

Chương 3: Động lực học bờ biển

1. Hiện tượng sóng vỡ và các dạng sóng vỡ
2. Chỉ số sóng vỡ và giới hạn sóng vỡ
3. Phân loại dòng chảy ở gần bờ
4. Dòng tiêu, dòng tuần hoàn
5. Dòng chảy dọc bờ
 - a. Tính vận tốc dòng chảy dọc bờ
 - b. Phân bố lưu tốc của dòng chảy dọc bờ

The Wave Route



Deep water



Wave shoaling

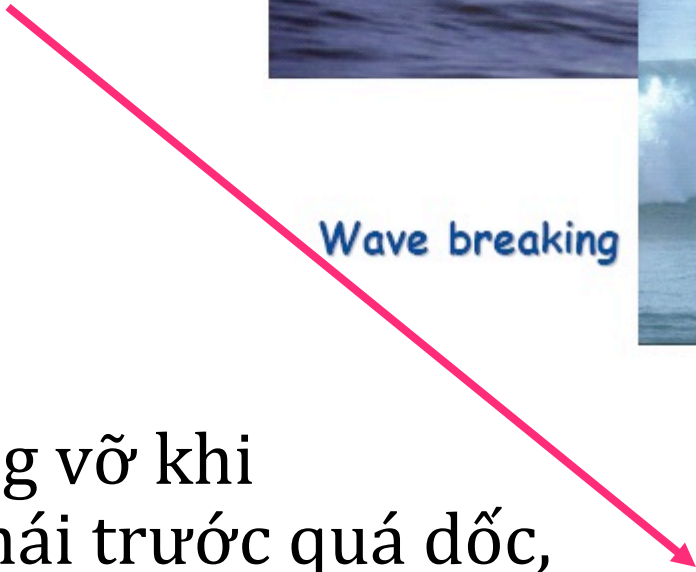


Wave breaking



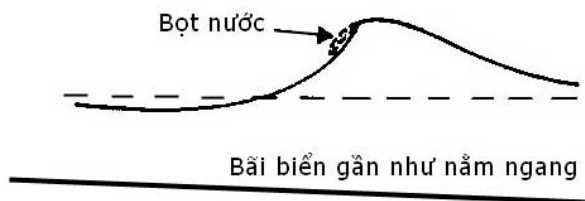
Wave run-up

Sóng vỡ khi
mái trước quá dốc,
Vận tốc chuyển động của
chân và đỉnh sóng khác nhau

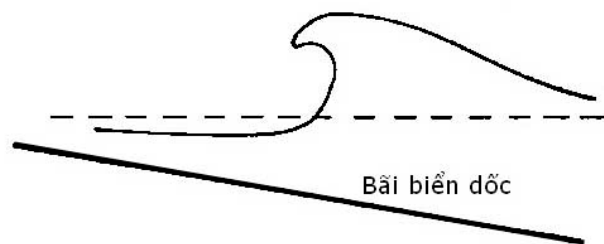


Dạng sóng vỡ

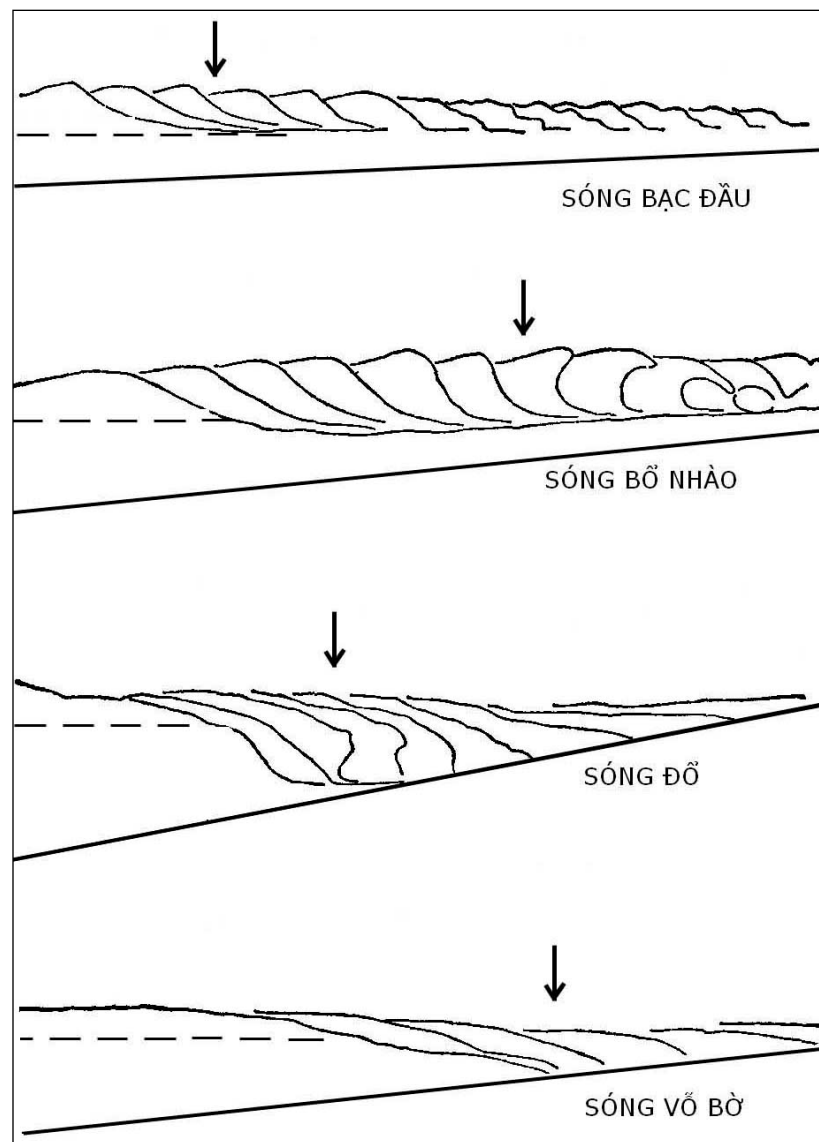
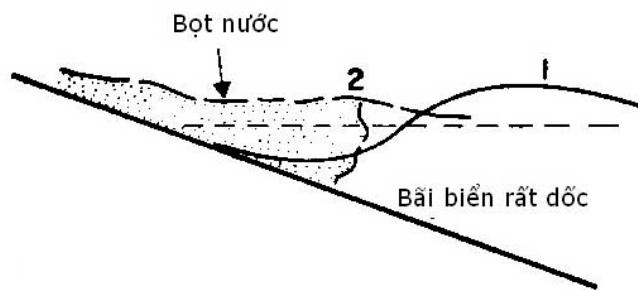
I-Sóng bạc đầu



II-Sóng bồ nhào



III-Sóng vỡ bờ





Sóng “bổ nhào” hay
“vỡ cuộn” (plunging)



Sóng “bạc đầu” hay “vỡ tràn” (spilling)



Sóng “vỗ bờ” hay “vỡ dềnh” (surging)

Dạng sóng vỡ (tiếp)

Galvin bổ sung thêm loại sóng đổ sập (*collapsing breaker*), là dạng vỡ trung gian giữa sóng đổ nhào và sóng vỡ bờ

Quan sát 1 bãi biển, tại các thời điểm khác nhau, có thể thấy nhiều dạng sóng vỡ khác nhau.

Dạng sóng vỡ chịu sự chi phối của các yếu tố nào ?

chiều cao của từng con sóng và sự tương tác giữa sóng với đáy biển nơi sóng vỡ

- sóng bạc đầu hay xảy ra ở *bờ biển thoải* với sóng có độ dốc lớn
- sóng đổ nhào: ở *bờ biển dốc* với sóng có độ dốc trung bình
- sóng vỡ bờ: ở *bờ biển rất dốc* với sóng có độ dốc nhỏ

Khó phân biệt ranh giới giữa 2 loại kể tiếp, dù có các chỉ số (xem slide tiếp)

Các chỉ tiêu sóng vỡ

Galvin (1968) dự đoán gần đúng dạng sóng vỡ dựa trên các quan sát trong phòng thí nghiệm, căn cứ vào tỉ số $H_0/L_0 \tan^2 \beta$ ở nước sâu hay $H_b/gT^2 \tan \beta$ với vùng sóng vỡ. Khi tỉ số này (còn gọi là hệ số sóng vỡ (*breaker coefficient*)) tăng, dạng sóng vỡ thay đổi từ sóng vỡ bờ đến bờ nhào rồi sóng bạc đầu.

