

Tin học ứng dụng trong kĩ thuật biển

Bài giảng

Dùng cho bậc đại học và sau đại học

Sinh viên / Học viên: _____

Bộ môn Công trình biển và Đường thủy
Khoa Công trình, trường Đại học Thủy lợi

Bộ môn Công trình biển và Đường thủy
Phòng 402, nhà A1, trường Đại học Thủy lợi
Số 175 Tây Sơn, Kim Liên, Hà Nội
email: khoaC@tlu.edu.vn

PGS Trần Thanh Tùng
GS Thiều Quang Tuấn
PGS Nghiêm Tiến Lam
PGS Lê Hải Trung
GV Phạm Thu Hương
GV Nguyễn Thị Phương Thảo
GV Dương Đức Toàn
GV Vũ Minh Anh
GV Lê Tuấn Hải
GV Nguyễn Quang Chiến
GV Nguyễn Quang Lương

cùng các cựu GV Bộ môn Quản lý biển và đới bờ
GS Vũ Minh Cát
PGS Nguyễn Thị Thế Nguyên

Môn học: Tin học ứng dụng trong kĩ thuật biển

Biên soạn tài liệu:
GV Nguyễn Quang Chiến

Với ý kiến đóng góp của:
NCS Tô Duy Hoàn – ĐH Auckland, New Zealand

I. Giới thiệu môn học

1. Giới thiệu chung

Trong chuyên ngành kỹ thuật biển, tin học được ứng dụng trong các bài toán hải dương học, để xác định dòng thủy triều, phân bố mặn và nhiệt độ, các dự án kỹ thuật bờ biển (như truyền sóng để xác định tác động của sóng lên công trình đề biển, đập chắn sóng, hải cảng), đặc biệt ở ba công đoạn: xử lý số liệu, tính toán và biểu thị kết quả. Ở trường Đại học Thủy lợi, các bộ phần mềm máy tính như Delft3D và DHI MIKE đã được đưa vào giảng dạy, giúp cho sinh viên nâng cao kỹ năng chuyên ngành đồng thời củng cố kiến thức lý thuyết được học.

Trong môn học 2 tín chỉ này, sinh viên có dịp áp dụng mô hình tính sóng và thủy triều ở vùng biển ven bờ. Loại mô hình này có nhiều ứng dụng quan trọng:

- dự báo sóng cho hoạt động hàng hải;
- thiết kế công trình;
- đánh giá các quá trình biến đổi địa mạo, môi trường biển ven bờ.

Chương trình phần mềm được sử dụng là bộ MIKE do công ty DHI Software (Đan Mạch) phát hành. Đây là phần mềm cho kết quả mô phỏng đáng tin cậy, được nhiều công ty tư vấn trong và ngoài nước dùng phổ biến và đánh giá cao. Về tốc độ tính toán, kể từ bản năm 2012, MIKE đã được thiết kế để chạy song song trên nhiều nhân CPU và gần đây hơn là phiên bản chạy trên nền tảng Linux.¹ Giao diện đồ họa lẫn và cách mô đun hóa chương trình và nhập xuất nhiều định dạng dữ liệu khác nhau, hỗ trợ tiền và hậu xử lý là những thế mạnh của MIKE.

MIKE có giá thành tương đối đắt (hơn 1 tỉ đồng cho một bộ gồm các module thông dụng như sóng, dòng chảy ven biển). Song bạn có thể tải về bản dùng thử demo; trong bản này đã hạn chế khả năng tính toán (giải được được một bài toán đơn giản với miền tính toán nhỏ).² Hãy tải về bản mới nhất (MIKE 2025, phiên bản 64-bit thích hợp với hệ điều hành (Windows hoặc Ubuntu hoặc Red Hat Linux từ <https://www.dhigroup.com/technologies/mikepoweredbydhi/mike-21-3/mike-213-product-download-page>). Với yêu cầu cấu hình cơ bản là RAM 8 GB và dung lượng đĩa

- 1 Rốt cuộc, DHI cũng nhận thấy tiềm năng người dùng trong môi trường Linux: họ có thể dùng Python chẳng hạn để viết các mã lệnh hiển thị kết quả chạy từ MIKE.
- 2 Học viên và nghiên cứu sinh có thể tham khảo ý kiến GV hướng dẫn về cơ hội đăng kí một tài khoản Student Labkit <https://support.dhigroup.com/student-labkit/> để nhận bản MIKE miễn phí trong học kì làm luận văn với các đề tài có tiềm năng.

trống 50 GB, không quá khó đáp ứng trên các máy tính để bàn cỡ trung bình, bạn hoàn toàn có thể khám phá tính năng chương trình sau khi cài đặt.

Về phương châm của môn học, tôi thấy có hai thiên hướng: hoặc diễn giải quá sâu sắc lý thuyết mô hình sóng, hoặc ghi nhớ máy móc những thao tác sử dụng phần mềm. Cả hai đều không phải mục đích chính của môn học, và cần phải giảm bớt. Thay vào đó, tôi muốn nhấn mạnh ý tưởng của chương trình phần mềm như một công cụ giúp người dùng thao tác trên một lượng lớn các số liệu hiện có; và khi sử dụng phần mềm phải giải thích được tại sao lại thiết đặt các tham số mô phỏng như vậy. Phần I cuốn này giới thiệu chung về lý thuyết và sự liên kết từ môn học này với các học tiên quyết trong khung chương trình. Phần II trình bày về mô đun xử lý dữ liệu chung của MIKE (có tên MIKE Zero, trong trường hợp này chủ yếu là để lập lưới tính toán). Phần III trình bày về mô đun tính toán và cách chọn tham số. Phần IV thảo luận về việc cân nhắc khi lập kịch bản, tiến hành mô phỏng và phân tích kết quả.

Phiên bản này của tập bài giảng đã được bổ sung những đặc điểm mới của bộ phần mềm MIKE 2025, đồng thời giải thích kĩ hơn thao tác trên máy tính để học viên có thể thực hành ngoài lớp học được thuận lợi hơn. Mặc dù vậy, nhiều lúc tác giả không thể tránh được việc viết tắt, viết gọn. Chẳng hạn “click trái/phải” nghĩa là kích nút trái hoặc phải của chuột, hay PT là phương trình. Kí hiệu § nghĩa là “mục”. Chẳng hạn, ta đang ở §1. (Tôi sẽ không đề cập đến các mục lớn là I, II, III vì như vậy quá chung chung.) Để chỉ việc lựa chọn các menu con, dấu mũi tên sẽ được sử dụng, như File → New. Các nút bấm được kí hiệu bởi cặp ngoặc vuông như [OK]. Trong cuốn sách này nói chung không in hình các hộp thoại và bạn cần đọc kĩ để nhập số liệu vào đúng ô tương ứng. Các hình vẽ trong quyển này cũng không được đánh số mà thường đặt ở bên cạnh hoặc ngay trước hoặc sau đoạn văn đề cập tới nó (dù vậy đây không phải là cách làm hay mà chỉ nên hiểu là một giải pháp cho tập bài giảng ngắn này thôi).

