

ESCUELA DE GRADUADOS EN INGENIERIA PORTUARIA

CATEDRA

DISEÑO DE VIAS NAVEGABLES

PROFESOR

ING. RAUL S. ESCALANTE

TEMA 13

INCIDENCIA DEL ASENTAMIENTO (SQUAT) EN LA DETERMINACIÓN DE
LA PROFUNDIDAD DEL CANAL

Octubre 2006

Versión 1.0

TEMA 13 – SQUAT

Consideraciones generales

Cuando un buque está navegando, el agua pasa alrededor del casco creando una depresión a la que el buque acompaña. (siempre tiene el mismo plano de flotación). Este fenómeno se denomina “squat” (asentamiento) y se define como el efecto combinado del hundimiento (heave), trimado/asiento (pitch) y “heel” (roll) causado por el movimiento de avance del buque.

El tema ha sido tratado teórica y experimentalmente desde hace mucho tiempo pero sin embargo todavía hay discusiones acerca de la mejor manera de predecirlo para tener su efecto en cuenta en la determinación de la profundidad de un canal de navegación

Movimientos verticales del buque – Fig C1

El movimiento de avance de un buque en agua en reposo genera una velocidad relativa entre el buque y el agua. A causa del movimiento de retorno del agua, esta velocidad relativa es diferente a la velocidad del buque y no es uniforme a lo largo de toda la eslora. Este campo de velocidades causa presiones hidrodinámicas sobre el casco que resultan en:

- una depresión del nivel de agua, que varía a lo largo del buque
- una fuerza vertical, dirigida hacia abajo y
- un momento alrededor del eje horizontal transversal que causa un desplazamiento del buque en el plano longitudinal de simetría, que se denomina “squat”

El “squat” comprende:

- un movimiento vertical llamado hundimiento (s)
- una rotación llamada asiento (trim) (θ)

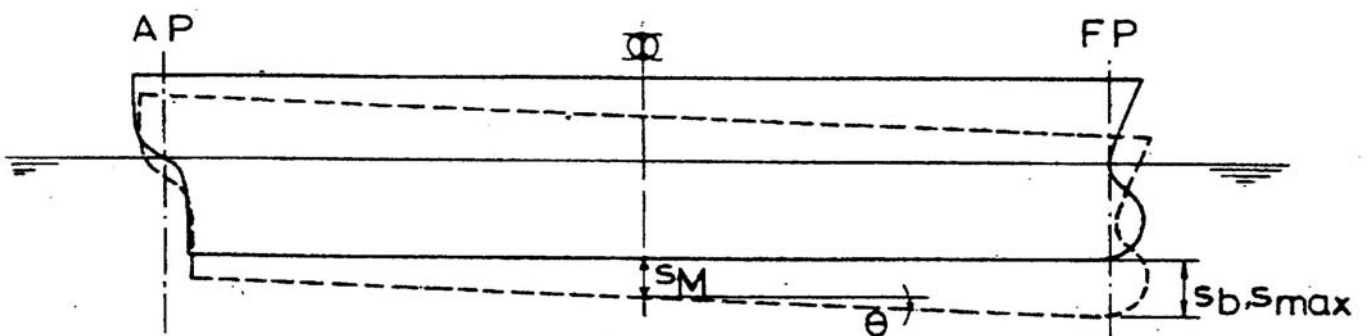


Figure C1 - Vertical ship motions: definitions

$$S_b = SM + \frac{1}{2} L_{pp} \theta$$

El "squat" es una combinación de "s" y "θ". Si medimos a partir del nivel de agua en reposo (no perturbado), el movimiento vertical de un punto del casco depende de su posición longitudinal. Habitualmente uno está interesado solamente en el punto de "squat" máximo (s_{max}) que en muchos casos se presenta en la proa (S_b). Muchos autores han desarrollado fórmulas para el cálculo de S_b

Dimensiones del buque Fig C2

Además de las dimensiones usuales del buque

- L_{pp} eslora entre perpendiculares
- B manga
- T calado
- Δ volumen de desplazamiento
- CB coeficiente de block

las siguientes características se utilizan en algunas fórmulas:

- la sección transversal (A_s) en el medio del buque
- el coeficiente de planta (waterplane) (C_{wp})

$$C_{wp} = \frac{A_{wp}}{L_{wp} B}$$

donde A_{wp} = sección longitudinal del buque

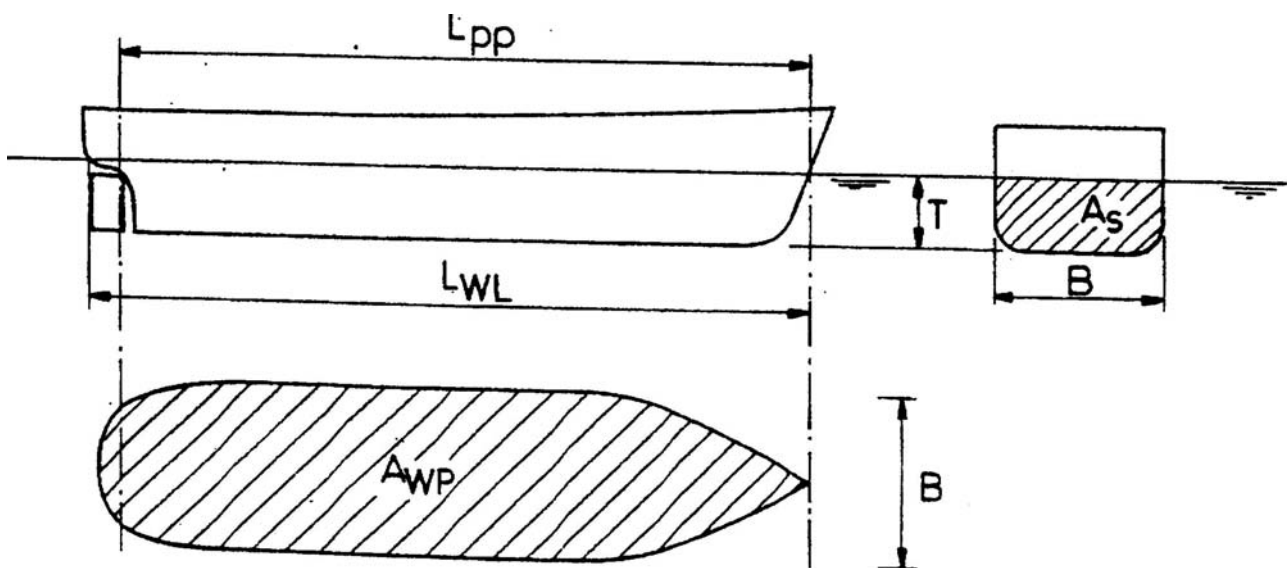


Figure C2 - Ship dimensions: definitions.