Guza và Bowen (1975) đề xuất hệ số *surf scaling factor* là $H/2C_0 \tan^2 \beta$ và cũng có sự biến thiên theo chiều hướng tương tự.

Chỉ số sóng vỡ Iribarren

Battjes (1974) đã sắp đặt tỷ số này thành dạng biểu thức với các tham số sóng nước sâu và gần bờ, gọi là **chỉ số Iribarren** - hay là chỉ số sóng vỡ, kí hiệu ξ

$$\xi_0 = \frac{\tan \beta}{\sqrt{H_0 / L_0}}$$

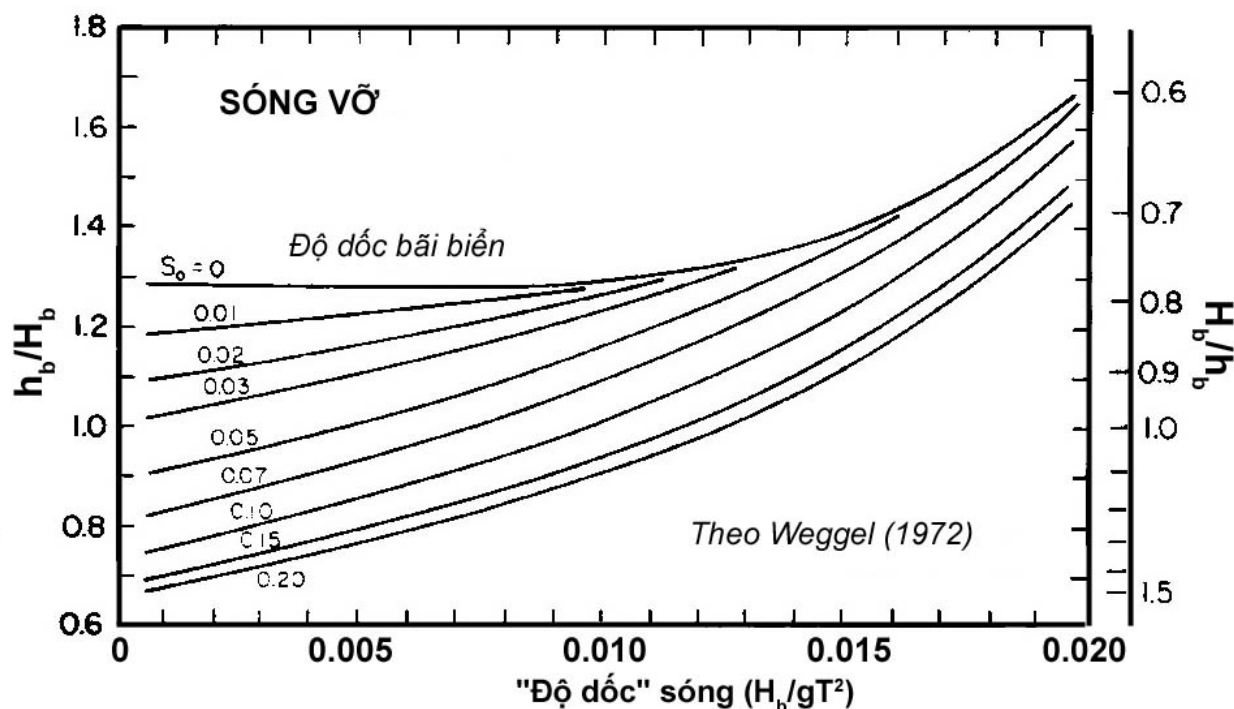
$$\xi_b = \frac{\tan \beta}{\sqrt{H_b / L_0}}$$

(độ dốc bãi trên căn bậc hai độ dốc sóng)

Spilling (sóng bạc đầu)	$\xi_0 < 0,5$	$\xi_b < 0,4$
Plunging (sóng bổ nhào)	$0,5 < \xi_0 < 3,3$	$0,4 < \xi_b < 2,0$
Surgling (sóng vỗ bờ)	$\xi_0 > 3,3$	$\xi_b > 2,0$

Giới hạn sóng vỡ

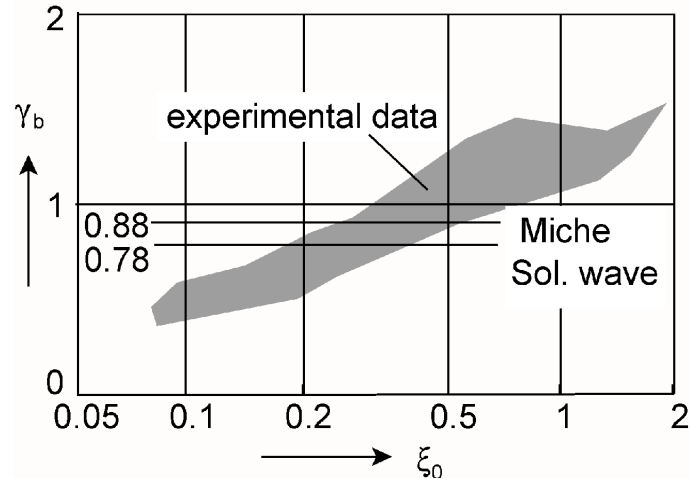
- Theo lý thuyết sóng tuyến tính của Airy, khi truyền về bờ các sóng biên độ nhỏ sẽ mất ổn định và vỡ khi tỷ số H_b/h_b giảm dần về một giá trị tới hạn γ .
- Theo lý thuyết với sóng đơn, $\gamma = 0.78$ (Galvin 1972)
- Giá trị thực đo của γ xác định trên máng sóng dao động rất lớn, phụ thuộc chủ yếu vào độ dốc bãi biển (Ippen and Kulin, 1954; Kishi and Saeki, 1966) và cả độ dốc sóng nước sâu.
- $\gamma = 0.73-1.03$,
Weggel (1972)
- $\gamma = 0.4-1.3$,
(Thornton & Guza 1982; Bowen 1968)
- $\gamma = 0.6-1.2$, tùy bãi
thoải \rightarrow dốc
(Huntley & Bowen)



Công thức tính giới hạn sóng vỡ

- Kaminsky and Kraus (1993) đưa ra công thức kinh nghiệm:

$$\gamma = 1,20 \xi_0^{0,27}$$



- Các công thức được dùng trong phần mềm Wadibe:

– Battjes và Stive (1985):

$$\gamma = 0,5 + 0,4 \tanh(33s_0)$$

– Ruessink và nnk. (2003):

$$\gamma = 0,76kh + 0,29$$

- VD: từ chuỗi số liệu kết quả Wadibe [web], hãy tính γ (Gợi ý: tính ξ_0 trước).

Tính toán chiều cao sóng vỡ theo quan điểm năng lượng: Munk (1949)

- Không xét tới toàn bộ quá trình biến dạng sóng và hiệu ứng nước nông
- Giả thiết coi năng thông sóng (*energy flux*) tại vùng sóng vỡ và tại vùng nước sâu là như nhau
- Ứng dụng lý thuyết sóng đơn tại vùng sóng vỡ với giới hạn sóng vỡ $\gamma = H_b/h_b = 0.78$

$$\frac{H_b}{H_0} = \frac{1}{3,3 (H_0 / L_0)^{1/3}}$$

Tính toán chiều cao sóng vỡ (2)

Komar & Gaughan (1972)

- Sử dụng cùng phương pháp tiếp cận
- Giới hạn sóng vỡ γ_b được xác định từ các quan trắc ngoài thực địa
- Hệ số kinh nghiệm, lấy phù hợp với SL thực đo và PTN