Để đọc quyển này được hiệu quả. Sinh viên cần dành thời gian ngoài giờ thực hành máy để đọc kĩ nội dung cuốn này. Đứng ngại gạch chân, tô màu, và viết thêm chú thích vào sách. Cố gắng hoàn thành hết các bài tập và xem những lưu ý đã được đóng khung. Hãy mở trang cuối và tra tìm những khái niệm đã liệt kê trong phần “Chỉ mục” để nắm rõ thêm kiến thức. Bạn có thể đổ nhau, chẳng hạn như hãy giải thích khái niệm, hay cho ví dụ cụ thể về (lưới chiếu) UTM. Ngoài ra, bạn còn có thể tìm đọc thêm tài liệu tham khảo (cũng ở phần cuối sách), chẳng hạn, khi đọc “Goda (2000)” bạn sẽ biết rằng ở mục *Tài liệu tham khảo* sẽ có danh mục tài liệu này. Hãy dùng công cụ tìm kiếm (như Google) để tìm đọc về những câu chuyện áp dụng thành công (“success stories”) mô hình MIKE trên toàn thế giới. Chúc bạn thành công!

2. Dự án

Để tiện cho việc thực hành, sinh viên thực hiện một ví dụ tính toán với huyện Hải Hậu - Nam Định. Vùng bờ Hải Hậu thẳng và không có cửa sông lớn, tác động của sóng rất đáng kể và có lẽ là nguyên nhân chính gây ra xói lở bờ biển mạnh như đã quan sát thấy trong nửa cuối thế kỉ qua.



Trong nội dung 2 tín chỉ của môn “Tin học ứng dụng trong kĩ thuật biển” này, sinh viên cần thực hành độc lập, khoanh vùng và tạo lưới tính toán cho bờ biển địa phương, lấy các số liệu địa hình, các yếu tố khí tượng, thủy hải văn như gió, sóng, thủy triều (gọi chung là các “lực đẩy” hay *forcing*) để xem sóng truyền như thế nào (động thái của hệ thống như thế nào). Sẽ rất thú vị nếu mô hình cho ta thấy được các hiện tượng truyền sóng đã được học qua bài giảng, nhưng trước hết hãy đọc §3 trong đó có đề cập đến một số vấn đề mô hình hóa sự lan truyền sóng.

Bài tập

Khảo sát vùng nghiên cứu. Dùng Google Earth để xác định trên bản đồ vị trí của đường bờ Hải Hậu: kinh-vĩ độ _____ hay theo hệ UTM là _____ m. Xác định độ dài: _____, hướng đường bờ: _____.

Bạn có nghĩ rằng bờ biển thẳng thì các đường đồng mức đáy biển cũng song song với nhau không? Hãy thử di chuột để khảo sát độ sâu và vẽ các đường đồng mức -5 m, -10 m. Ước tính độ dốc đáy biển: _____.

Một mục đích quan trọng của môn học là sinh viên không chỉ thực hành “như một cái máy” mà cần có tư duy giải quyết vấn đề. Cuốn tài liệu này trình bày xen kẽ thao tác máy tính với bản chất của bài toán. Xét cho cùng, phần mềm máy tính rồi sẽ lỗi thời nhưng sự hiểu biết về bản chất vấn đề sẽ có ích để giải quyết những bài toán sau này, có thể bằng công cụ phần mềm khác.

3. Mô hình toán sóng ven bờ: sơ lược

Bạn chưa phân biệt rõ mô hình toán, mô hình số trị, và phần mềm? Mô hình nói nôm na là thể thức do người tạo ra để phỏng theo sự vật hiện tượng trên thực tế (mô phỏng về hình dạng, đặc tính ứng xử, sự vận động), nhưng đơn giản hơn cái trong thực tế. Mô hình toán dùng các biểu thức toán học, thể hiện đặc tính ứng xử của vật qua các biến số. Để mô phỏng hiệu quả được các hệ thống phức tạp gồm nhiều thành phần, phương pháp số được áp dụng trong mô hình số trị. Còn phần mềm (chương trình máy tính) bắt nguồn từ việc viết mã lệnh thực hiện

cụ thể mô hình số trị đó rồi có thể là đóng gói thành một sản phẩm như MIKE chẳng hạn. Lấy ví dụ sự truyền sóng trên mặt cắt ngang bờ (theo trục x), từ phương trình vi phân cơ bản người ta sai phân hóa trên các đoạn được đánh thứ tự 1, 2, ..., $i-1$, i , ... n ; mỗi đoạn dài Δx . Mã lệnh được viết bằng ngôn ngữ lập trình, dĩ nhiên là “trông xấu hơn” biểu thức toán học nhưng lại rất hiệu quả khi thực hiện trên máy tính.



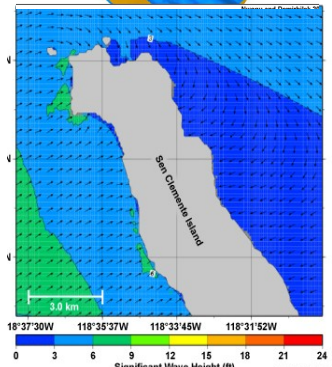
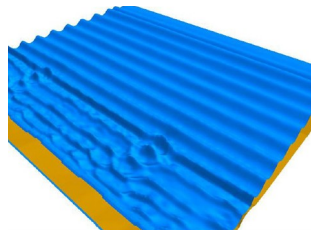
- PT sóng: $\frac{\partial}{\partial x} E C_g \cos \theta = -D \rightarrow E = \{ \text{biểu thức tích phân ...} \}$
- Sai phân: $(E_i C_{gi} \cos \theta_i - E_{i-1} C_{g\ i-1} \cos \theta_{i-1}) / \Delta x = -1/2(D_i + D_{i-1}) \rightarrow E_i = \dots$
- Mã lệnh (thường khi lập trình, người ta tạo ra biến trung gian như D_{avg} , E_{flux} , và đôi khi bạn phải hình dung tên biến (dir) ứng với từng kí hiệu cụ thể (θ):
 $D_{avg} = 0.5 * (D(i-1) + D(i));$
 $E_{flux} = E(i-1) * C_g(i-1) * \cos(dir(i-1));$
 $E(i) = (E_{flux} - D_{tb}) * dx / (C_g(i) * \cos(dir(i)));$

