerken beneden het peil — 9,5 m (L.L.W.S.) kunnen aldaar niet met enig behoorlijk rendement uitgevoerd worden, als men deze vaargeul vooraf niet volledig tegen het bodemtransport beschermt en in de geul zelf geen voldoende turbiditeit en agitatie of stroomsnelheid kan behouden.

Hetzelfde geldt voor het Ribzand op de plaats van de kruising met de Wielingenpas. Er bestaat daarboven geen enkele mogelijkheid om aldaar kunstmatige werken boven de zeebodem uit te voeren. De Scheepvaart naar de Schelde kan dat niet dulden. Het probleem blijft integraal gesteld voor de studiediensten van het Departement, wil men later die passen van Zand en Ribzand toch verdiepen.

3. Voor wat de vaargeul van het Scheur betreft kunnen de verdiepingsbaggerwerken zonder enige twijfel tot op het peil — 12 m (L.L.W.S.) verder worden doorgevoerd.
4. In het belang van het onderhouden van de Scheurpas moet de Appelpas voor de Kust van Knokke-Heist worden opgevuld en moeten de stranden aldaar eens en voor goed worden verhoogd en vastgelegd, vóórdat een verdere uitbouw in zee aan de haven te Zeebrugge aanvangt.
5. Als algemeen besluit voor het Schelde-estuarium mag gesteld worden, dat het resulterend bodemtransport ten Zuiden van de Wielingen tzt. het bodemtransport van de vloed naar oost min het bodemtransport van de eb naar west in oostelijke richting schijnt te gebeuren.

In en ten noorden van de Wielingen, dus ook in de Pas van het Scheur, lijkt dit resulterend bodemtransport eerder naar het westen toe te gebeuren.

In elk geval is het zwevend transport veel belangrijker dan het bodemtransport. De resultante van dit zwevend transport en ook van het globale transport gaat ongetwijfeld in westelijke richting.

Dit bevestigt de vroegere besluiten van mijn studie inzake de algemene evolutie van de Scheldemonding.

Voor het onderhouden van de vaargeulen, is het zwevend transport alleen van belang op plaatsen, waar de materialen tijdens de kenteringen en bij kalme zee kunnen bezinken, zonder achteraf na het intreden van de tijstromen en door de turbulentie van de golfbeweging, opnieuw te worden opgenomen.

De vergelijking tussen het verschijnsel in de vaargeul van het Scheur en de vlugge blijvende opslibbing en aanzanding in de dwarsgeul van het Zand is uitermate sprekend.

Moge deze ervaring in de toekomst levendig blijven en niet vergeten worden.

Brussel, 6 oktober 1975.

LITERATUUROPGAVE

1. Le mécanisme des Alluvions
par Constant van Mierlo
Ingénieur honoraire des Ponts et Chaussées
ancien Ingénieur de la Marine de l'Etat Belge
Ingénieur principal de la Cie Int. des Wagons Lits et des Grands Express Européens
Annales de l'A.I.G. 1926 — Tome XVI — 3^e Fascicule.
2. Entretien des profondeurs des ports en plage de sable
A.I.P.C.N. XVI congrès — Bruxelles 1935
2^e section navigation maritime — 1^e question — par
E. VERSCHOORE
Ingénieur en chef Directeur du Service de la Côte Ostende.
3. De aanslibbing der rede te Zeebrugge
door ir J. Van Caenegem, Oud Minister en
Prof. A. Hacquaert, R.U. Gent
« Wetenschap in Vlaanderen »
Jg 1 n^o 1 aug.-sept. 1935
Jg 1 n^o 4 dec. 1935
Jg 1 n^o 5 januari 1936.
4. Coagulation rivièrslib bij ontmoeting met zeewater.
De Ingenieur: n^o 16 van 17.4.1953.
5. Die beeinflussung der bodenphysikalischen Eigenschaften bindiger Böden durch die Kornfraktion $< 2 \mu$ und Wasseraufnahme
Dr Ing. Neumann
Laboratorium für Bodenmechanik — Universität Halle
Der Bauingenieur: Heft 1 Januar 1957.
6. Photoelectric Siltmeters
Description of New Methods — obtaining Data by W.H. Jackson
Dock and Harbour Authority
January 1962.
7. Deltawerken — 's Gravenhage
n^o 33 — augustus 1965
De slibbeweging in het Deltagebied en na de uitvoering van de Deltawerken.
8. Mud Transport in the Dutch delta area and along the

RESUME

DEPOTS DE MATERIAUX ET DRAGAGES D'ENTRETIEN DANS LE PORT DE ZEEBRUGGE ET DANS L'EMBOUCHURE DE L'ESCAUT

L'étude précitée traite successivement:

- 1. de la teneur en matières solides ou de la turbidité de l'eau de mer;*
- 2. de la composition des envasements du port de Zeebrugge;*
- 3. des dragages d'entretien du port de Zeebrugge, d'où l'auteur détermine la turbidité moyenne annuelle de l'eau de mer;*
- 4. des dragages d'approfondissement et d'entretien de la passe du Zand et du Ribzand. L'entretien y est excessivement onéreux;*
- 5. des dragages d'approfondissement et d'entretien de la passe du Scheur. L'entretien y est peu important et réduit;*
- 6. des conclusions à tirer en ce qui concerne le transport de matériaux et les envasements dans l'estuaire de l'Escaut.*