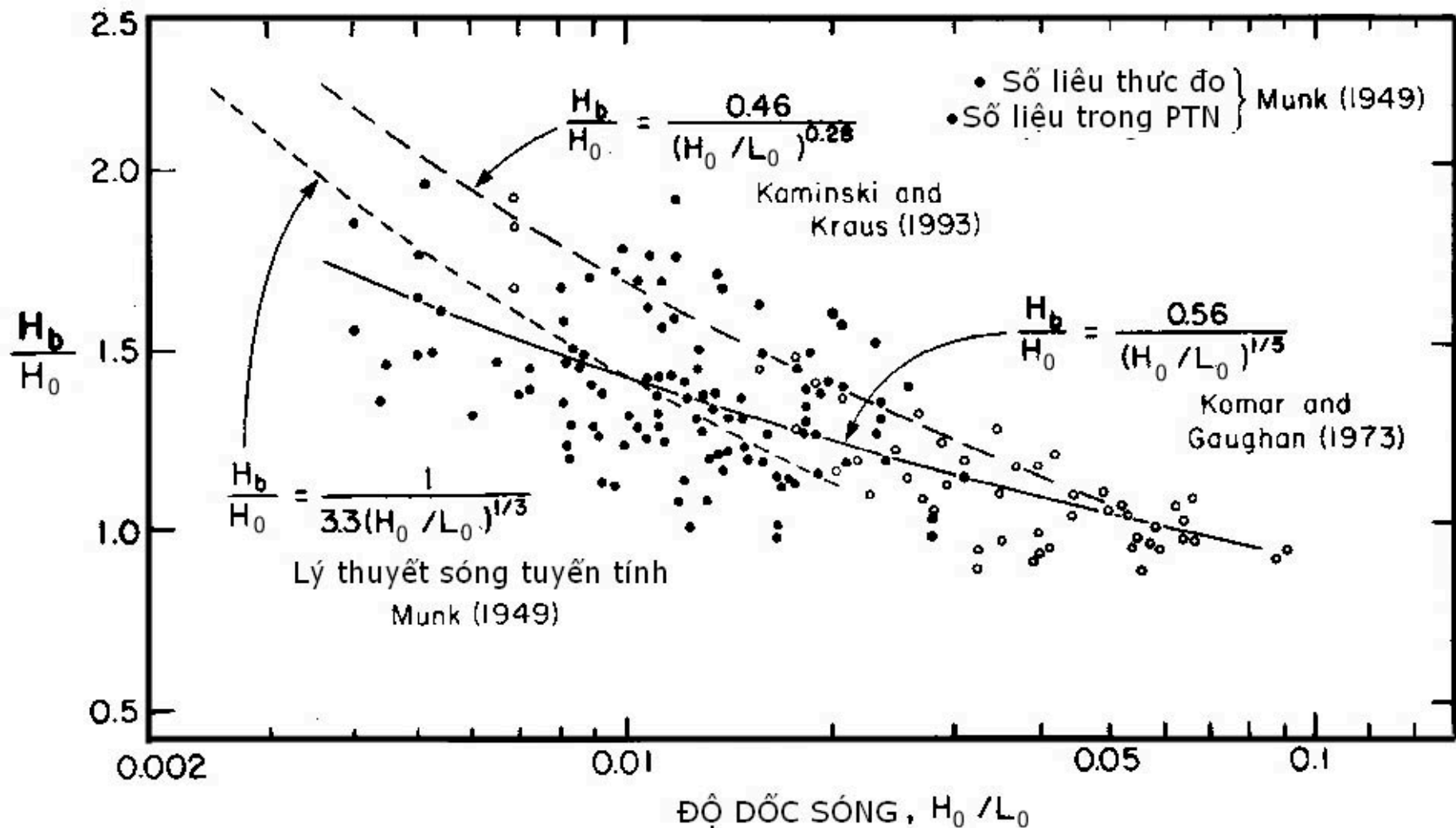
$$\frac{H_b}{H_0} = \frac{0,563}{(H_0 / L_0)^{1/5}}$$

Kaminsky & Kraus (1993)

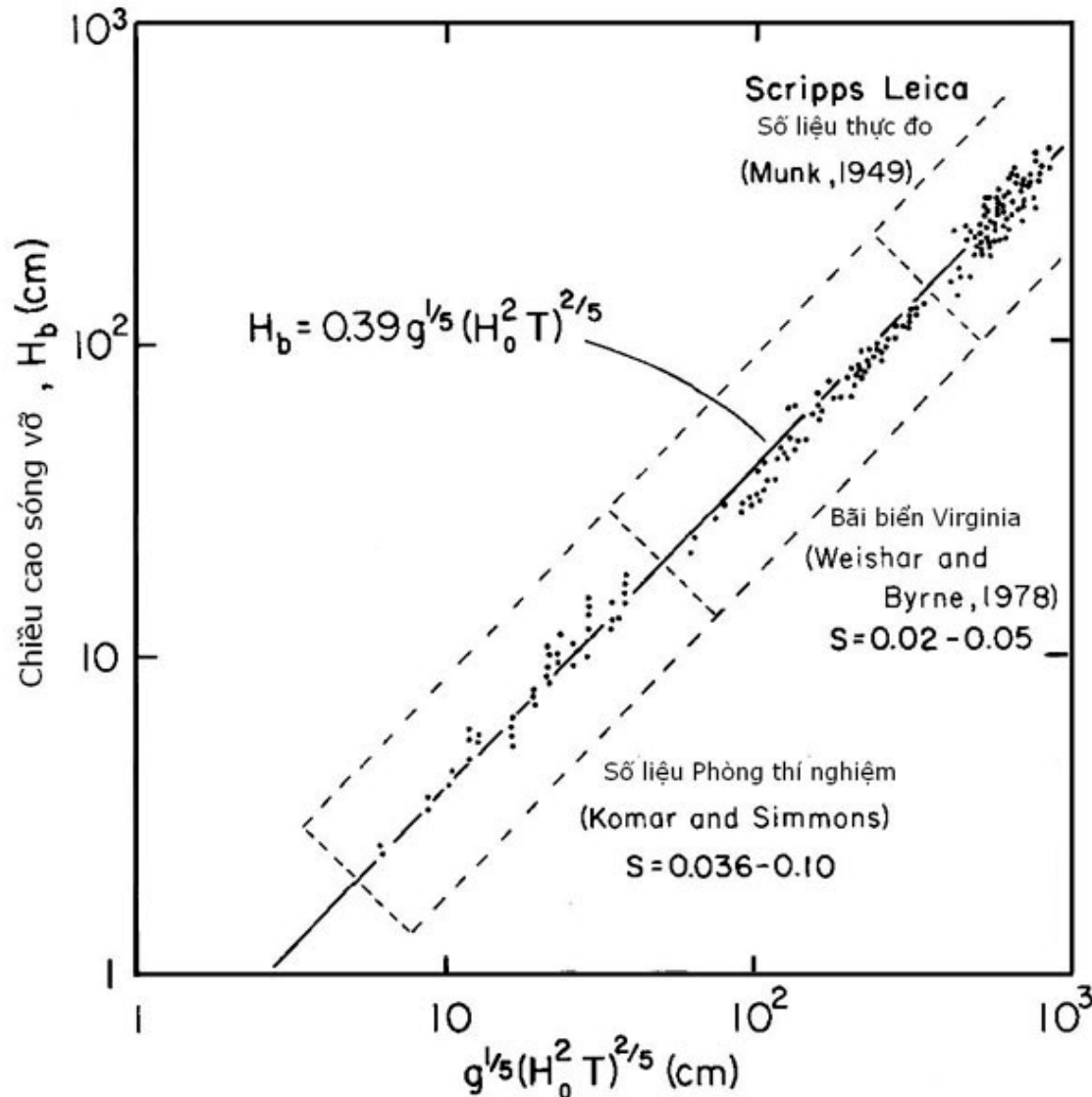
- Trị số hàm mũ lấy theo kinh nghiệm $1/4$
- Phân tích số liệu PTN
- Cho kết quả phù hợp nhất trong PTN
- Nhưng kết quả thiên lớn (25%) so với số liệu đo tại hiện trường