Có nhiều mô hình sóng, được phân loại thành:

- dạng công thức hay đồ thị $H_s \sim T_p \sim$ đà gió $\sim$ thời gian (mô hình 0-D),
- mô hình truyền sóng trên mặt cắt ngang (mô hình 1-D, như Wadibe),
- mô hình truyền sóng trên một vùng (mặt bằng) (mô hình 2-D)

Trong mô hình 2 chiều có 2 loại chính:

- 2-D phân giải pha (mô phỏng từng con sóng nhấp nhô): mô hình họ Boussinesq (MIKE21 BW), phi thủy tĩnh (như SWASH): áp dụng cho sóng ở cảng, có nhiễu xạ mạnh;
- 2-D phổ (chỉ mô phỏng đặc trưng thống kê của trường sóng, như SWAN, MIKE 21 SW, xem hình bên): áp dụng cho các vùng bờ biển, vịnh lớn.



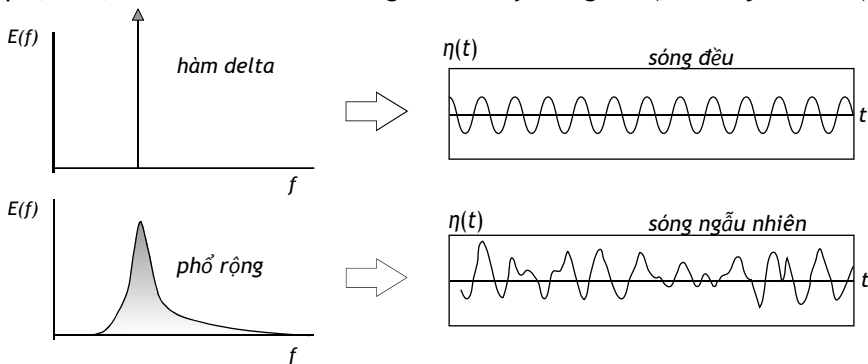
Với môn học này, sinh viên sử dụng mô đun MIKE 21 Spectral Wave FM. Hãy hình dung trong không gian 2 chiều: các đặc trưng sóng như H_s và T_p là chưa đủ, còn phải biết phân bố của chúng thế nào!

Bài tập

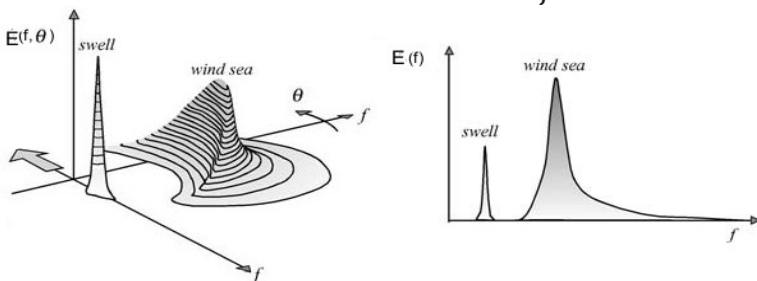
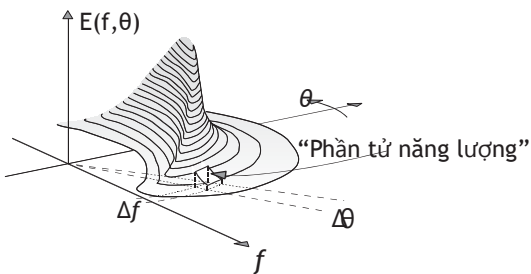
- Loại mô hình sóng nào sau đây sẽ cho kết quả là bản đồ màu chỉ thị chiều cao sóng ý nghĩa?
a) mô hình 1-D b) 2-D Boussinesq c) 2-D phổ
- Mô hình nào yêu cầu tính toán với độ phân giải cao hơn?
a) 2-D Boussinesq b) 2-D phổ
- Mô hình Boussinesq thường được dùng để dự báo sóng. a) Đúng b) Sai

4. Mô hình sóng phổ

Trong mô hình này, ta xét sự truyền *năng lượng* sóng (hiểu là E/pg), các tham biến: tốc độ truyền sóng C_g , hướng phổ θ . Năng lượng sóng được biểu diễn qua phổ sóng. Hình dưới đây cho thấy phổ sóng 1 chiều, ở đó năng lượng như một hàm phụ thuộc tần số. Các hình trong §4 đều lấy từ nguồn (Holthuijsen 2007).



Phổ sóng 2 chiều (hình bên) thì phức tạp hơn nhưng quan trọng. Ví dụ khi có sóng lừng và sóng gió thì phổ 1 chiều sẽ không phân biệt được hướng truyền của 2 thành phần sóng này (xem phần bên phải hình dưới).



Đến đây, cần nhận diện các thành phần sau:

- Nguồn bổ sung năng lượng sóng: gió.
- Tiêu tán năng lượng sóng: “bạc đầu”, ma sát đáy, sóng vỡ.
- Thay đổi năng lượng sóng do tương tác sóng.

Phương trình cân bằng năng lượng sóng:

- cho 1 đơn vị diện tích mặt biển:

mức độ thay đổi năng lượng = (năng thông vào – năng thông ra) + (phát sinh năng lượng – tiêu tán năng lượng tại chỗ)

- cho nước sâu:

$$\frac{\partial E(f, \theta)}{\partial t} + c_{g,x} \frac{\partial E(f, \theta)}{\partial x} + c_{g,y} \frac{\partial E(f, \theta)}{\partial y} = S(f, \theta)$$

- cho nước ven bờ:

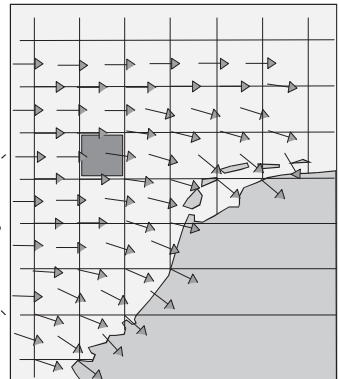
$$\frac{\partial E(f, \theta)}{\partial t} + \frac{c_{g,x} \partial E(f, \theta)}{\partial x} + \frac{c_{g,y} \partial E(f, \theta)}{\partial y} + \frac{c_\theta \partial E(f, \theta)}{\partial \theta} = S(f, \theta)$$