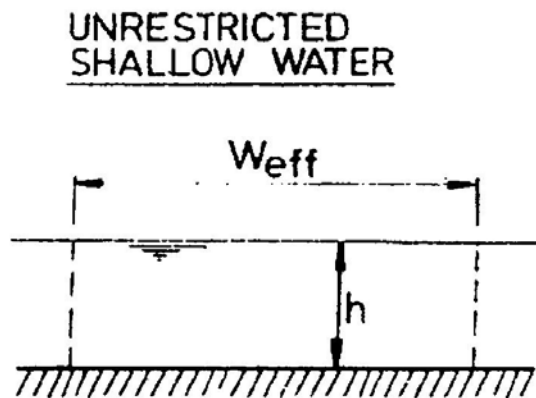
Configuración de la vía navegable Fig C3

La velocidad relativa entre el buque y el agua está influenciada por las dimensiones de la vía navegable. Las fórmulas para "squat" han sido desarrolladas habitualmente para aguas poco profundas no restringidas (lateralmente) o para canales. Por lo tanto es necesario extender la validez de esas fórmulas cuando se considera el caso de aguas restringidas. Algunas de las fórmulas existentes para calcular "squat" en aguas profundas permiten su utilización en canales (channels or/and canals) introduciendo un coeficiente, K_s , denominado "coeficiente de restricción de ancho"

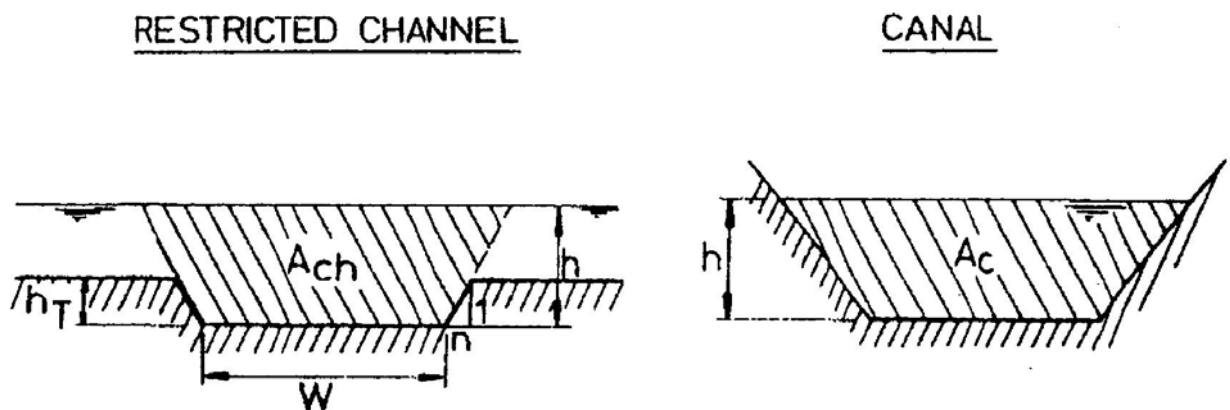
$$s(w) = K_s s(w=\infty)$$

Se definen 3 situaciones:

- aguas poco profundas no restringidas



- aguas poco profundas restringidas (restricted channels)

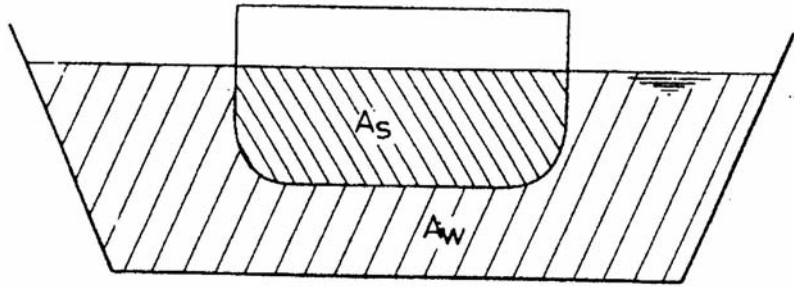


- canales artificiales (canal)

La dimensión vertical principal es la profundidad (h)

La profundidad de agua debe definirse en condiciones no perturbadas (en reposo) dada la depresión en el nivel de agua que produce la velocidad de avance del buque

En un canal artificial, la velocidad de retorno está determinada por la sección transversal del buque (A_s) y por la sección transversal del canal (A_c) (Fig 4)



En aguas poco profundas restringidas se define una sección transversal equivalente (A_{ch}) extendiendo los taludes del canal hasta la superficie del agua. Si el talud de los bancos es 1:n y el ancho de la solera es W, luego

$$A_{ch} = W h + n h^2$$

Insertar fig 4.1

donde h_T = altura de la parte dragada

Relaciones de la vía navegable

La sección transversal neta de la vía navegable (A_w) es

$$A_w = A_c - A_s \text{ (canales artificiales)}$$

$$A_w = A_{ch} - A_s \text{ (aguas poco profundas restringidas)}$$

El factor de bloqueo (S) se define como la fracción de la sección transversal de la vía navegable ocupada por la sección transversal del buque

$$S = \frac{A_s}{A_c} \quad \text{ò} \quad S = \frac{A_s}{A_{ch}}$$

La relación entre A_s y A_w se denomina S_2

$$S_2 = \frac{A_s}{A_w} = \frac{A_s}{A_c - A_s} = \frac{S}{1 - S}$$

Si se desprecia el “squat” y la depresión del nivel de agua (lo que es una simplificación muy grosera, llevando a una subestimación del “squat”) un buque que se mueve en un canal con velocidad V presenta una velocidad relativa del agua igual a $(1 + S_2) V$. Por esta razón S_2 se denomina “factor de velocidad de retorno”

