

SỰ TRUYỀN SÓNG MẶT TRONG RỪNG NGẬP MẶN

Võ Lương Hồng Phước, La Thị Cang

Trường ĐH Khoa Học Tự Nhiên - Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh

(Bài nhận ngày 15 tháng 6 năm 2003, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 04 tháng 9 năm 2003)

TÓM TẮT: Rừng ngập mặn được xem như một chướng ngại cho chuyển động sóng. Trong bài báo này, mô hình lý thuyết được xây dựng để dự báo sự suy giảm sóng ngẫu nhiên do gió tạo ra khi truyền vào rừng ngập mặn. Sóng truyền vào rừng ngập mặn được xem như bị phản xạ một phần; một phần bị suy giảm do tương tác với các thân cây và chỉ có một phần truyền qua rừng ngập mặn. Kết quả tính toán cho thấy tốc độ suy giảm năng lượng sóng phụ thuộc mạnh vào mật độ phân bố của rừng ngập mặn, đường kính của thân cây ngập mặn.

I. Đặt vấn đề

Rừng ngập mặn (RNM) là rừng có những loại cây đặc biệt, thường mọc ở ranh giới giữa những phần đất tiếp giáp bờ biển và biển; ở vùng nhiệt đới và cận nhiệt đới, vùng trũng ven sông nằm sâu trong nội địa. RNM đóng vai trò quan trọng trong nuôi trồng thủy hải sản và trong cân bằng ổn định các vùng ven biển nhiệt đới, bảo vệ cuộc sống và đất đai của người dân miền biển và vùng đảo xa... Các quá trình sinh hoá, động lực dinh dưỡng trong RNM có liên quan chặt chẽ đến chuyển động nước do sóng và triều gây ra. RNM rất có hiệu quả trong việc làm giảm năng lượng sóng và có thể được xem như rào chắn môi trường hữu hiệu dọc theo bờ biển bùn cát để bảo vệ sự xói mòn vùng bờ biển.

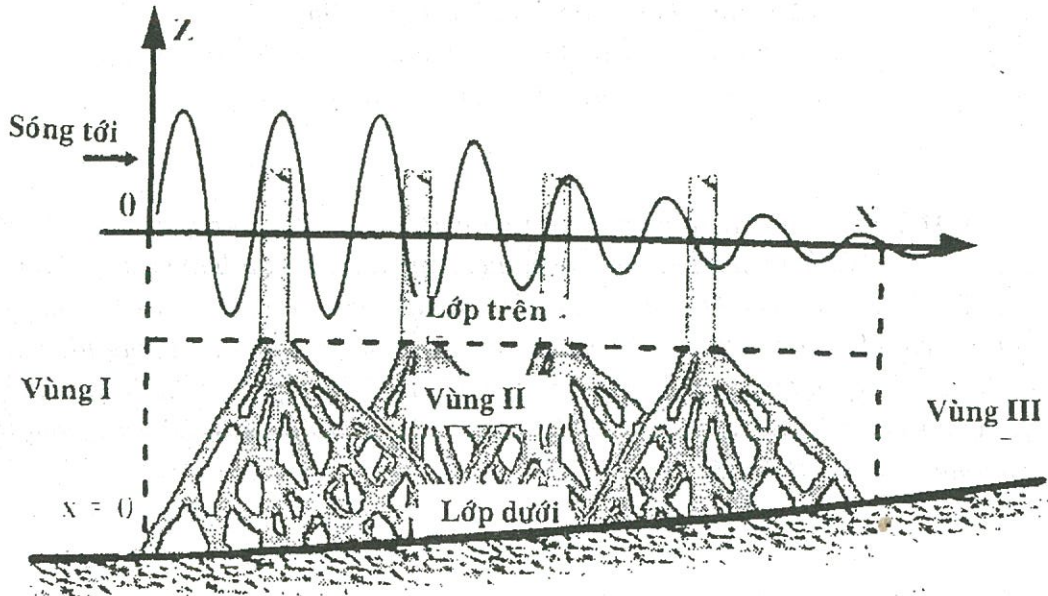
Chính vì tầm quan trọng của RNM trong việc cân bằng hệ sinh thái bền vững nên đã có rất nhiều công trình nghiên cứu về RNM trong và ngoài nước theo các lĩnh vực khác nhau như sinh thái, hoá học, động thực vật... (Francois Fromard và Lê Công Kiệt, 2002; Phan Nguyên Hồng, 1999; Nguyễn Thị Ngọc Ân, 1998; Jackson và Winant, 1983; Qureshi, 1990). Tuy nhiên, các nghiên cứu về quá trình vật lý trong vùng đầm lầy ngập mặn nhiệt đới và trong vùng cửa sông ngập mặn còn ít. Chỉ có hoàn lưu nước trong RNM ven sông gồm các con lạch triều và vùng đầm lầy ngập mặn nước nông là được nghiên cứu khá nhiều so với các hướng nghiên cứu khác về RNM (Wolanski và các đồng sự, 1992; Furukawa và Wolanski, 1996; Furukawa và các đồng sự, 1997).