- cho trường hợp có dòng chảy: sử dụng “hoạt độ sóng” $N = E/\sigma$:

$$\frac{\partial N(f, \theta)}{\partial t} + \frac{c_{g,x} \partial N(f, \theta)}{\partial x} + \frac{c_{g,y} \partial N(f, \theta)}{\partial y} + \frac{c_\theta \partial N(f, \theta)}{\partial \theta} + \frac{c_\sigma \partial N(f, \theta)}{\partial \sigma} = \frac{S(f, \theta)}{\sigma}$$

Qua kết quả mô phỏng có thể nhận diện các hiện tượng đã được học: khúc xạ, nước nông → những trường hợp đặc biệt của phương trình tổng quát!

Khi chia vùng biển thành nhiều ô vuông (hình dưới đây, [nguồn từ Holthuijsen 2007]) thì PT cân bằng sẽ được viết cho từng ô này và chúng hợp thành một hệ phương trình để biểu diễn cho toàn miền. Luồng năng lượng sóng có thể truyền qua các ô cạnh nhau (như các mũi tên) và do vậy giải thích cho mối liên kết giữa các phương trình trong hệ. Và dĩ nhiên, như sẽ thấy từ §12 trở đi, lưới tính toán sẽ có hình tam giác để vừa bám sát đường bờ khúc khuỷu, lại vừa linh hoạt để độ phân giải cao (ô lưới mịn ở sát bờ) và độ phân giải thấp (ô lưới to ở ngoài đại dương).



5. Mô hình thủy động lực

Với mô hình thủy động lực, trường dòng chảy được mô tả với “mực nước trung bình” trong đó mọi gợn sóng nhấp nhô đều bị “san phẳng”. Hơn nữa, trường dòng chảy 2 chiều hàm ý rằng vận tốc được xác định trung bình theo độ sâu (hình dung rằng một profile vận tốc dạng parabol được dàn bẹt ra). Việc áp dụng giả thiết “dòng chảy nước nông” đối với vùng biển là hợp lý, vì tỉ lệ chiều sâu / bề rộng của biển = cỡ 1/1000, và điều này cũng ngụ ý rằng vận tốc dòng chảy phương đứng rất nhỏ, = cỡ 1/1000 dòng chảy phương ngang (Dyke 2016).

Khác với mô hình sóng chỉ có 1 phương trình cơ bản (tùy từng trường hợp, xem lại §4, trong mô hình dòng chảy có đến ba phương trình cho 3 ẩn số: mực nước (ζ) và hai thành phần thông lượng (q_x , q_y) theo từng phương x , y ($q_x = uh$ và $q_y = vh$ với h là độ sâu nước). Các phương trình như sau:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial(q_x u)}{\partial x} + \frac{\partial(q_x v)}{\partial y} = f q_y - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} - F_x$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial(q_y u)}{\partial x} + \frac{\partial(q_y v)}{\partial y} = -f q_x - gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} - F_y$$

Khi biết dạng phân bố của tất cả ba biến số này ta sẽ dựng nên cao độ mặt biển cũng như hoàn lưu trên biển.

Cũng như mô hình sóng, từ phương trình vi phân đạo hàm riêng, sẽ tiến hành sai phân để thu được phương trình đại số, từ đó có thể viết mã lệnh chương trình.

Mô hình dòng chảy tuy có nhiều biến số hơn nhưng được giải trong không gian 2 chiều (x , y), còn mô hình sóng lại có thể coi là trong “không gian” 4 chiều: x , y , và chiều tần số f , chiều góc phổ θ .

6. Tổng quát vận hành chương trình

Bộ phần mềm MIKE được tổ chức thành một hệ thống các mô đun.

- MIKE Zero là tập hợp các mô đun xử lý số liệu (địa hình, chuỗi thời gian). Trong đó ta chủ yếu sẽ dùng mô đun *Mesh Generator* để tạo lưới địa hình dạng tam giác.
- MIKE 21 là tập hợp các mô hình tính toán dòng chảy, sóng và vận chuyển cát. Bên cạnh mô đun SW, mô đun dòng chảy (Flow FM, xem §31) rất quan trọng để tính dòng triều ở các cửa sông, lạch triều và có thể gộp

với mô đun SW (tương tác dòng chảy-sóng). Ngoài ra, MIKE 21 Toolbox (§32) cũng cung cấp tính năng để tạo ra và điều chỉnh số liệu.

Vận hành chương trình qua các bước sau:

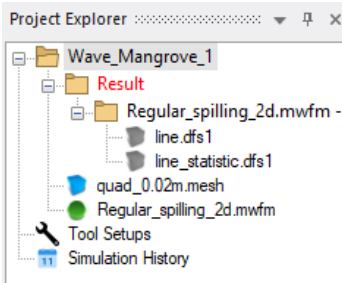
- Khoanh vùng tính toán, chọn thời gian tính toán
- Nhập số liệu
 - địa hình: (x y z): bắt buộc để mô hình chạy được
 - thủy động (điều kiện biên): để mô hình cho kết quả
 - các thông số khác (độ nhám v.v.): để hiệu chỉnh, kiểm định kết quả
- Chỉ định yêu cầu lấy kết quả (trên toàn vùng hay tại vị trí nào?)
- Tất cả các số liệu địa hình, thủy động lực đều được ghi ra những file chữ ASCII (dạng text), kể cả số liệu mạng lưới vốn có yếu tố hình học.
- Chạy chương trình tính (chạy thử, chạy hiệu chỉnh, chạy kiểm định, chạy các kịch bản). Chương trình (.exe) sẽ đọc các file số liệu nêu trên và tính toán, ghi ra các file kết quả. Lẽ ra các file này đều là dạng text ASCII, nhưng do khối lượng số liệu (2 chiều) rất lớn nên các file thường được nén và mã hóa theo format riêng của MIKE.
- Biểu thị kết quả: các file mã hóa trên được phần mềm đọc và lập thành đồ thị khi chương trình tính kết thúc.