Justificación

$$V \cdot A_s = V_R \cdot A_w$$

$$V_R = \frac{A_s}{A_w} \cdot V = \frac{A_s}{A_c - A_s} \cdot V$$

$$V_R = \frac{S}{1 - S} \cdot V = S_2 \cdot V$$

Si S es pequeño, V_2 es grande

Velocidad relativa del buque

$$V + V_R = V + S_2 \cdot V = (1 + S_2) \cdot V$$

Squat en aguas de poca profundidad

Un buque navegando a una cierta velocidad desplaza una masa de agua. El agua, por lo tanto, se pone en movimiento alrededor de la proa y vuelve al reposo nuevamente por detrás de la popa. El agua en movimiento gana energía cinética de la energía potencial que tenía antes de ser puesta en movimiento. El resultado es una depresión local de la superficie del agua alrededor del buque. En este nivel deprimido el buque flota y navega como si el “squat” no existiera. “Squat”, por lo tanto, no debe considerarse como un aumento de calado del buque sino como un desplazamiento vertical hacia abajo del buque con respecto al nivel superficial general del agua, y como consecuencia, disminuyendo la revancha bajo quilla.

El “squat” depende principalmente de los siguientes factores:

- velocidad del buque (relativa al agua)
- la geometría del canal (profundidad, ancho, área, etc.) y las relaciones h/T y relación “ancho de la vía navegable”/B
- la geometría del buque (eslora, manga, calado, forma, etc) expresada principalmente por el coeficiente de block, CB
- la ubicación del buque en el canal (proximidad al banco)

Al ser un fenómeno muy complejo y por tener una incidencia muy importante en la magnitud de las obras, muchos autores han realizado investigaciones teóricas o empíricas sobre el problema del “squat”. A pesar de ello todavía **no** hay un método de cálculo aceptado por todos.

El objeto de las investigaciones es determinar:

- el hundimiento medio (SM)
- el ángulo de asentamiento (trim angle) (θ)

que combinados me dan el “squat” total por la proa (S_b) para valores de

$$F_{nh} < 1$$

mediante la fórmula:

$$S_b = SM + \frac{1}{2} L_{pp} \theta$$

Las fórmulas para el cálculo del “squat” se expresan en función de:

Δ : desplazamiento del buque (m³) = $C_B \cdot L_{pp} \cdot B \cdot T$

L_{pp} : eslora entre perpendiculares (m)

F_{nh} : número de Froude (-)

Una ecuación muy utilizada es la Huuska (1976)

$$S_b = 2,4 \frac{\Delta}{L_{pp}^2} \cdot \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}} K_s$$

$$K_s = \text{factor de bloqueo} = \begin{cases} 7,45 S_1 + 0,76 & \text{para } S_1 > 0,03 \\ 1 & \text{para } S_1 < 0,03 \end{cases}$$

$$S_1 = \frac{(A_s/A_{ch})}{K_1}$$

$K_1 = \text{factor de correcci3n} = f(A_s/A_{ch}; h_T/h)$

$A_s = 0,98 \text{ BT}$

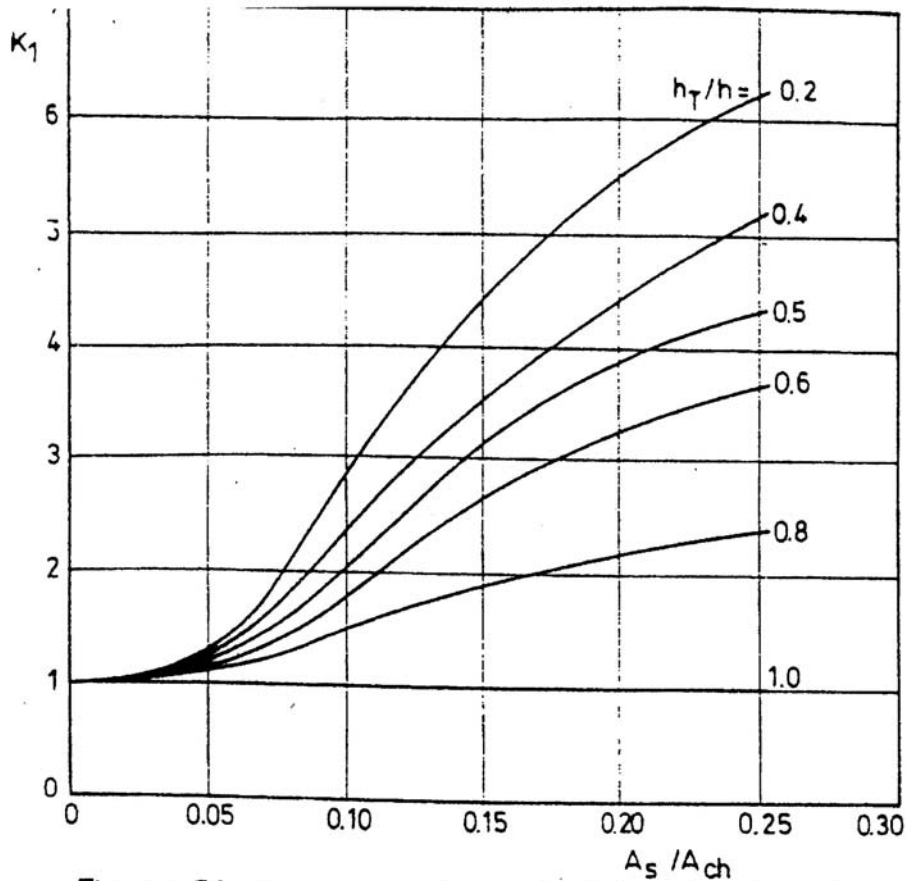


Figure C6 -Correction factor K_1 (Huuska, 1976)