Bài báo này trình bày mô hình lý thuyết được xây dựng để dự báo sự suy giảm sóng ngẫu nhiên do gió sinh ra khi truyền vào vùng RNM. Khi sóng truyền vào vùng RNM xem như một phần bị phản xạ; một phần bị suy giảm do tương tác với các thân cây và chỉ có một phần được truyền qua RNM. Kết quả tính toán cho thấy tốc độ suy giảm năng lượng sóng phụ thuộc mạnh vào mật độ phân bố các thân cây trong RNM, vào đường kính của thân cây ngập mặn.

II. Phương trình chủ đạo và điều kiện biên

Xét hệ trục tọa độ vuông góc $O(x, z)$ đặt tại bề mặt tự do trung bình, trục x theo phương ngang hướng vuông góc với bờ, trục z theo phương thẳng đứng lên trên (Hình 1). Giả sử $h(x)$ là độ sâu vùng khảo sát, thay đổi chậm theo phương x . Chiều dài vùng khảo sát là L . Ta có

thể thiết lập lời giải bài toán giá trị biên tương ứng từ các lời giải riêng biệt tại mỗi vùng trong miền khảo sát.



Hình 1 Hệ thống tọa độ vùng khảo sát

- **Miền I** ($-\infty < x < 0$; $-h < z < 0$) là miền trước khi vào vùng RNM. Trường sóng bao gồm sóng tới và sóng phản xạ từ RNM. Độ sâu ở miền này được giả sử không đổi và không có sự vỡ sóng tại đây nên có thể bỏ qua sự tiêu tán. Hàm thế vận tốc có dạng:

$$\phi_1(x, z, t) = -\frac{igH_i}{2\omega} e^{-i\omega t} \left\{ e^{-ik_1(x \cos \theta_1 + z \sin \theta_1)} + K_R e^{ik_1(-x \cos \theta_1 + z \sin \theta_1)} \right\} \quad (1)$$

- trong đó:
- + θ_1 : góc tới tuân theo định luật Snell
 - + K_R : hệ số khúc xạ
 - + k_1 : số sóng, tuân theo mối liên hệ khuếch tán $\omega^2 = gk \cdot \tanh(kh)$ với h là độ sâu nước.
 - + H_i : độ cao sóng tới
 - + ω : tần số sóng

Trong phương trình (1), vế bên phải có hai thành phần: thành phần thứ nhất biểu thị sóng tới và thành phần thứ hai biểu thị sóng phản xạ.

- **Miền II**: ($0 < x < L$; $-h < z < 0$) là vùng RNM. Chuyển động sóng trong miền này chịu sự phân tán mạnh mẽ do tương tác với thân cây ngập mặn và ma sát đáy. Ở đây có hai hệ thống sóng: sóng lan truyền qua RNM, đi vào miền III; và sóng phản xạ từ biên ngoài của RNM. Giả sử độ sâu thay đổi chậm theo phương x : $h = h(x)$ và vì đây là vùng nước tương đối nông nên ta có thể giả thiết có sự vỡ sóng tại vùng này. Hàm thế vận tốc có dạng:

$$\phi_2(x, z, t) = -\frac{igH_i}{2\omega} e^{-i\omega t} \varphi_{2x}(x) e^{ixz} \quad (2)$$