$$\frac{H_b}{H_0} = \frac{0,46}{(H_0 / L_0)^{0,28}}$$

Đồ thị tương quan $H_b/H_0 \sim H_0/L_0$



Xác định H_b từ H_0 và T

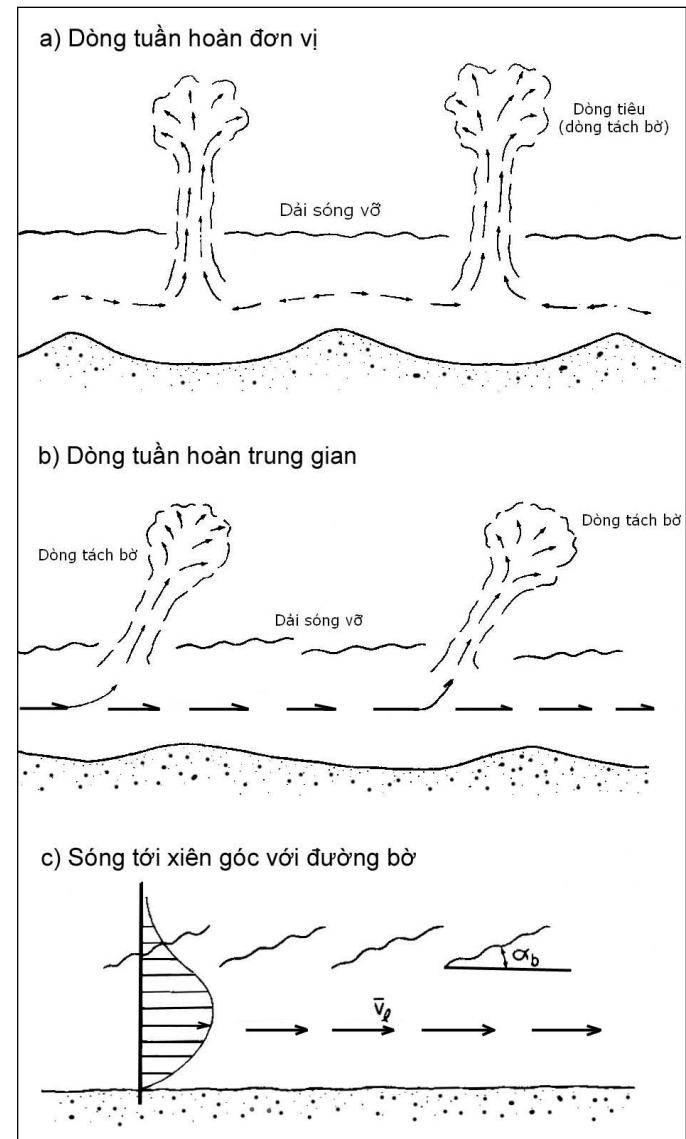


Công thức Komar và Gaughan (1972) có thể được biến đổi thành

$$H_b = 0,39 \times g^{1/5} (TH_0^2)^{2/5}$$

Phân loại dòng chảy gần bờ

- Hệ thống dòng chảy tuần hoàn bao gồm dòng tiêu (dòng tách bờ) kết hợp với dòng chảy dọc bờ
- Dòng chảy dọc bờ do sóng tác dụng xiên góc với đường bờ
- Dòng tuần hoàn trung gian (kết hợp 2 dạng trên)



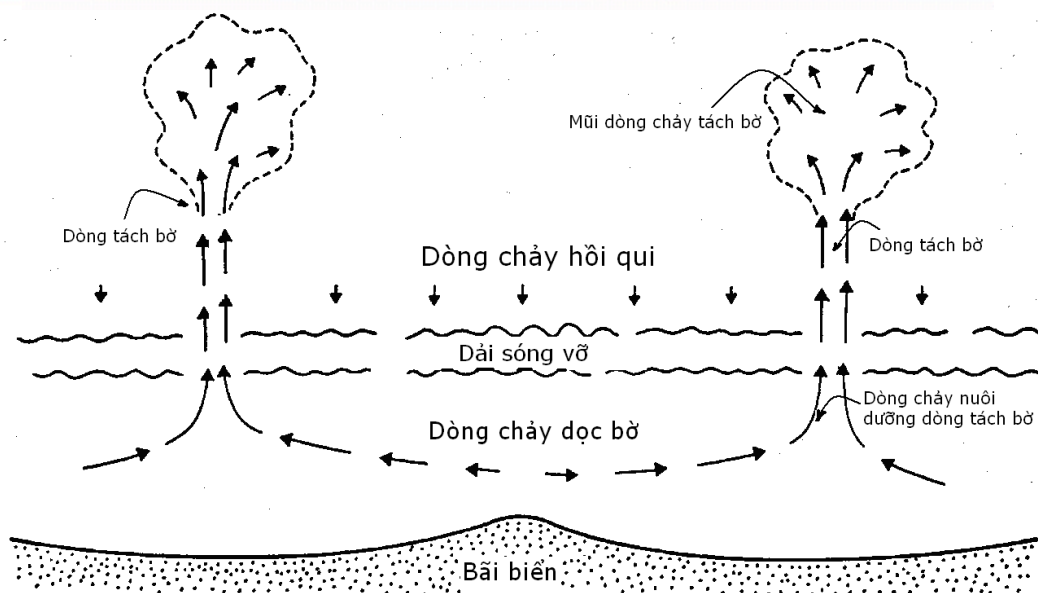
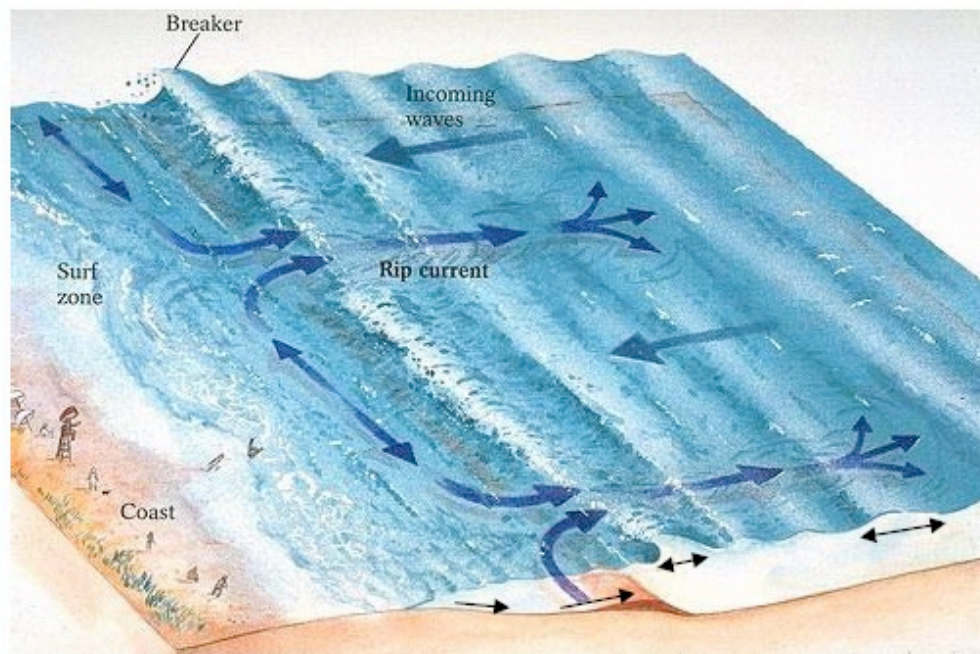
Dòng tuần hoàn

- Hoàn lưu nhân hay “hoàn lưu ô ngấn” (cell circulation)

Các ô ngấn: kích thước cỡ vài trăm mét dọc bờ.

Sóng càng lớn, ô ngấn càng lớn.

Cell Circulation



Dòng tiêu, hiện tượng

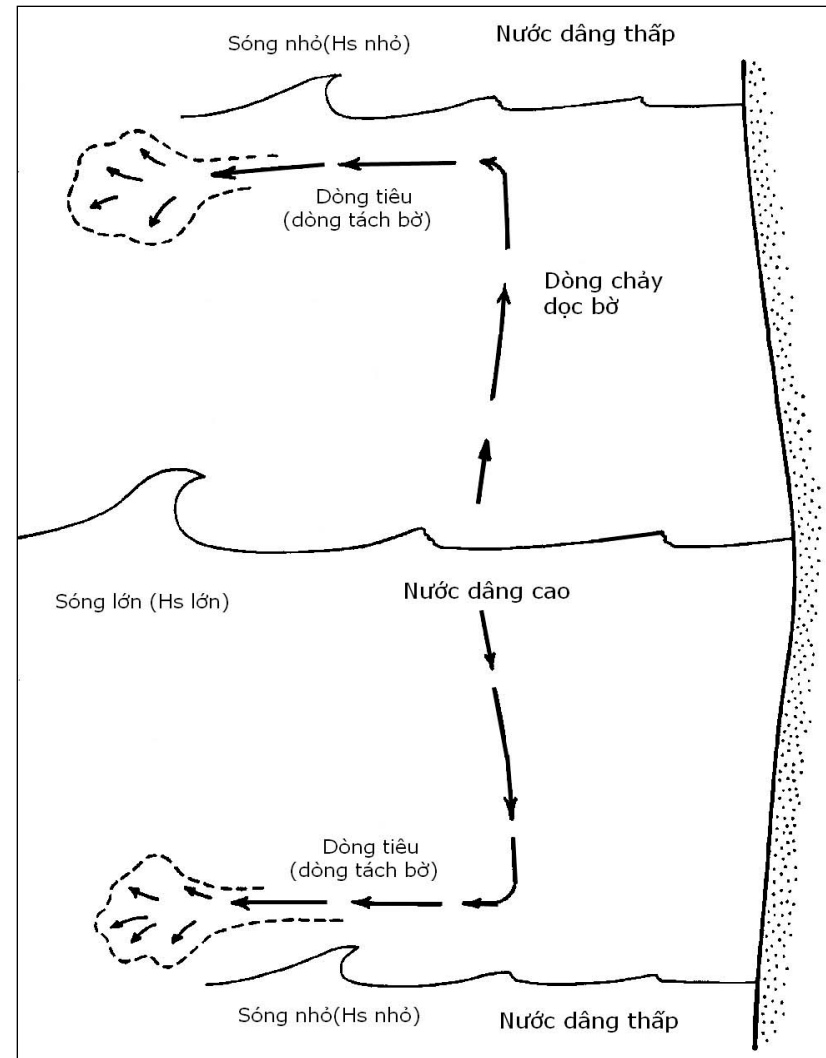
- Dòng tiêu thường mạnh và hẹp, có hướng chảy ra phía biển và đi qua vùng sóng vỡ (~ 8 km/h, rộng 10–30 m).
- Vận chuyển các vật trôi nổi và bùn cát tạo thành những luồng dòng chảy có màu sắc hoàn toàn khác biệt với vùng nước ở xung quanh nó
- Được nuôi dưỡng bởi các dòng chảy có hướng dọc bờ bên trong vùng sóng vỡ có hướng ngược nhau đi ra từ trung tâm.