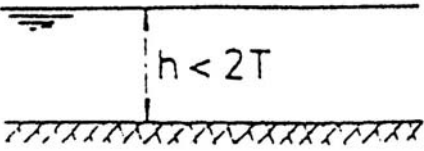
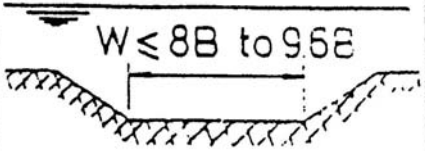

Como veremos en seguida hay muchas otras fórmulas que se pueden utilizar para el cálculo del squat

Uso de las diferentes fórmulas Tabla C3

Antes de utilizar alguna de las fórmulas propuestas debe recordarse que:

- todas las fórmulas generalizan el problema
- la mayoría de las fórmulas fueron desarrolladas para condiciones particulares y por lo tanto tienen límites de aplicabilidad

La Tabla C3 es una buena ayuda en el momento de elegir una fórmula

UNRESTRICTED SHALLOW WATER		RESTRICTED CHANNEL		CANAL	
					
CB ≥ 0.8	CB < 0.8	CB ≥ 0.8	CB < 0.8	CB ≥ 0.8	CB < 0.8
Barrass I+II $1.1 \leq h/T \leq 1.5$	Barrass I+II $1.1 \leq h/T \leq 1.5$	Barrass I+II $1.1 \leq h/T \leq 1.5$	Barrass I+II $1.1 \leq h/T \leq 1.5$	Barrass I+II $1.1 \leq h/T \leq 1.5$	Barrass I+II $1.1 \leq h/T \leq 1.5$
Eryuzlu/Hausser $1.08 \leq h/T \leq 2.75$					
Eryuzlu et al $1.1 \leq h/T \leq 2.5$		Eryuzlu et al $1.1 \leq h/T \leq 2.5$			
Huuska $1.1 \leq h/T \leq 2.0$	Huuska $1.1 \leq h/T \leq 2.0$	Huuska/Guliev $1.1 \leq h/T \leq 2.0$	Huuska/Guliev $1.1 \leq h/T \leq 2.0$	Huuska/Guliev $1.1 \leq h/T \leq 2.0$	Huuska/Guliev $1.1 \leq h/T \leq 2.0$
ICORELS	ICORELS				
Millward 1990 $6 \leq L/h \leq 12$	Millward 1990 $6 \leq L/h \leq 12$				
Millward 1992 $6 \leq L/h \leq 12$	Millward 1992 $6 \leq L/h \leq 12$				
Nat.Ports Council $10 \leq h \leq 40$ m					
Römisch $1.19 \leq h/T \leq 2.29$	Römisch $1.19 \leq h/T \leq 2.29$	Römisch $1.19 \leq h/T \leq 2.29$	Römisch $1.19 \leq h/T \leq 2.29$	Römisch $1.19 \leq h/T \leq 2.29$	Römisch $1.19 \leq h/T \leq 2.29$

Se debe recordar que:

- Todas las fórmulas son válidas para canales rectos con fondo plano y velocidades subcríticas ($F_{nh} < 1$)
- El tipo de vía navegable y coeficiente de block (CB) deciden la fórmula adecuada
- Deben respetarse los límites de h/T y L/h respectivamente
- El "squat" resultante será máximo en la proa para buques con CB alto y para buques normales navegando cargados en aguas poco profundas no restringidas. Para buques de alta velocidad y $CB < 0,7$ navegando en

aguas restringidas (channels) muy angostos o canales artificiales, el máximo “squat” puede producirse en la popa.

- El asiento inicial (trim) tiene influencia en la ubicación del “squat” máximo

Comparación de resultados Tabla C4 – Figuras C8, C9, C10

Se eligieron 3 buques cuyas características se dan en la Tabla C4, para comparar los resultados de aplicar las fórmulas apropiadas de la Tabla C3.

Las Figuras C8, C9 y C10 muestran el “squat” por la proa resultante para aguas poco profundas no restringidas con una relación $h/T = 1,20$

En la Fig C8 para un buque tanque de 250.000 DWT navegando a una velocidad de 12 nudos la fórmula de Eryuzlu da $S_B = 0,76$ m y la fórmula de Millward da $S_B = 1,50$ m.

CETN-I-63

Hay muchas fórmulas para estimar el “squat”. El cálculo del squat en aguas poco profundas y en aguas restringidas es mas complicada que su calculo en aguas profundas. La Figura 4 (CETN-I-63) presenta curvas que representan el valor del squat para un buque granelero, calculadas de acuerdo a 10 autores diferentes para $h/T=1,2$, o sea, aguas de poca profundidad.

Ecuaciones semejantes existen para “trenched waterways” y “canals”. En esas condiciones el “squat” es mayor que en aguas de igual profundidad pero no restringidas.