- trong đó: + χ^2 : hằng số phân ly và tuân theo định luật Snell (Berkhoff, 1973),
 $\chi = k \sin \theta$

+ $\varphi_{2x}(x)$: độ cao sóng không thứ nguyên $H(x) / H_1$

Có thể chứng minh rằng $\varphi_{2x}(x)$ tuân theo phương trình sau (Massel, 1999, 2000)

$$\frac{\partial^2 \varphi_{2z}}{\partial x^2} + \frac{1}{h} \frac{\partial h(x)}{\partial x} \frac{\partial \varphi_{2x}}{\partial x} + [(1 + if_e)k^2 - \chi^2] \varphi_{2x} = 0 \quad (3)$$

với f_e là hệ số tuyến tính hóa phụ thuộc vào moment bậc II và bậc III của vận tốc nước trong RNM. Để có được một lời giải thực tế, trong kỹ nghệ biển người ta thường sử dụng thủ tục tuyến tính hóa để xác định các lực tác động lên các cấu trúc xa bờ (Gudmestad và Connor, 1983). Do đó vector lực kéo (phi tuyến) \vec{F} , được sử dụng trong phương trình động lượng ứng với chuyển động có phân tán, được thay thế bằng hàm tuyến tính có dạng:

$$\frac{1}{\rho} \vec{F}(x, z) \approx f_e \omega_p \vec{u}(x, z) \quad (4)$$

trong đó:

+ ω_p : tần số đỉnh.

+ $\vec{u}(x, z)$: vận tốc do sóng sinh ra tại điểm đang xét trong RNM.

Về ý nghĩa vật lý, đẳng thức (4) chỉ ra rằng thay vì tính toán phức tạp ảnh hưởng của các thân và rễ cây ngập mặn, ta chỉ cần xét một giá trị trung gian, đó là sự tiêu tán năng lượng và được đặc trưng bởi số hạng $f_e \omega_p \vec{u}$.

- **Miền III**: ($x > L$; $-h < z < 0$) là vùng ở phía sau RNM. Chỉ có sóng tiến được khảo sát. Giả sử độ sâu xem như không đổi và không có vỡ sóng tại vùng này nên có thể bỏ qua sự tiêu tán. Hàm thế vận tốc có dạng:

$$\phi_3(x, z, t) = -\frac{igH_1}{2\omega} e^{-i\omega t} K_T e^{ik_3(x \cos \theta_3 + z \sin \theta_3)} \quad (5)$$

trong đó: θ_3 : góc tại miền III, tuân theo định luật Snell.

K_T : hệ số truyền qua (transition coefficient).

K_3 : số sóng, tuân theo mối liên hệ khuếch tán $\omega^2 = gk \cdot \tanh(kh)$, h là độ sâu của nước.

H_1 : độ cao sóng tới

ω : tần số sóng

III. Điều kiện biên

Các hàm thế $\phi_1(x, z, t)$, $\phi_2(x, z, t)$, và $\phi_3(x, z, t)$ phải thỏa các điều kiện biên đáp ứng (matching conditions) là điều kiện liên tục áp suất và vận tốc ngang tại hai biên $x = 0$ và $x = L$.

Tại $x = 0$:

$$\begin{cases} \phi_1 = \phi_2 \\ \frac{\partial \phi_1}{\partial x} = n_p \frac{\partial \phi_2}{\partial x} \end{cases} \Leftrightarrow n_p \phi'_{2x}(0) + ik_1 \cos \theta_1 \phi_{2x}(0) - 2ik_1 \cos \theta_1 = 0 \quad (6)$$

trong đó n_p là “độ rỗng bề mặt” của RNM (là hình chiếu của cây ngập mặn lên bề mặt $x = 0$). Theo quan điểm vật lý, người ta dùng đại lượng hơi khác một tí, nhưng rõ ràng hơn, gọi là độ rỗng thể tích n_v (Massel, 1999):

$$n_v = 1 - \frac{V_t}{V_0} \quad (7)$$

trong đó:

V_t : thể tích của thân và rễ cây ngập mặn, phụ thuộc vào đường kính của thân cây ngập mặn.

V_0 : thể tích của toàn vùng đang xét.

* $n_p = 1$ khi không có RNM.