Với lần đầu tiên chạy chương trình, cơ chế hoạt động của chương trình nói chung như sau:

- Ban đầu hệ thống “tĩnh tại”: mặt biển phẳng lặng.
- Tại bước thời gian tiếp theo, các lực đẩy (forcing) tác động lên mô hình làm hệ thống vận động (sóng, dòng chảy).
- Mỗi bước thời gian, tập hợp các đặc tính thủy động của hệ (như trường sóng, trường dòng chảy) được lưu vào các ma trận tồn tại trong bộ nhớ RAM.
- Bước thời gian mới, trạng thái thủy động thay đổi, các ma trận được cập nhật. Bởi vậy muốn không bị mất kết quả tính quá trình thủy động thì phải lưu các ma trận này vào đĩa cứng (chỉ định yêu cầu output).
- Khi dùng thạo, ta có thể dùng kết quả trạng thái thủy động một thời điểm nhất định đã lưu làm mốc để tính toán cho kịch bản mới (cách này gọi là hot-start).
- TUY NHIÊN riêng với tính toán sóng người ta cũng có thể quan tâm đến kết quả cuối cùng của trường sóng khi hệ thống đã ổn định (Stationary condition). Khi đó chỉ cần xuất kết quả tại 1 thời điểm (thường là cuối thời gian mô phỏng).

II. Chuẩn bị dữ liệu

Việc chuẩn bị dữ liệu còn được gọi là khâu tiền xử lý (pre-processing). Để tiện cho việc quản lý dữ liệu, trong mỗi dự án ta cần lập một Project mới. Chọn menu File → New Project, rồi đặt tên dự án và đặt tên thư mục. Gõ dòng chữ mô tả dự án. Xong xuôi, khi bạn nhấn vào tab bên phải (biểu tượng cây búa) sẽ mở ra cửa sổ dự án với các cấu trúc các file và thư mục con trong đó. Dự án cũng rất có lợi khi bạn bổ sung file thuyết minh kèm trong thư mục này luôn. Sử dụng cửa sổ Project Explorer này, ngoài việc chuyển file, nén file zip, cũng cho phép ta xem mối liên hệ phụ thuộc giữa các file (click phải vào tên file rồi chọn View Dependencies). Một lợi ích khác của việc tổ chức dự án là chương trình chỉ cho phép hiện lên các file có format nhất định, ví dụ như các file kết quả (*.dfs0, *.dfs1, *.dfs2) trong thư mục Result, góp phần loại trừ nhầm lẫn khi ta tổ chức dữ liệu. Sau cùng, thông tin Simulation History liệt kê các lượt chạy mô phỏng (sau này sẽ đề cập ở §38). Điều này rất quan trọng, đảm bảo cho từng mô phỏng có thể tái lập được, phục vụ cho mục đích nghiên cứu khoa học.



Lưu ý:

Xuyên suốt quá trình sử dụng MIKE, khi đặt tên các thư mục, tên các file, tuyệt đối không được gõ các dấu tiếng Việt vào. Ví dụ thư mục dự án Hải Hậu và file kịch bản 1 thì có thể viết **Hai_Hau/Kich_ban_1.sw**. Thậm chí, khi các file MIKE này lưu trong thư mục người dùng của bạn thì ngay cả tên người dùng cũng phải viết không dấu. Ví dụ, nếu đặt tên người dùng là Tuấn thì thư mục cơ sở sẽ là C:\Users\Tuấn và sẽ bị lỗi trong quá trình xử lý dữ liệu.

Việc quy ước dấu thập phân thì theo hệ thống máy tính, bởi vậy trừ trường hợp thiết lập đặc biệt, còn dấu thập phân sẽ là dấu chấm, ví dụ 3.14 là giá trị nhập vào cho số pi.

Về kĩ năng thao tác cơ bản với máy tính, bạn cần phải:

- hiểu những khái niệm cơ bản: hệ điều hành, thư mục, file, đường dẫn,
- biết các thành phần: menu (có hàng chữ File Edit/View ... nằm dưới thanh tiêu đề “MIKE Zero”, thanh công cụ (là dãy các biểu tượng dưới menu), thanh trạng thái (nằm ở mép dưới cửa sổ), hộp thoại (cửa sổ nhỏ bật ra yêu cầu ta cung cấp thông tin, thường có một số nút như [OK], v.v.
- Thao những thao tác: di chuyển hoặc đổi tên file, sao lưu cả một thư mục để tránh bị ghi đè lên khi chạy mô phỏng, nén và giải nén file, chạy chương trình với quyền quản trị (admin), chụp màn hình.
- Chuẩn bị các phần mềm phụ trợ như Excel, và cài vào máy một phần mềm *text editor*

như Notepad++,³ v.v. (tốt hơn Notepad rất nhiều), vì có những tính năng như tô màu các số trong file, khớp cặp ngoặc, đóng hàng, hay “đa con trỏ” để biên tập cùng lúc nhiều dòng lệnh.

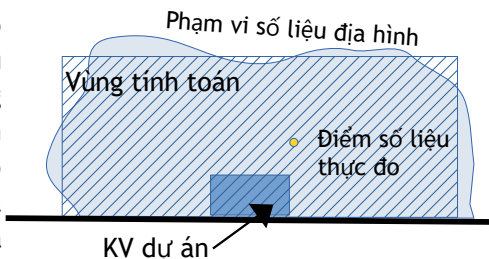
Nhiều lúc bạn sẽ thao tác bên ngoài phần mềm MIKE, chắc chắn là vậy!

7. Xác định vùng tính toán, lấy số liệu địa hình

Dữ liệu có ở <https://app.box.com/s/gdorjpvbrwc83s930lklp10g1usubyfh> (link tạm <https://qrco.de/bgVYbb>). Giải nén vào thư mục và chọn thư mục này để bố trí chạy MIKE.



Trên thực tế, thông thường căn cứ vào quy mô khu vực dự án và vị trí thu thập số liệu thực đo cũng như vùng bao phủ bởi số liệu địa hình mà ta khoanh vùng tính toán (vùng gạch chéo trên hình bên). Phạm vi số liệu địa hình (vùng tô mờ) thì không nhất thiết vuông vắn, và cạnh biên của vùng tính toán có thể là đường cong (xem §10). Ở bài thực hành này, do các điểm đo sẵn có (trong file KML của Google Earth, xem bài tập dưới đây) khá hạn hẹp nên ta sẽ khai thác thêm số liệu GEBCO.



ở đây) khá hạn hẹp nên ta sẽ khai thác thêm số liệu GEBCO.