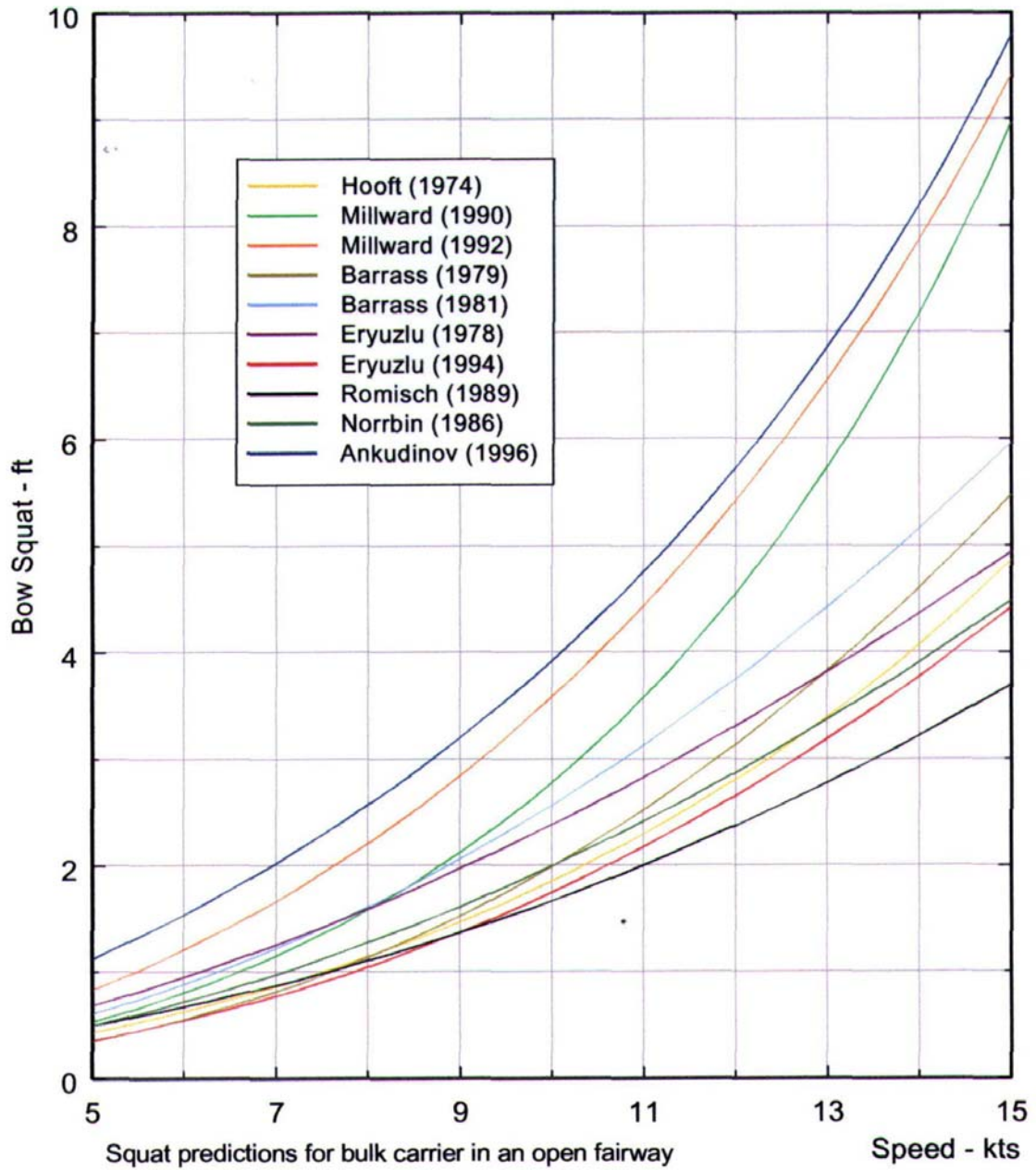
En general, el “squat” en aguas poco profundas es usualmente mayor que en aguas profundas.

Observando la Fig. 4 se ve que para una velocidad de 10 nudos, el valor del “squat” varía entre 1,7 ft y 3,7 ft, o sea, una diferencia de 2 ft.

Para una velocidad de 15 nudos varía entre 3,7 ft y 9,8 ft, o sea, una diferencia de 6,1 ft. Esta diferencia de resultados podría limitar la velocidad del buque en 4/5 nudos si consideramos los valores extremos. El problema de los valores excesivamente conservadores es que si los elijo para el proyecto del canal me pueden resultar volúmenes de dragado innecesarios, y si los elijo para la operación del canal me puede determinar una reducción de la capacidad de transporte del mismo.

Bulk Carrier

$L_{pp} = 824$ ft, $B = 105.8$ ft, $T = 42$ ft, $h = 50.4$ ft, $C_B = 0.905$



Efectos especiales sobre el “squat”

Las fórmulas predicen el “squat” en aguas abiertas o restringidas para una condición uniforme sin tener en cuenta la forma de la vía navegable ni la influencia de otros buques

En muchos casos las condiciones de proyecto son:

Canal recto

Unico buque

No se producen cambios repentinos en la configuración del canal

En otros casos las condiciones de proyecto son mas complicadas y deben tenerse en cuenta

Encuentro y sobrepaso de buques

El “squat” está causado por la velocidad del agua alrededor del casco. Si otro buque está cerca, este flujo se ve influenciado y también, por lo tanto, el “squat”. El efecto sobre el “squat” depende de varios factores:

- dirección y velocidad del otro buque
- tamaño del otro buque
- configuración de la vía navegable

No existe en la actualidad un método para calcular este efecto. Esta situación afecta el “squat” y también produce fuerzas laterales y momentos transversales (yawing) La solución para mantener la maniobrabilidad del buque es disminuir la velocidad y/o aumentar la separación lateral de los buques.

Un ejemplo interesante de cruce de buques se presenta en el estudio realizado en el Canal de Panamá (Ref. 13)