* $n_p = 0$ khi sóng tới bị phản xạ hoàn toàn.

Mối liên hệ giữa độ rỗng bề mặt và độ rỗng thể tích nói chung là phức tạp. Nhưng trong bài báo này, để đơn giản, ta giả sử rằng giá trị trung bình cả hai độ rỗng này là như nhau. Vậy, độ rỗng bề mặt n_p sẽ tỷ lệ nghịch với mật độ phân bố thân cây ngập mặn.

Tại $x=L$:

$$\begin{cases} \phi_2 = \phi_3 \\ \frac{\partial \phi_3}{\partial x} = n_p \frac{\partial \phi_2}{\partial x} \end{cases} \Rightarrow n_p \phi_{2x}'(L) = ik_3 \cos \theta_3 \phi_{2x}(L) \quad (8)$$

Phương trình chủ đạo và các điều kiện biên (6) và (8) được rời rạc hóa bằng phương pháp sai phân hữu hạn và được giải bằng phương pháp Cholesky.

IV. Kết quả tính toán

4.1. Điều kiện tính toán

Vùng khảo sát được giả định có độ rộng $L = 45\text{m}$, độ sâu đáy vùng I: $h_1 = 1\text{ m}$, độ sâu đáy vùng III: $h_3 = 0.2\text{ m}$ và độ sâu đáy vùng II thay đổi chậm theo phương x (Hình 2). Sóng được khảo sát trong khoảng chu kỳ $T = 0,5\text{s} - 6,5\text{s}$.

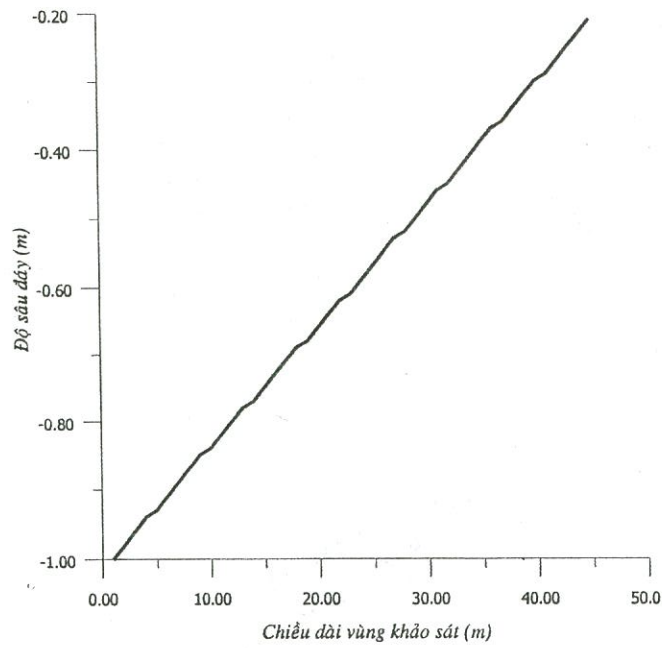
4.2. Kết quả tính toán

4.2.1. Ảnh hưởng của lực cản f_e lên sự suy giảm sóng:

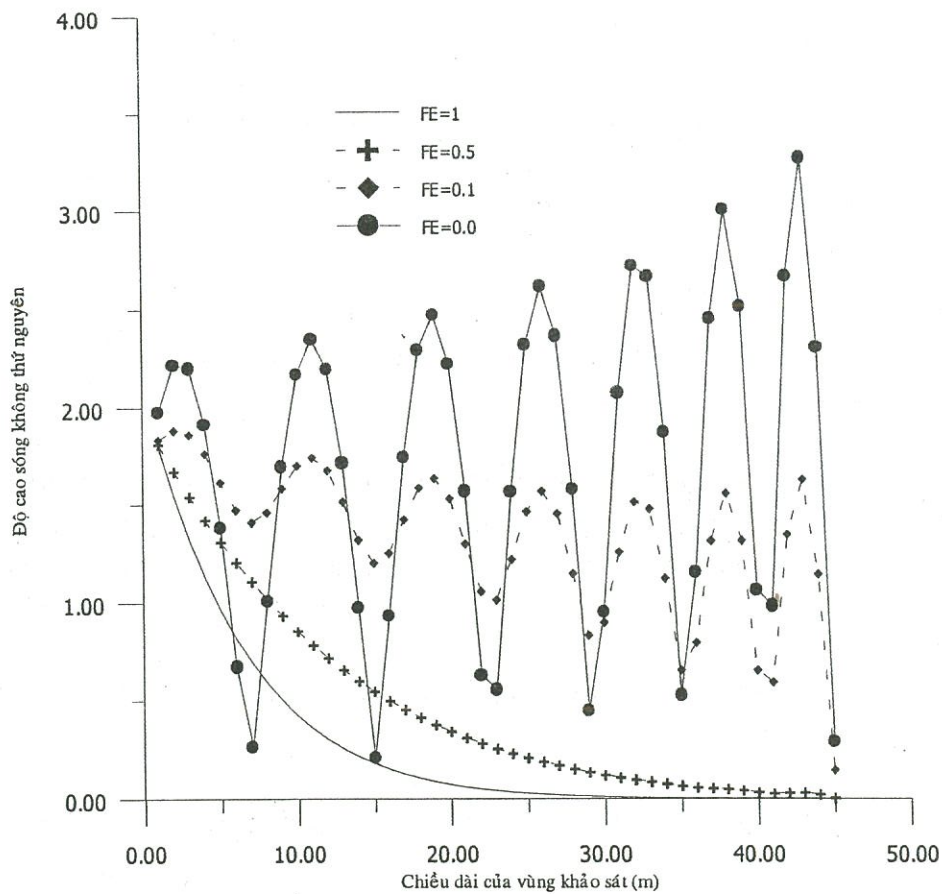
Hình 3 biểu diễn sự thay đổi của độ cao sóng khi không xét đến lực cản của cây ngập mặn ($f_e = 0$) và khi có xét đến lực cản ($f_e = 0,1$, $f_e = 0,5$ và $f_e = 1,0$) khi sóng truyền vào RNM. Trong trường hợp $f_e = 0$, phương trình (1) trở thành phương trình Berkhoff bỏ qua sự tiêu tán năng lượng sóng. Vì vậy, độ cao sóng sẽ tăng dần khi sóng truyền vào vùng nước nông. Khi xét đến lực cản của cây ngập mặn, hệ số lực cản càng tăng thì độ cao sóng càng giảm khi vào RNM do tương tác của cây ngập mặn với sóng đã làm suy giảm năng lượng sóng.

4.2.2. Ảnh hưởng của mật độ thân cây ngập mặn lên sự suy giảm sóng:

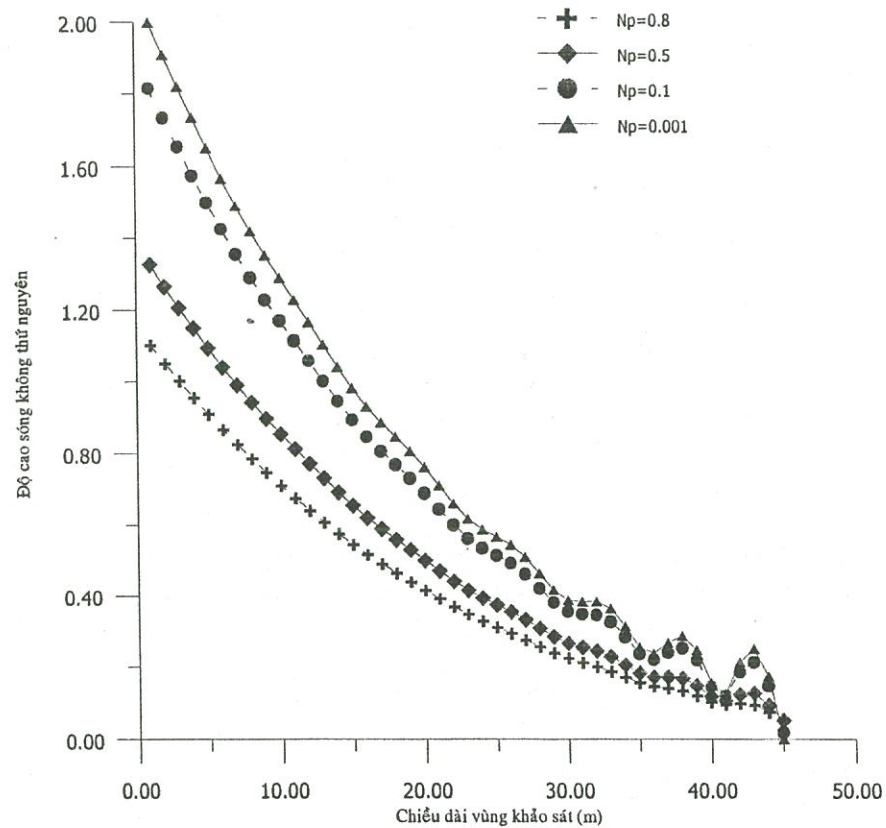
Hình 4. biểu thị sự thay đổi độ cao sóng khi sóng đi vào RNM theo độ rỗng mặt n_p có các giá trị khác nhau $n_p = 0,001$, $n_p = 0,1$, $n_p = 0,5$ và $n_p = 0,8$. Ta nhận thấy độ cao sóng giảm dần khi vào RNM. Khi độ rỗng mặt n_p càng giảm, tức là số cây ngập mặn trong vùng khảo sát tăng lên hoặc đường kính của thân cây ngập mặn tăng lên thì độ cao sóng giảm càng nhiều hơn.