Bài tập

Số liệu địa hình. Mở file KML thể hiện các điểm đo sâu của khu vực bằng Google Earth. Quan sát sự phân bố điểm đo trong Google Earth và phạm vi của số liệu: _____. Độ sâu đạt được đến bao nhiêu _____, so sánh với độ sâu quan sát khi di chuột trong Google Earth.

Mở luôn bộ số liệu thứ hai là GEBCO (tải về từ <https://download.gebco.net/>, nhập vào phạm vi kinh-vĩ độ: phía bắc 20.2, tây 106.2, đông 106.4, nam 20). Chọn File Format là ESRI ASCII. Sau đó bấm nút thêm vào giỏ hàng [Add to Basket], tiếp the [View Basket], và ở hộp thoại mới thì [Download your data]. nguồn số liệu không cho dưới dạng xyz mà dưới dạng ma trận ô độ sâu (chẳng hạn format *.asc). Một file dạng asc thì ngoài ma trận độ sâu còn có những thông tin khác như kích thước của từng ô và tọa độ gốc. Lưu ý rằng định dạng asc có thể chuyển sang xyz được. Độ phân giải của số liệu GEBCO này so với số liệu điểm đo ở file KML như thế nào?

Mở file địa hình xyz bằng Notepad++ (trong đó có các điểm độ sâu đúng như thể hiện trong file KML. Cột thứ ba là độ sâu, hai cột đầu là kinh-vĩ hoặc tọa độ X-Y theo lưới chiếu UTM. Có bao nhiêu điểm dữ liệu?

3 Download từ <https://notepad-plus-plus.org/downloads/>

Lưu ý:

Cần kiểm tra số liệu xem tọa độ ghi theo kinh vĩ hay hệ UTM?

Trong hệ UTM, bờ biển Việt Nam chủ yếu ở múi 48, chỉ có một phần nhỏ miền Trung (Phú Yên?) ở múi 49. Tọa độ X dao động khoảng > 500.000 m và tọa độ Y tăng dần từ Nam ra Bắc, giá trị khoảng 1-2 triệu m.

Có thể nhập số liệu này vào Excel để kiểm tra (lưu ý tách cột cẩn thận: Data → Text to Column → Delimiter - Space (hoặc đôi khi là comma)).

Lưu ý rằng *khác phần mềm Delft3D* (một bộ phần mềm thông dụng khác của Hà Lan), MIKE đọc z là cao độ (dưới nước số âm) chứ không phải độ sâu dương.

Một file xyz chỉ có 3 cột. Số liệu bắt đầu ngay từ dòng 1. Chấp nhận cách kí hiệu "lũy thừa khoa học" như 5.854E+05 (tương đương với 585400).

Một số trường hợp cần chỉnh sửa địa hình trong file XYZ: chuyển độ sâu sang cao độ, chuyển gốc cao độ, chuyển từ một tọa độ bình đồ địa phương sang tọa độ X-Y chuẩn của lưới chiếu UTM. Hãy chỉnh sửa số liệu trong Excel rồi copy paste vào Notepad++. Lưu file với tên mới có đuôi xyz trong thư mục đã chọn. (Nếu sử dụng Notepad nguyên bản trong Windows, trong khi đặt tên file phải kèm trong dấu nháy kép, chẳng hạn "diahinh.xyz".)

Ngoài nguồn số liệu GEBCO ở bài tập trên, ở vùng biển quanh Châu Âu còn có nguồn dữ liệu EMODnet, www.emodnet.ec.europa.eu/en/bathymetry, với độ phân giải cao hơn (30"). Một nguồn số liệu có độ phân giải cao (30 m), đó là SRTM, số liệu này chỉ bao phủ phạm vi trên cạn, nhưng vẫn rất cần thiết trong mô phỏng dòng ngập lụt vùng ven biển.

8. Nhập số liệu địa hình

Hãy chọn menu File → New → File..., hoặc bấm biểu tượng , hoặc nhấn phím Ctrl+N. Trong hộp thoại mới, phần bên trái chọn MIKE Zero, bên phải tìm chọn

 Mesh Generator, rồi click đúp hoặc nhấn Enter. Một cách khác là tìm trên trang Start Page, thẻ [[Marine]], mục  Data Processing rồi Mesh Generator. Ở hộp thoại mới bật ra, chọn Long/Lat (nếu như số liệu dưới dạng kinh-vĩ độ) hoặc Local Coordinates nếu dùng tọa độ X, Y (m). Một cách khác là bạn có thể chọn trực tiếp mã UTM phù hợp cho khu vực (như UTM-48 cho bờ biển Việt Nam). Ấn [OK]; một cửa sổ mới xuất hiện có lưới chiếu và tọa độ.

Chọn menu Data → Manage Scatter Data... Từ hộp thoại mở ra, ấn [Add...] Chọn file xyz đã lưu. Ở phía dưới kiểm tra thông tin: Files of type XYZ. Convert from [giữ nguyên Local Coordinates hoặc Long/Lat]. Các đơn vị Units of X, Y, Z thường là "meter"; hãy kiểm tra lại file số liệu. Sau khi ấn [Open] ta sẽ thấy file

đó hiện ra trong bảng danh sách. Ấn [Apply] và quan sát những con số thống kê được từ file số liệu (xem bài tập sau đây). Nếu cần, hãy ấn [Zoom] để đưa khung cửa sổ tới vùng có số liệu này. (Dĩ nhiên, bằng cách ấn tiếp [Add...] ta có thể bổ sung một tập số liệu mới (chẳng hạn một nhóm điểm khác ở lân cận vùng nghiên cứu.)

Bài tập

Tổng số điểm đo bằng bao nhiêu; so sánh với số dòng trong file xyz. Các phạm vi mặt bằng Xmin, Xmax, Ymin, Ymax của số liệu thế nào? Phạm vi cao độ thế nào (Zmin - Zmax)? Cao độ đã được chỉnh đúng chưa?

Đóng cửa sổ và quan sát những điểm đo mới tạo được. Sự phân bố các điểm này có giống trong Google Earth không? Về màu sắc, các điểm xanh ứng với nước sâu và điểm đỏ ứng với nước nông hoặc “trên bờ”. Để dễ quan sát, có thể bật chế độ tô màu bằng cách chọn menu Data → Contour Type → Shaded Contours. Để thấy màu tô theo cách này đã được làm “phớt nhẹ”, bởi vì mặc định áp dụng độ trong suốt 50% (có thể kiểm tra điều này từ menu Data → Contour Type → Transparency →).