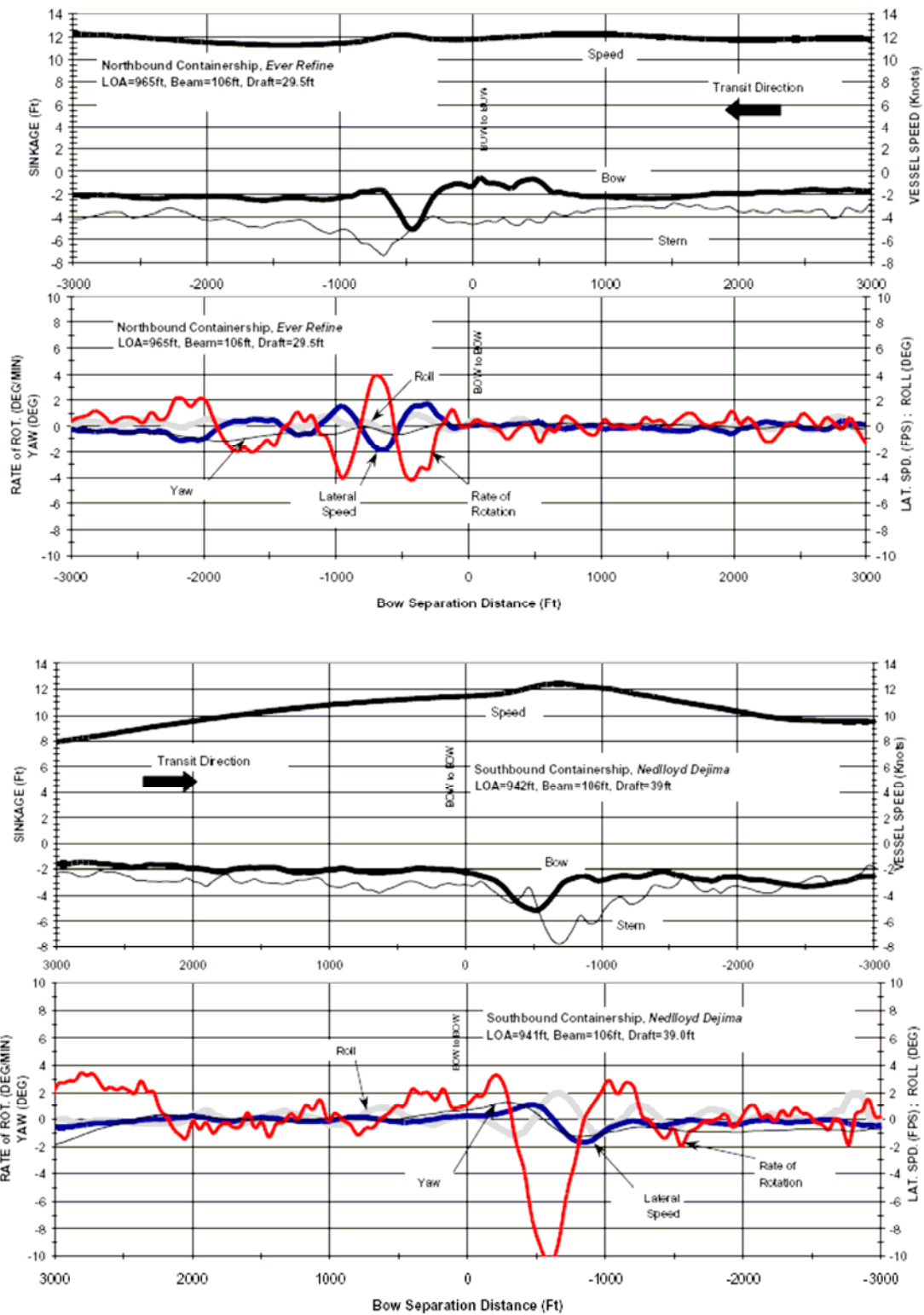


Figure 6 – Meeting/Passing, Panama Canal (Gamboa Reach) 12/16/1997

Proximidad de los bancos

Las fórmulas para canales (channels) de anchos restringidos y canales artificiales tienen en cuenta los efectos de los bancos en una forma indirecta, ya que se asume que el buque navega en el centro de la vía navegable. En muchos casos este supuesto es válido. Sin embargo, el “squat” aumenta si el buque navega más cerca del banco porque las presiones hidrodinámicas sobre el buque son afectadas por la presencia del banco.

Se produce un “squat” adicional por la presencia del banco si:

- la distancia entre el casco del buque y el pie del talud disminuye
- se reduce la relación h/T
- aumenta F_{nh}
- la cantidad de agua sobre el banco disminuye (esto es más importante que la pendiente del banco)

En la Fig. C14 se presenta, para una situación típica, una estimación del “squat” adicional para buques con $0,70 < CB < 0,85$ y un asiento (static trim) $< 0,01 L$

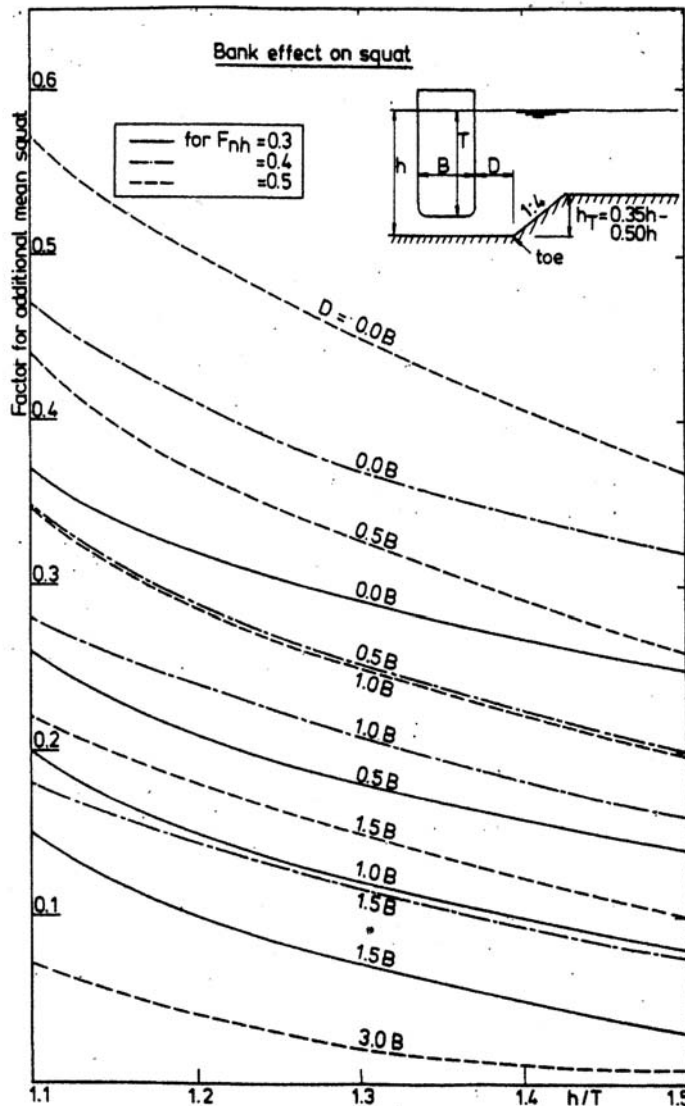


Figure C14 - Bank effect on squat
(National Ports Council, 1980)

El uso de la Fig. C14 requiere el conocimiento del squat que se produce en condiciones normales, que es el valor medio del hundimiento de la proa. El "squat" adicional producido por el banco se toma como un porcentaje del "squat" medio y se agrega al hundimiento por la proa. Este valor adicional es despreciable si la distancia al banco es $>2B$ o $>3B$ dependiendo del F_{nh} (valores elevados de F_{nh} requieren mayor separación)

El efecto del banco sobre η (dinamic trim) es insignificante.