Hình 2. Địa hình đáy vùng khảo sát



Hình 3 Sự thay đổi của độ cao sóng khi không xét đến lực cản của cây ngập mặn ($f_e = 0$) và khi có xét đến các lực cản khác nhau.



Hình 4. Sự thay đổi độ cao sóng khi vào rừng ngập mặn theo các độ rỗng mặt n_p khác nhau.

V. Kết luận

1. Độ cao sóng giảm khi vào rừng ngập mặn do tương tác của cây ngập mặn với sóng làm suy giảm năng lượng sóng. Hệ số lực cản f_c sẽ được xác định tùy theo điều kiện thực của bài toán.
2. Sự suy giảm năng lượng sóng phụ thuộc mạnh vào mật độ phân bố thân cây ngập mặn cũng như đường kính của thân cây ngập mặn: Số cây ngập mặn càng tăng hoặc đường kính cây ngập mặn tăng (tức độ rỗng bề mặt n_p giảm) thì độ cao sóng càng giảm. Điều này càng làm rõ thêm vai trò của thân cây ngập mặn trong việc bảo vệ bờ biển chống lại sự xói mòn.
3. Ảnh hưởng của góc tới lên sự suy giảm sóng là không đáng kể và sẽ được bỏ qua trong các bài toán thực tế.

SURFACE WAVE PROPAGATION IN MANGROVE FOREST

Vo Luong Hong Phuoc, La Thi Cang

ABSTRACT: *The mangrove forest as whole is an obstacle to wave motion. In this paper, the theoretical attempt to predict the attenuation of wind-included random surface wave in mangrove forest is presented. Wave motion is considered to be partly reflected from forest,*

partly attenuated by interaction with trunks, and only partly transmitted through forest. The resulting rate of wave energy attenuation depends strongly on the density of the mangrove forest, diameter of mangrove roots and trunks.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Berkhoff. J. C. W. (1972). *Computation of Combine Refraction - Deffraction*. Proc. 13th Coastal Eng. Conf. 1. 271-272
2. Gudmestad, O.T., Connor, J. J., 1983. *Linearization methods and the influence of the nonlinear hydrodynamic drag force*. Appl. Ocean Res., 5, 184 – 194.
3. Kaplan, W. (1991). *Advanced Calculus*. Addison- Wesley Publishing Company.
4. Massel, S. R (1999). *Fluid Mechanics for Marine Ecologists*. Springer- Verlag - Berlin Heidelberg.
5. Massel, S. R., Gourlay, M. R. (2000). *On the modelling of wave breaking and set-up on coral reefs*. Coastal Engineering, 39,1-27.
6. Wolanski, E., Mazda, Y., Furukawa, K., Ridd, P., Kitheka, J., Spagnol S., Stieglitz, T. (1998). *Water circulation through mangroves and its implications for biodiversity*. Filander Press.