Cơ chế hình thành dòng tiêu (rip current)

1. Dòng tuần hoàn nói chung hay cụ thể là dòng tiêu, được hình thành do sự biến thiên chiều cao sóng vỡ theo hướng dọc bờ. Nó sinh ra sự biến thiên tương ứng của cao trình mực nước dâng do sóng trong dải sóng vỡ.
2. Dòng chảy dọc bờ, chảy từ nơi có sóng, nước dâng cao tới nơi sóng và nước dâng thấp. Đây là điểm hội tụ của dòng chảy và có sự đổi hướng của dòng tiêu chảy ra biển
3. Chiều cao nước dâng do thành phần S_{xx} về phía bờ của ứng suất phát xạ cân bằng với gradient áp lực của độ dốc mặt nước có hướng về phía biển ở vùng ven bờ:

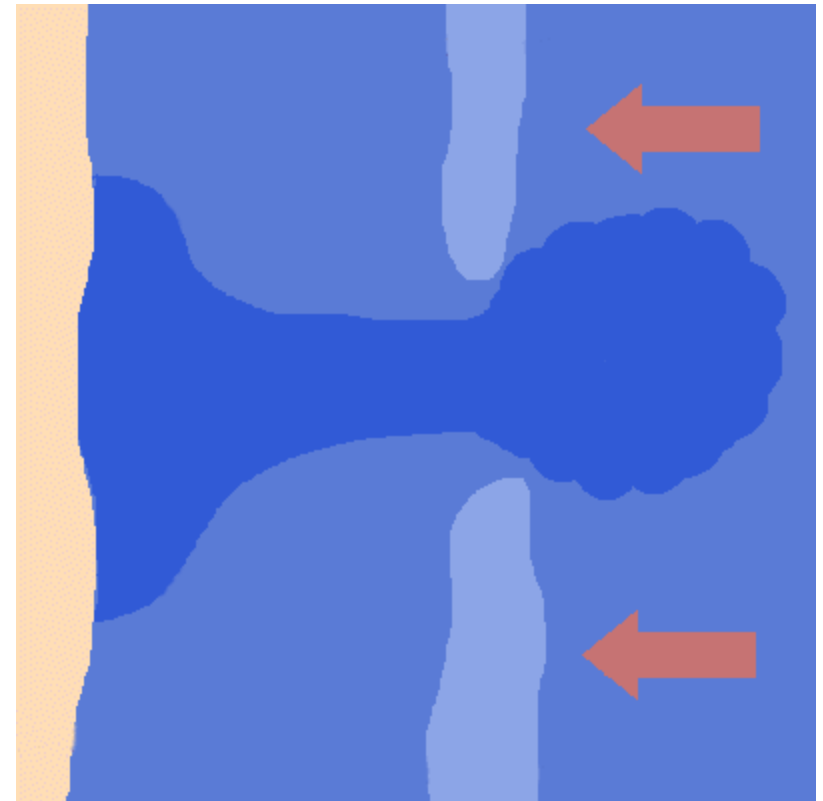
$$\frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x} = - \left(\frac{1}{1 + \frac{8}{3\gamma^2}} \right) \frac{\partial h}{\partial x}$$



Cơ chế hình thành dòng tiêu (2)

1. Sóng vỡ tại dải cát dọc bờ xuất hiện trước sóng vỡ tại phần lạch
2. Sóng vỡ làm dâng MN phía trên dải cát dọc bờ so với cao trình mặt kênh
3. Xuất hiện chênh lệch mực nước do hiện tượng dâng MN phía trên dải cát
4. Chênh lệch mực nước sinh ra dòng chảy dọc bờ (dòng nuôi, feeder)
5. Dòng dọc bờ khi hội tụ sẽ đổi hướng đi ra biển, chảy qua lạch sâu, hoặc vùng thấp nằm giữa các dải cát dọc bờ

(NOAA National Weather Service)



Dòng tiêu lân cận công trình

- Dòng tiêu có thể xuất hiện gần các công trình xây dựng trên bãi biển như đập mở hàn, đập ngăn bùn cát, cầu tàu hoặc các công trình khác.
- Cơ chế hình thành: do nước bị dồn ép và chảy ra phía biển qua một lạch sâu, hẹp
- Dòng tiêu có thể là hệ quả của hiện tượng dòng chảy dọc bờ bị chệch hướng khi gặp công trình cứng.

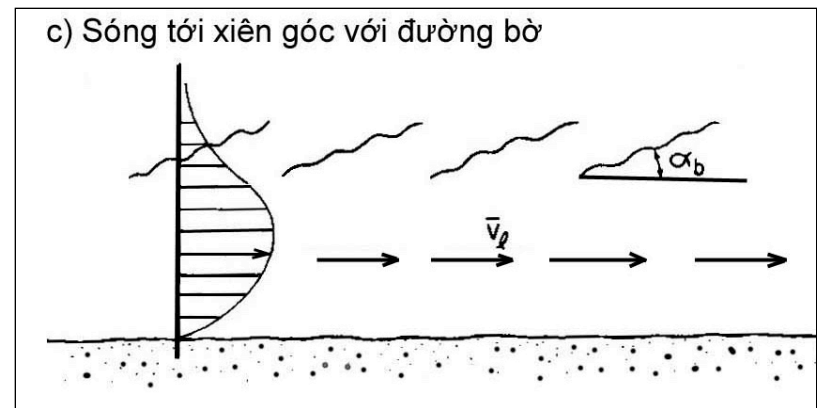
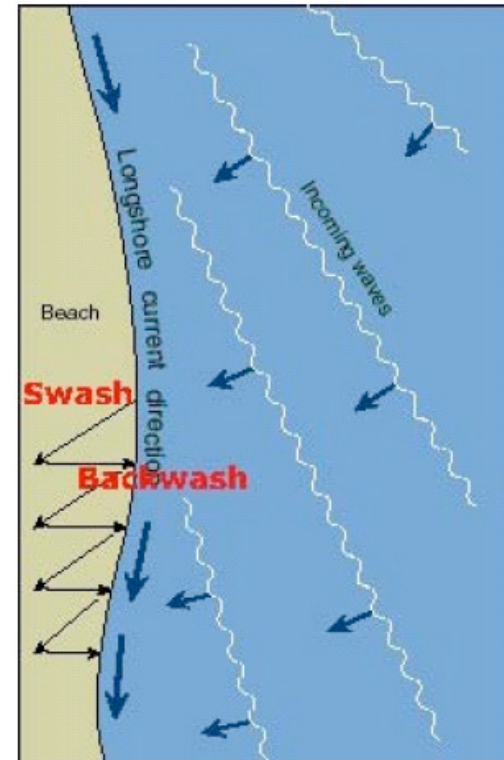


Tương tác sóng-sóng; sóng – dòng chảy

- Các dòng tiêu có thể được phát triển do tương tác giữa sóng và dòng chảy, ngay cả khi không có dải cát gần bờ hay yếu tố khác ảnh hưởng tới sự hình thành.
- Vì sóng vỡ gần bờ, các dạng tương tác sóng phức tạp có thể gây dạng dòng tuần hoàn. Ví dụ, Bowen và Inman (1969) cho rằng có các sóng lề (edge wave) là những sóng đứng theo hướng *dọc bờ* và làm biến đổi mực nước (dâng/hạ) cục bộ. => chiều cao sóng biến đổi và hình thành hoàn lưu ô ngăn ngay cả trên bãi biển thẳng. Điều này cũng giải thích tính đều đặn của kích thước các ô ngăn.