Una forma de disminuir el hundimiento adicional es disminuyendo la velocidad del buque.

Configuración del fondo de las vías navegables

Las fórmulas discutidas son válidas para condiciones uniformes caracterizadas por velocidad del buque constante y profundidad del agua constante. En canales naturales o parcialmente dragados pueden producirse variaciones importantes de la profundidad, produciendo fenómenos no uniformes transitorios de "squat"

Cuando la profundidad disminuye gradualmente la resistencia al avance del buque aumenta. Esto reduce la velocidad del buque y como resultado el "squat" se reduce también.

Por otra parte la situación deviene crítica cuando el buque pasa de aguas profundas a aguas poco profundas con un cambio abrupto de la profundidad. En este caso el buque puede ingresar en la zona de aguas poco profundas a full speed (deep water) lo que resulta en un "squat" muy significativo. Además, la transición entre dos estados uniformes puede estar caracterizada por oscilaciones violentas (pitching and heaving). Se recomienda que el $F_{nh} < 0,5$

El valor del "squat" no es sensible al tamaño de la zona de aguas poco profundas. Un escalon (sill) con un ancho de $0,3 L$ puede inducir un "squat" transitorio de la misma magnitud que un fondo plano de extensión infinita.

Recomendaciones

La comparación del "squat" de acuerdo a las diferentes fórmulas muestra que se producen variaciones importantes entre los resultados que dan unas u otras. La relación entre los valores más altos y los más bajos está en el orden de 2. Por el momento, las razones de esas diferencias no son claras, por lo que no es posible recomendar un método para el cálculo. Sin embargo, se pueden dar los siguientes lineamientos:

Algunas fórmulas fueron desarrolladas para situaciones particulares, una configuración de una vía navegable específica, un rango limitado de profundidad de agua y/o un tipo específico de buque

Los cálculos realizados en forma sistemática muestran que algunas fórmulas dan valores altos (Millward) y otras dan valores bajos (Eryuzlu, Romisch). La fórmula ICORELS/Huuska presenta valores intermedios. Por esta razón se recomienda esta fórmula en la etapa de proyecto conceptual. Se debe tener en cuenta las eventuales consecuencias del contacto con el fondo para utilizar una fórmula “optimista” o una “pesimista”

Si los problemas debidos al “squat” se prevén en condiciones particulares o con un tipo especial de buque, entonces, se recomienda ejecutar ensayos sobre modelo físico. Es conveniente que los ensayos sean realizados con modelos auto-propulsados

Propuestas para líneas de investigación futuras

En la Fig. C19 se presenta una comparación de resultados de la aplicación de diversas fórmulas y datos experimentales. Los resultados son sorprendentes. Por ejemplo, a una velocidad de 10 nudos, con una revancha bajo quilla del 20 %, las ecuaciones de Millward que tienden a la sobreestimación resultan en un valor de S_B de 1 m; ICORELS da 0,75 m y Eryuzlu da 0,50 m. Los valores experimentales de MARAD dan un $S_B = 1,40$ m

Se puede intentar explicar las diferencias mediante los siguientes comentarios:

1 - Los resultados experimentales y la fórmula de Millward están basados en ensayos con modelos de buques remolcados, mientras que los ensayos de Eryuzlu han sido realizados con modelos autopropulsados. Si el impacto de la auto-propulsión del modelo es tan significativo esto implicaría que la credibilidad de muchos ensayos sobre modelos de estas características deben ser revisados.

2 – Una segunda explicación está vinculada con la geometría del buque. Es posible que los efectos del “squat” y particularmente el “trim” dependan mucho de la geometría de la parte delantera del buque., o sea, del tipo de proa. Eryuzlu solamente adoptó buques con proas bulbo en consideración, mientras que MARAD utilizó buques con proas redondeadas o cilíndricas.

3 – Otros factores pueden ser de importancia: efectos de escala, diferente forma de analizar los datos de “squat”, verificación (falta de?) por medio de mediciones en prototipo en condiciones comparables.

Una explicación completa puede ser dada solamente por un análisis crítico de los resultados experimentales. También podría ser útil una aproximación teórica.

Propuestas de mediciones

Dado que los resultados que se obtienen a partir de la aplicación de diferentes fórmulas difieren significativamente es necesario validar estos métodos con mediciones en prototipo.. Si se esperan efectos especiales para un canal dado la necesidad de realizar mediciones (in situ o en modelo) son aun mayores.

Medición de los movimientos verticales del buque en prototipo

Una tendencia que se ha dado en forma reciente es realizar mediciones en buques navegando en canales de acceso y comparar los valores obtenidos con los que resultarían de la aplicación de las diversas fórmulas en uso.

Se hacen a continuación algunos comentarios al respecto y se se citan algunos de los trabajos recientes. Se sugiere la lectura de los mismos a aquellos interesados en la realización de mediciones en prototipo.

La medición de los movimientos verticales del buque es un proceso complejo mediante el cual se obtiene el desplazamiento vertical del buque producido por todos los factores que influyen el desplazamiento vertical. Por ello, a los efectos de diferenciar el desplazamiento vertical producido por los movimientos del buque generados por el oleaje del desplazamiento vertical producido por la velocidad del buque (squat) se recurre a tratamiento de la información obtenida de las mediciones directas. Al realizar las mediciones se debe tener en cuenta:

- el nivel de agua: el nivel de agua varía con el tiempo debido a la influencia de la marea. Las mediciones se efectúan usualmente en puntos sobre la costa o en la vía navegable que están alejados varios kilómetros de la zona de experimentación y se deben extrapolar con el error asociado correspondiente.