Chỉnh sửa nếu thấy có chỗ điểm đo quá dày bằng cách ấn [Reduce Data]. Có 3 cách giảm điểm. Lựa chọn thứ nhất là số điểm nằm trong một ô lưới tam giác (“inside hull”). Lựa chọn thứ hai là số điểm trong mỗi diện tích định trước “Reference Area”. Lựa chọn thứ ba dựa trên khoảng cách điểm, với “Distance threshold” là khoảng cách tối thiểu 2 điểm gần nhau, chẳng hạn 100 (m). Đặt tên file địa hình mới (.xyz) vào Output Scatter File, có thể ấn [...] để chọn thư mục thích hợp, sau đó ấn [Reduce]. Ngược lại, vùng điểm quá thưa có thể “bổ sung điểm” (Add Scatter Data , trên thanh công cụ).

9. Quản lý lớp bản đồ

Trước đây khi chưa có các công cụ như Google Earth thì tính năng GIS (“bản đồ”) của MIKE giúp ích rất nhiều cho việc mô hình hóa vì qua đó ta xác định được vị trí đường bờ, tuyến công trình v.v. Ở ví dụ thực hành này vì đường bờ rất đơn giản và xuất hiện rõ trong số liệu xyz nên chức năng này chưa cần thiết ngay; nhưng với các vùng nước trong đất liền như sông, hồ... thì vị trí đường bờ rất quan trọng và cần tận dụng tính năng này của MIKE. Nếu đã có ảnh bản đồ giấy/ảnh vệ tinh của khu vực với dạng file JPG, PNG, GIF v.v. thì tiến hành các bước sau:

- Từ trong Mesh Generator chọn Options → Import Graphic Layers. Tạo một lớp ảnh mới  rồi chọn File... Trong mục Edit cần chỉnh các thông tin bao gồm tọa độ góc dưới phía trái của tấm ảnh (tọa độ Long/Lat hoặc XY của UTM). Khi lấy ảnh ta cần lưu ý chính xác tọa độ này) và bề rộng, chiều cao của ảnh (tính theo độ hoặc mét). Với Google Earth, việc

xác định tọa độ góc ảnh có thể thực hiện bằng cách bật lưới kinh vĩ (Show Grid) hoặc đánh dấu các điểm trên bản đồ và ghi lại tọa độ các điểm đó.

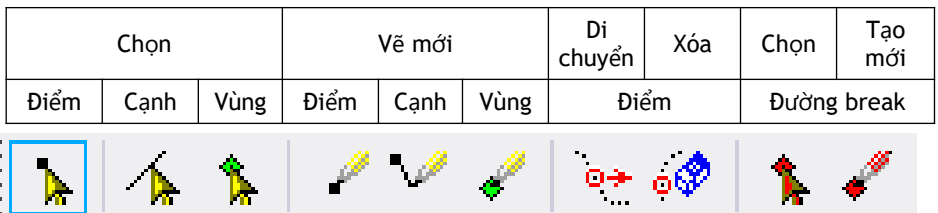
- Chuyển sang thẻ [[Overlay Manager]] xuống dưới cùng danh sách, chọn lấy lớp ảnh mới lập nên rồi đẩy lên trên cùng ().
- Khi đóng hộp thoại, nếu chưa nhìn thấy hình ảnh nền thì cần chọn Options → Workspace ... rồi nhập các tọa độ X,Y thích hợp vào.

10. Khoanh vùng tính toán

- Nếu để thiết kế công trình thì vùng tính toán phải rộng hơn hẳn công trình (cả về phía biển lẫn dọc ven bờ), để tránh tình trạng công trình gây nhiễu động thủy lực truyền ra biển.
- Vùng tính toán vẫn nằm trong phạm vi số liệu địa hình. (Thực ra là ngược lại, với một vùng tính toán định trước thì phải tìm cách thu thập số liệu địa hình thật nhiều, bao phủ được vùng tính toán.)
- Với mô hình truyền sóng bờ biển thẳng đơn giản như Hải Hậu, nên khoanh vùng chữ nhật có “cạnh” song song với bờ biển, 1 cạnh sát bờ biển cũng được. Biên gần sát bờ biển này đôi khi người ta tỉ mỉ vẽ đường khúc khuỷu như trên bản đồ, nếu là bến cảng thì điều này cần thiết nhưng với đường bờ tự nhiên thì không cần. Khi đó đường bờ sẽ được MIKE tự nội suy qua các điểm độ sâu địa hình gần nhau có độ sâu chuyển từ âm lên dương.

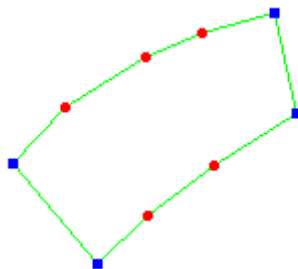
Các cạnh của vùng khoanh có thể là đường cong. Lưu ý tùy theo điều kiện địa hình người ta không nhất thiết khoanh 4 cạnh hình chữ nhật. Chẳng hạn trong 1 vịnh người ta có thể khoanh 2 “cạnh”: một cạnh cong phía biển và 1 cạnh zích zắc theo đường bờ.

Sử dụng tính năng trên thanh công cụ:



Bắt đầu khoanh vùng bằng việc chọn vẽ mới từng cạnh. Cách thao tác như sau: click vào biểu tượng thứ 5 trong hàng trên. Đưa con trỏ chuột ra góc vùng dự kiến. Click trái để bắt đầu, click trái tiếp ở mỗi điểm trung gian và kết thúc

bằng 1 click phải → Insert end node. Nếu ở điểm cuối bạn click trái rồi mới click phải sẽ **bị lỗi** trùng điểm. Một cạnh có thể là 1 đoạn thẳng hoặc 1 đoạn gấp khúc. Kết thúc một cạnh rồi thì có thể bắt đầu cạnh tiếp theo ở điểm cuối cạnh trước. Một ví dụ về miền gồm 4 cạnh như ở hình bên. Có thể thấy: Một cạnh có 2 điểm đầu vuông, màu xanh lam; các điểm trung gian của cạnh (nếu có) là những chấm tròn màu đỏ.



Trong quá trình thao tác, cũng có thể ấn giữ phím Ctrl và click trái để tạo một điểm mới trên cạnh, và khi đã chọn một (nhóm) điểm rồi thì có thể ấn phím Delete để xóa (nhóm) điểm đó. Tổ hợp phím Ctrl+Z cũng rất hữu dụng, đặc biệt khi bạn phát hiện rằng mình đã lỡ tay bấm tạo một điểm mới.