Dòng chảy dọc bờ

1. Quan trọng, chi phối diễn biến ven bờ
2. Độ lớn giảm rất nhanh bên ngoài vùng sóng vỡ
3. Nghiên cứu theo ứng suất phát xạ (radiation stress), mô tả năng thông của sóng.



Thiết lập phương trình vận tốc dòng chảy dọc bờ

Giả thiết:

Lực đẩy do sóng = lực cản ma sát do dòng dọc bờ

Lực đẩy: Gradient của ứng suất tỏa hướng dọc bờ

$$\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} = \frac{5}{4} \rho u_m^2 \tan \beta \sin \alpha \cos \alpha$$

$\tan \beta =$ độ dốc bãi biển = dh/dx (nếu cói MN nằm ngang)

Vận tốc quỹ đạo cực đại vùng *nước nông*:

$$u_m = \frac{\gamma}{2} \sqrt{gh}$$

Lực cản: ma sát trượt do dòng chảy dọc bờ sinh ra

$$\langle R_y \rangle = \frac{2}{\pi} C_f \rho u_m v_L$$

C_f : hệ số ma sát = 0.01 trong SPM, CERC, 1984

Cân bằng hai lực của 2 phương trình trên thu được v_L
(Longuet-Higgins 1970):

$$v_L = \frac{5\pi}{8} \frac{\tan \beta}{C_f} \sqrt{gh_b} \sin \alpha_b \cos \alpha_b$$

+ Komar và Inman (1970), sóng đều

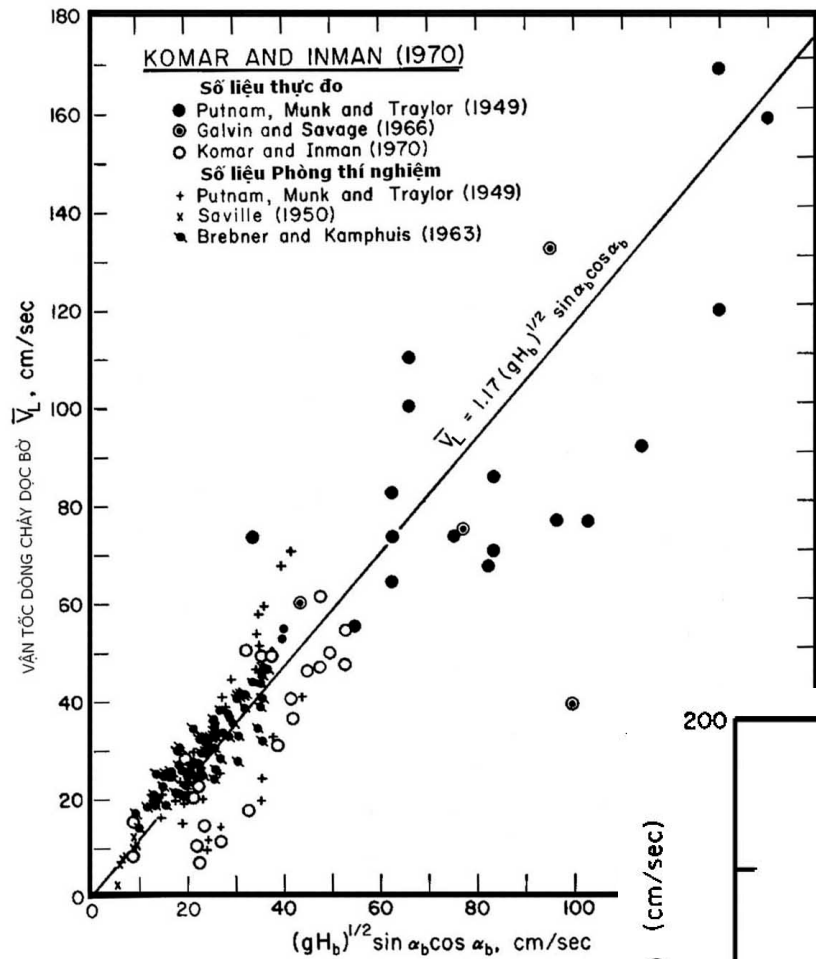
$$v_L = 1.17 \sqrt{gH_{br}} \sin \alpha_b \cos \alpha_b$$

+ Với sóng ngẫu nhiên:

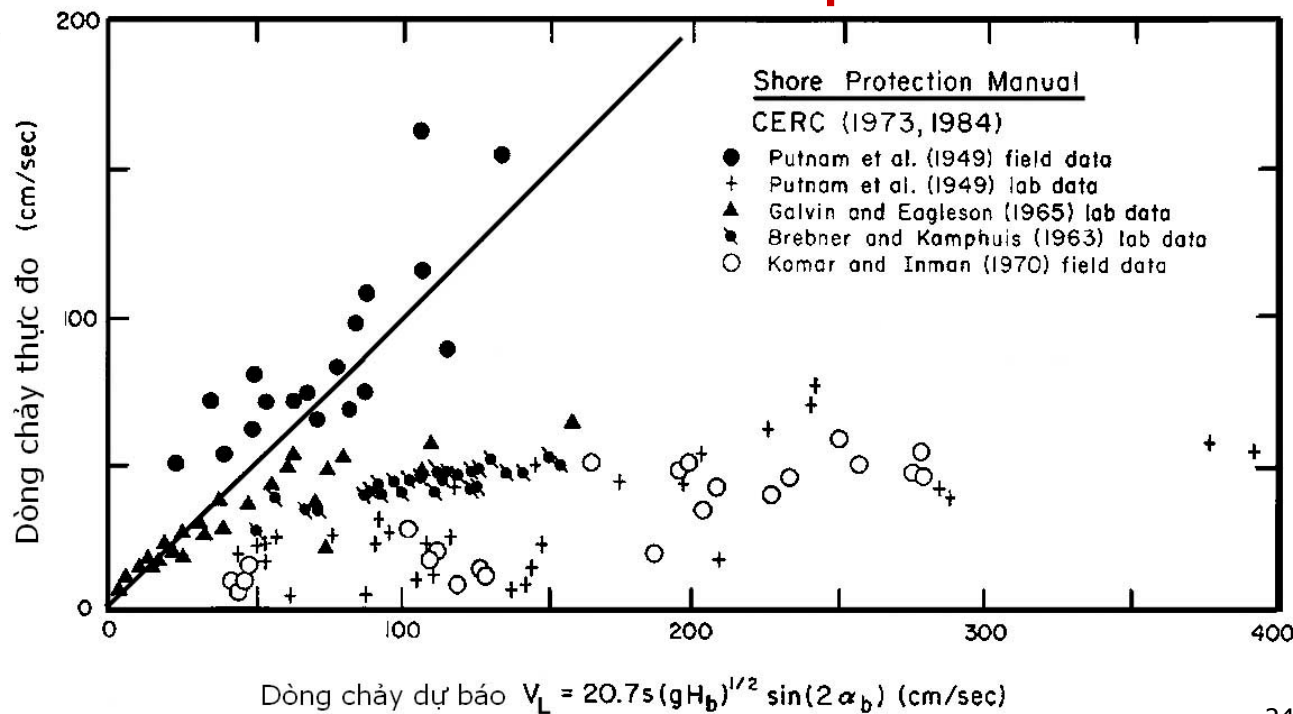
$$v_L = 1.0 \sqrt{gH_{bs}} \sin \alpha_b \cos \alpha_b$$

+ SPM (CERC, 1984) với $C_f = 0.01$

$$v_L = 20.7 \tan \beta \sqrt{gH_b} \sin(2\alpha_b)$$



Vai trò của độ dốc bãi



Phân bố lưu tốc theo phương ngang

- *Bowen (1969b), Longuet-Higgins (1970), và Thornton (1970)* phân tích dạng phân bố lưu tốc trên cơ sở cân bằng giữa lực đẩy $\partial S_{xy}/\partial x$ và lực ma sát R_x theo phương ngang
- Longuet-Higgins (1970) xét rối động = $f(\rho.x.u_m)$ theo ngang bờ (x)

$$V = \begin{cases} B_1 X^{P1} + AX & \text{khi } 0 < X < 1 \\ B_2 X^{P2} & \text{khi } 1 < X < \infty \end{cases}$$

- trong đó: $X = x/X_b$, $V = v/v_0$, các hệ số A, B_1, B_2, p_1, p_2 được tính như slide sau.
- X_b là khoảng cách từ bờ biển tới đường sóng vỡ,
 v : lưu tốc dọc bờ tại điểm cách bờ một khoảng x ,
- v_0 lưu tốc dọc bờ tại điểm sóng vỡ, được xác định bằng công thức sau:

$$v_0 = \frac{5\pi}{16} \gamma \frac{\tan \beta}{C_f} \sqrt{gh_b} \sin \alpha_b \cos \alpha_b$$

Tính toán các hệ số p_1, p_2, A, B_1, B_2

$$P = \frac{\pi N \tan \beta}{\gamma C_f}$$

$$A = \frac{1}{1 - 5P/2} \quad (DK \ P \neq 2/5)$$

$$p_1 = -\frac{3}{4} + \sqrt{\frac{9}{16} + \frac{1}{P}}$$

$$p_2 = -\frac{3}{4} - \sqrt{\frac{9}{16} + \frac{1}{P}}$$

$$B_1 = \frac{p_2 - 1}{p_1 - p_2} A$$

$$B_2 = \frac{p_1 - 1}{p_1 - p_2} A$$

- Các công thức trên áp dụng với mực nước trung bình nằm ngang.