- el oleaje incidente: la determinación del oleaje incidente a lo largo de la traza del canal se efectúa mediante la medición en un punto y la extrapolación del mismo mediante modelos matemáticos de refracción. Se puede verificar el resultado mediante observaciones visuales desde el buque. Es muy difícil que las condiciones del oleaje sean uniformes para todos los experimentos

- las características del buque: debe conocerse bien las características del buque, especialmente en lo que hace a los periodos propios de oscilación. Cada buque tiene características propias particulares

- las condiciones de carga del buque: el buque puede estar total o parcialmente cargado y puede estar adrizado (even keel) o con algún asiento (trim) estático. Incluso el mismo buque en diferentes ocasiones puede presentar condiciones de carga (calado) diferentes

- las condiciones de navegación del buque: la velocidad de navegación del buque define el squat y la frecuencia de encuentro con el oleaje. Es necesario conocerla e intentar que durante los ensayos sea lo mas homogénea posible.

- la batimetría del fondo: para determinar la relación entre la profundidad del lugar y el calado del buque es necesario realizar batimetrías de detalle previo a la realización de los experimentos. La profundidad del canal en el sentido longitudinal suele presentar importantes variaciones.

Por otra parte no es fácil conseguir buques que estén dispuestos a participar de las mediciones. Asimismo los buques que se consiguen tienen todas las características distintas y adicionalmente las condiciones ambientales que se presentan el día del experimento no suelen ser las óptimas (día de calma). Por estos motivos, entre otros, las mediciones en la Naturaleza son escasas y se recurre en muchas ocasiones a mediciones en modelos físicos.

La Ref. 12 presenta los resultados de un estudio efectuado en el Puerto de Charleston (EEUU) donde se realizaron mediciones de movimientos verticales de buques con el objeto de

- a) obtener datos para validar mediciones efectuadas en modelos físicos
- b) obtener información para mejorar el simulador de maniobra marítima
- c) mejorar las recomendaciones del USACE para el diseño de canales de navegación

El informe es muy interesante pues provee información acerca de las dificultades que se presentan durante la realización de mediciones de estas características y la forma de superarlas. Las mediciones fueron efectuadas mediante la utilización de sistemas DGPS y los resultados se analizaron para determinar el squat de los buques y comparar los resultados con fórmulas de uso habitual.

Ref.15 presenta los resultados de mediciones de campo en Barbers Point Harbour (EEUU) y su comparación con mediciones en modelo físico. Las mediciones se efectuaron sobre 5 buques mediante DGPS

La Ref. 16 presenta las mediciones realizadas sobre buques y el análisis de las mismas para el canal de acceso al Puerto de Richards Bay en Sudáfrica

Los métodos recientes de medición del squat se basan en utilizar 4 transductores GPS de doble frecuencia en modo cinemático determinando los cambios en la altura elipsoidal entre los transductores ubicados sobre el buque y en la costa. Se puede obtener precisión diferencial con post-procesamiento de los datos.

Hay que hacer correcciones debido a la variación de la altura de agua y medir con precisión la batimetría.

La Ref. 14 presenta una propuesta para utilizar un barco escolta de pequeña magnitud que lleve la cuarta estación de GPS de referencia y de ese modo evitar los problemas con la determinación de los niveles de agua. El método propuesto se denomina SHIPS



Fig. 1: Schematic representation of the SHIPS - measuring method for static conditions



Fig. 2: Schematic presentation of the SHIPS - measuring method for dynamic conditions

Bibliografía

Ref. 9 - PIANC – Approach channels – A guide for design. Supplement to Bulletin Nro. 95 – June 1997 – pag 17 y Appendix C – pp73-89

Ref. 10 - PIANC – Underkeel clearance for large ships in maritime fairways with hard bottom – Supplement to Bulletin N° 51 – 1985 –

Ref. 11 - Eryuzlu, N. E. et al. “Underkeel requirements for large vessels in shallow waterways” PIANC – 24th International Navigation Congress – Seville – 1998 – Section II-2 – pp17-26

Ref.12 - ERDC/CHL CHETN-IX-14 March 2004 - Charleston Harbor Ship Motion Data Collection and Squat Analysis by *Michael J. Briggs, Stephen T. Maynard, Charles R. Nickles, and Terry N. Waller*

This Coastal and Hydraulics Engineering Technical Note (CHETN) documents the field data collection of ship motion data using Global Positioning System

(GPS) sensors in Charleston, SC, Harbor during April 1999. Comparisons of measured squat with several empirical predictions are presented and discussed.

Ref. 13 - DYNAMIC SQUAT AND UNDER-KEEL CLEARANCE OF SHIPS IN CONFINED CHANNELS Chris HEWLETT WST, Clinton, MS, USA Larry DAGGETT WST, Vicksburg, MS, USA David STOCKS FTL, Kanata, ON, Canada Vladimir ANKUDINOV VA, USA D and P ARLINGTON VA, USA André TASCHEREAU TDC, Montreal, Quebec, Canada Paper S10BP152 PIANC 2002, 30th International Navigation Congress

Ref. 14 - Harting, A. Et al. SHIPS: A new method for efficient Full Scale Ship Squat Determination, Paper S10B P151, PIANC 2002, 30th International Navigation Congress

Ref. 15 - Briggs, M., Melito, I., Demirbilek, Z., and Sargent, F. (2001). "Deep-draft entrance channels: Preliminary comparisons between field and laboratory measurements," Coastal and Hydraulics Engineering Technical Note CHETN-IX-7, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.

<http://chl.wes.army.mil/library/publications/chetn/>

Ref. 16 – Moes, Hans "Squat and Wave Response Measurements of Bulk Carriers in the Entrance Channel to the Port of Richards Bay" CSIR, PO Box 320, Stellenbosch, 7600, South Africa, e-mail: hmoes@csir.co.za, presented at 2. Squat-Workshop 2004, Elsfleth/Oldenburger (Germany)