- Nếu tính đến nước dâng do sóng (wave set-up) thì độ dốc “hiệu quả” của bãi sẽ bị giảm đi, cụ thể $\tan \beta$ cần được thay thế bằng $\tan \beta^*$, sao cho:

$$\tan \beta^* = \frac{\tan \beta}{1 + 3\gamma^2 / 8}$$

- Sử dụng $\tan \beta^*$ để tính P theo công thức trên; tất cả các đại lượng còn lại vẫn được tính như trước.

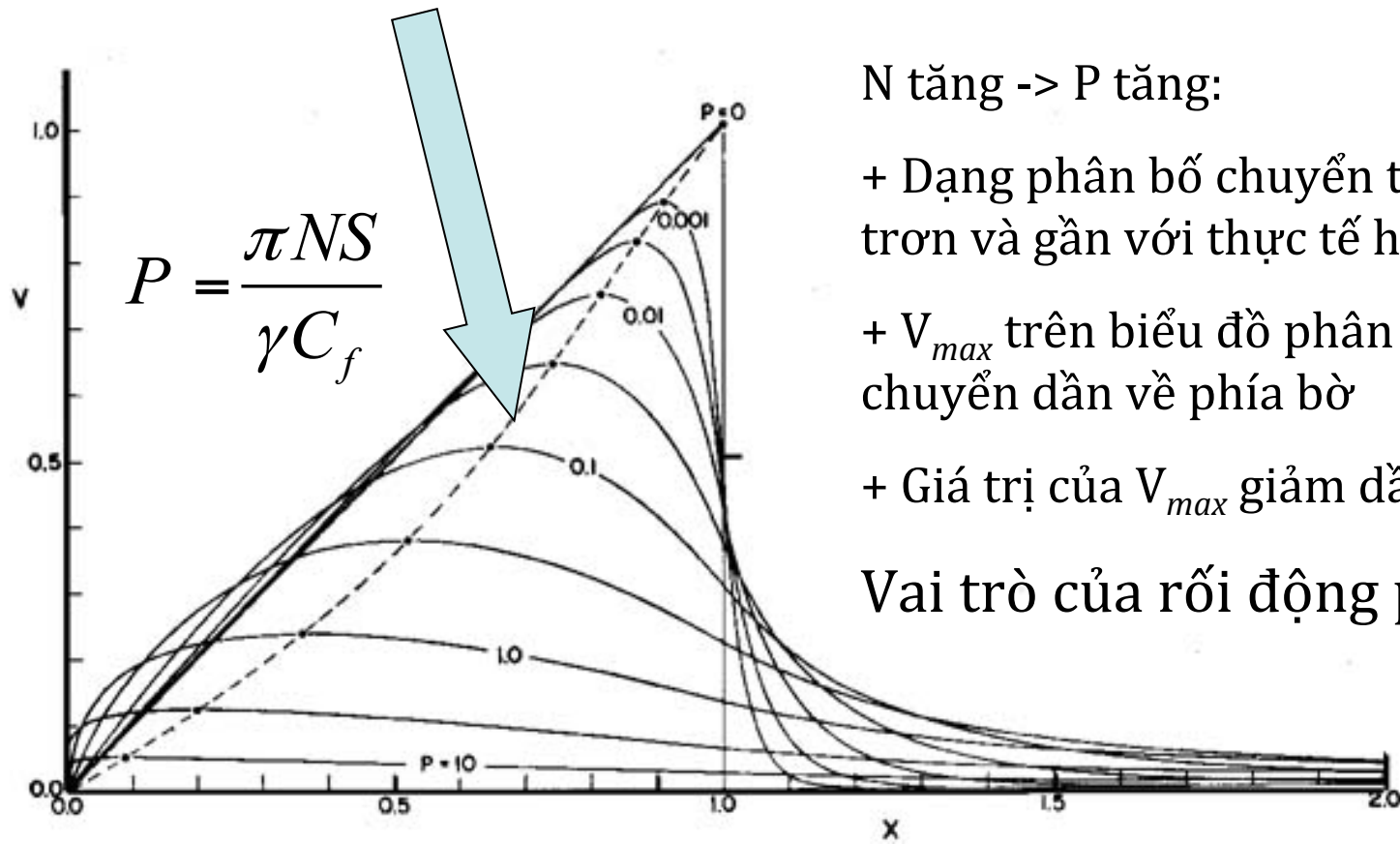
Một số nhận xét (bài tập cho SV).

- Ví dụ: Tính thử với trường hợp $\gamma = 0,7$; $\tan\beta = 0,02$; $N = 0,1$; $C_f = 0,01$.
- Nhận xét về dấu của các đại lượng A , p_1 , p_2 , B_1 , B_2 . Chúng thể hiện trên dạng biểu đồ phân bố vận tốc thế nào?
- Tính vận tốc dòng chảy tại đường sóng vỡ (tại $X=1$)? So với v_0 , tại sao nhỏ hơn?
- Xác định (bằng biến đổi toán học) giá trị của vận tốc cực đại và vị trí xuất hiện trong vùng sóng vỡ? (Gợi ý: dùng đạo hàm.)
- Vận tốc trung bình của dòng chảy dọc bờ bằng bao nhiêu? So với công thức v_L ?
- Nếu xét cả wave set-up thì $\tan\beta^*$ thay đổi bao nhiêu so với $\tan\beta$?

Phân bố lưu tốc Longuet-Higgins

Dạng phân bố lưu tốc Longuet-Higgins phụ thuộc vào P (*tham số không thứ nguyên đại diện cho tầm quan trọng của quá trình hòa trộn theo phương ngang, hệ số N và ma sát trượt C_f*)

Không xáo trộn theo phương ngang ($N = 0$) $\rightarrow P = 0$, phân bố lưu tốc có hình răng cưa và gián đoạn tại đường sóng vỡ: phi lý.



N tăng $\rightarrow P$ tăng:

+ Dạng phân bố chuyển thành đường cong trơn và gần với thực tế hơn

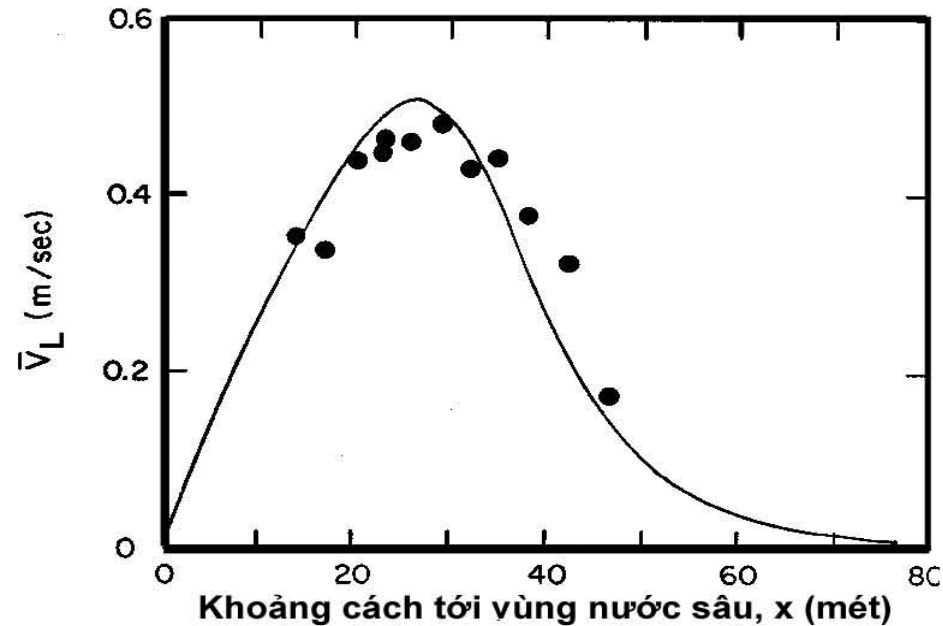
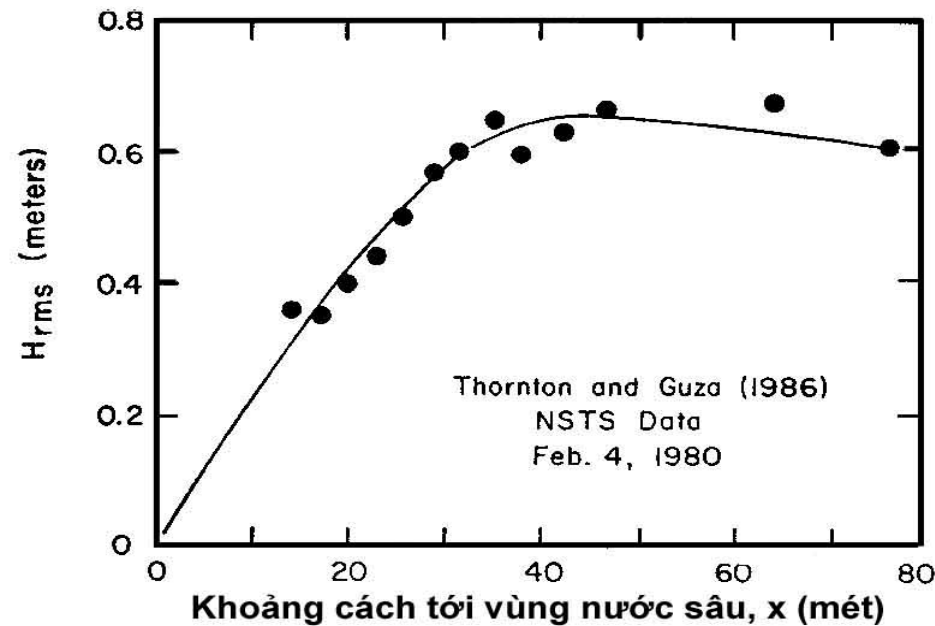
+ V_{max} trên biểu đồ phân bố lưu tốc dịch chuyển dần về phía bờ

+ Giá trị của V_{max} giảm dần

Vai trò của rối động phương ngang

Phân bố lưu tốc bờ của sóng ngẫu nhiên

- Tạo thành dải sóng vỡ, số sóng vỡ tăng dần về phía bờ
- Trên cơ sở so sánh Galvin and Eagleson (1965), Longuet-Higgins (1970b) đã đi đến kết luận rằng $P \approx 0.1-0.4$.
- Battjes (1972): giả thiết bỏ qua sự trao đổi động lượng giữa các vùng do rối động



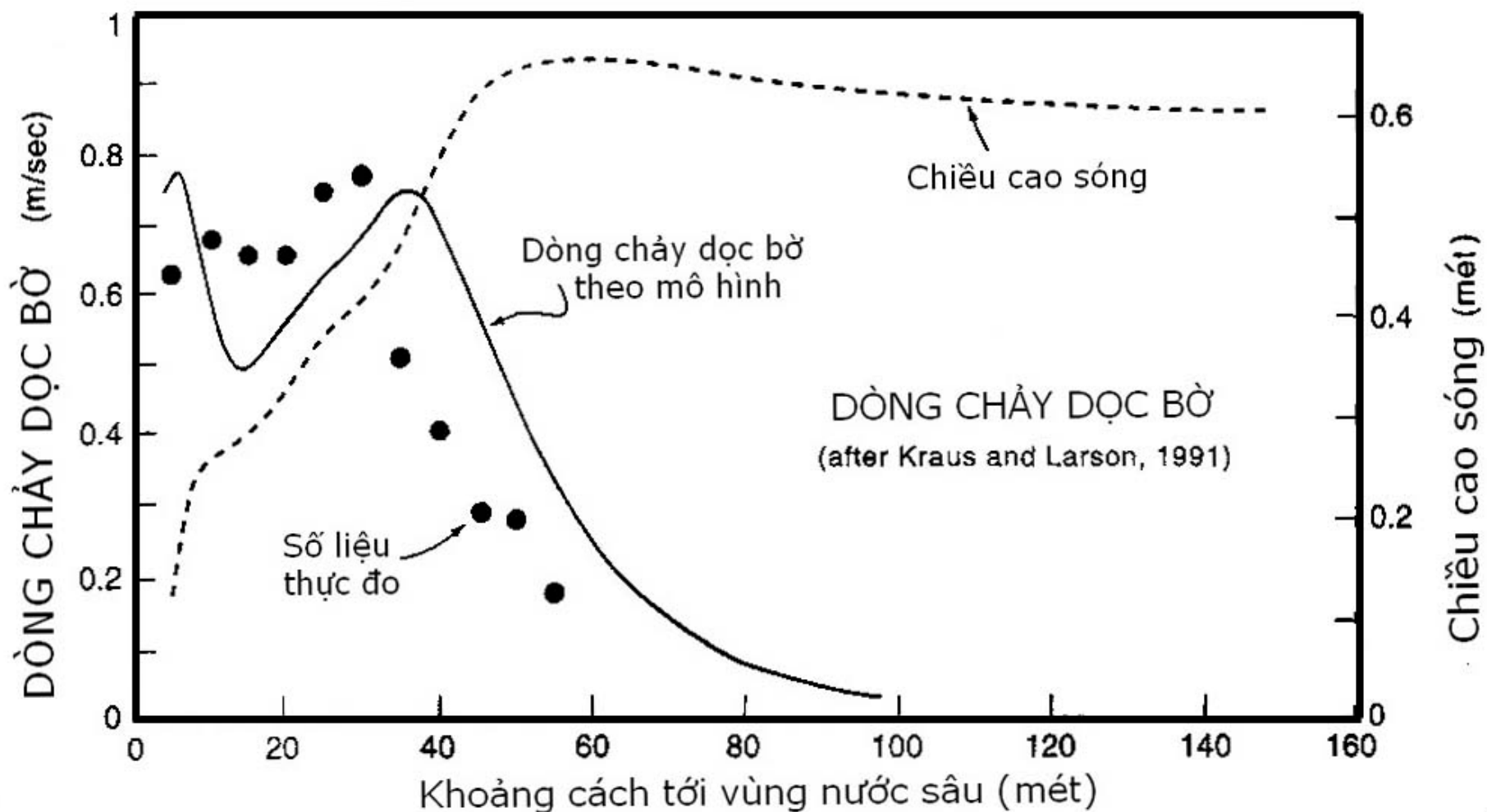
$$H_{rms} = \sqrt{\sum H_i^2 / N}; \quad H_{mean} = 1.141 H_{rms}$$

$$H_s = 1.416 H_{rms}$$

Phân bố lưu tốc trên MCN dạng Dean

- Longuet-Higgins (1970b): bãi biển có độ dốc đều
- McDougal và Hudspeth (1983) : bãi biển có MCN dạng lòng chảo, $y = Ax^{2/3}$ (Bruun/Dean), gần với thực tế
- Có sự khác biệt đáng kể đối với phân bố lưu tốc dọc bờ lý thuyết trên bãi biển có độ dốc đều
 - Dịch chuyển V_{max} về vị trí gần bờ
 - Tại $x = 0$, $S = \infty$, V_{max} tại lân cận $x = 0$, ko hợp lý
- McDougal và Hudspeth (1989), chia bãi biển thành 2 đoạn: đoạn gần bờ (độ dốc = n) và đoạn $y = Ax^{2/3}$
- Trường hợp bờ biển có địa hình đáy phức tạp với nhiều doi cát và cồn ngầm : mô hình toán ví dụ NMLONG.

Phân bố lưu tốc khi có dải cát ngầm dọc bờ



D/chảy do sóng + dao động MN dọc bờ

$$V_L = 1,17\sqrt{gH_b} \sin \alpha_b \cos \alpha_b - a u_m \frac{\partial H_b}{\partial y}$$

$$a = \frac{\pi\sqrt{2}}{C_f \gamma^3} \left(1 + \frac{3\gamma^2}{8} - \frac{\gamma^4}{4} \cos^2 \alpha_b \right)$$

- Thành phần thứ 2 biểu thị ảnh hưởng của nước dâng cục bộ do gradient ($\partial H_b / \partial y$) chiều cao sóng theo hướng dọc bờ.

- $\partial H_b / \partial y > 0$: V_L giảm

- $\partial H_b / \partial y < 0$: V_L tăng