Dùng chuột có thể phóng to (Zoom in), thu nhỏ (Zoom out) bằng cách kích vào biểu tượng kính lúp  rồi khoanh các khung chữ nhật trên bản đồ. Ngoài ra, còn có thể di chuyển trên bản đồ bằng công cụ Pan , tuy nhiên mỗi khi di chuyển xong thì hiệu lực của Pan lại mất đi và ta lại trở về thao tác chỉnh sửa điểm/cạnh/vùng.

Lưu ý:

Lỗi phổ biến:

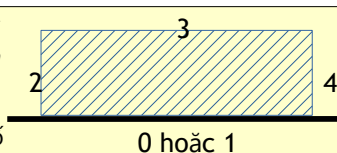
- 1) Thông báo “Triangulation failed due to duplicated point”. Do các điểm trên cạnh trùng nhau, thường là trùng 2 điểm cuối trên 1 cạnh. Phải xóa bớt điểm.
- 2) Không thấy xuất hiện lưới tam giác. Có lẽ do vùng khoanh bị “hở”. Hãy phóng to (Zoom) vào vị trí cần kiểm tra và chỉnh lại. Lưu ý các đoạn góc của vùng khoanh phải là đỉnh vuông màu xanh lam.

11. Đánh số biên

Lưu ý:

(Rất quan trọng; thiếu bước này thì dù lưới đã lập xong nhưng không thể đặt điều kiện biên để chạy chương trình được.)

Vùng có bao nhiêu cạnh thì có bấy nhiêu số hiệu biên. Số 0 và 1 dành cho biên trên đất liền. Số từ 2 trở lên đánh cho các biên dưới nước/ngoài biển.



Để đánh số, chọn 1 cạnh trên vùng. Click phải → Properties. Ở hộp thoại mới bật ra, chỉ cần điền số hiệu vào ô giữa (tức ô Arc Attribute) là được. Bấm [OK].

Lập lại với tất cả các cạnh biên của vùng. Các số hiệu này có thể quan sát thấy toàn bộ trên bản đồ bằng cách như sau. Dùng công cụ vẽ mới vùng ( , công cụ thứ 6 trên thanh ở \$10) rồi chấm một điểm xanh lục vào trong miền tính toán. Tiếp theo, chọn vùng này ( , công cụ thứ 3, rồi ấn vào hình điểm xanh lục mới tạo ra).

12. Tạo lưới

Ta sẽ tạo lưới tam giác trong phạm vi vùng vừa được khoanh. Chọn menu Mesh → Generate Mesh. Hộp thoại mở ra có 3 thông số quan trọng:

- Maximum element area [m²]: diện tích tối đa của một ô lưới. Nếu để tự động, MIKE sẽ “lười” và tạo ô lưới rất thô. Cần phải hạn chế diện tích lớn nhất này. Có thể tính xấp xỉ diện tích $\approx 0,85 \times \text{cạnh}^2$, nghĩa là nếu muốn có cạnh ô lưới 500 m thì phải nhập vào 213000 (m²). Riêng với hệ tọa độ kinh vĩ (LONG/LAT) thì bạn cần nhập vào diện tích tính theo độ vuông (deg²). Tùy theo vĩ độ của vùng dự án, 1 độ vuông có diện tích khác nhau, từ $1,23 \times 10^{10}$ m² (lớn nhất, ở xích đạo) đến $1,18 \times 10^{10}$ m² (ở vĩ độ 16, miền Trung Việt Nam), đến $0,88 \times 10^{10}$ m² (ở vĩ độ 45, các nước châu Âu).
- Smallest allowable angle [độ]: góc nhọn nhất của tam giác ô lưới, khuyến cáo không nên < 26, tam giác càng “nhọn” thì càng dở; hoàn hảo nhất là các tam giác đều (60 độ).
- Maximum number of nodes : số điểm tối đa trong lưới. Lần này là để MIKE không “chăm” tạo quá nhiều điểm, sẽ tính toán rất lâu.

Ấn [Generate] và ở phía dưới sẽ thông báo số ô (elements) và số điểm (nodes). Số nào nhiều hơn, tại sao?

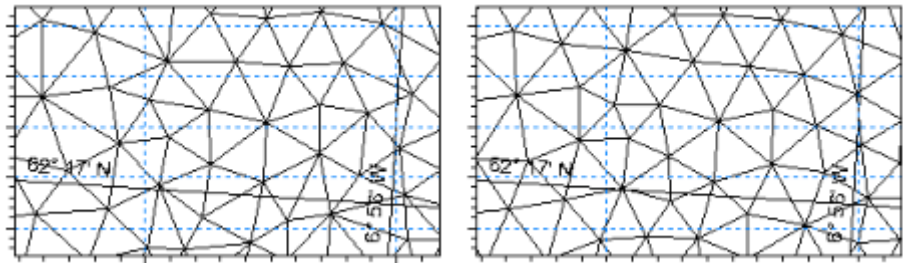
Bài tập

Độ phân giải lưới. Để xây dựng lưới cho vùng ven bờ có công trình đập mỏ hàn, người ta muốn có lưới mịn (cạnh ô lưới cỡ 10 m) thì cần nhập vào diện tích tối đa ô lưới bằng bao nhiêu? (Lưu ý rằng độ dài bao giờ cũng để hình dung hơn diện tích, bởi vậy trong các báo cáo kỹ thuật hãy cố gắng đề cập đến độ dài cạnh ô lưới.)

Đóng hộp thoại quan sát lưới tạo được, thường thì sát bờ do có độ khúc khuỷu thì ô lưới mịn, ra xa ô lưới sẽ thô hơn. Tuy vậy, để kiểm soát tốt hơn độ phân giải ta cần thực hiện kỹ thuật phân khu như ở \$13.

Làm trơn lưới: Chọn Mesh → Smooth Mesh. Làm trơn bằng cách lặp theo số lần (Number of iterations) là 10 chẳng hạn. Kết quả sẽ được lưới tam giác “đẹp”

hơn. Một ví dụ dẫn từ nguồn tài liệu hướng dẫn MIKE 21FM, so sánh giữa lưới chưa làm trơn (hình trái) và sau khi làm trơn (hình phải dưới đây; nguồn (DHI 2025)) cho thấy các tam giác phía dưới hình vẽ đã được điều chỉnh cân đối hơn.



Cuối cùng, nếu làm hỏng lưới, hãy chọn Mesh → Delete Mesh, rồi vẽ lại lưới.

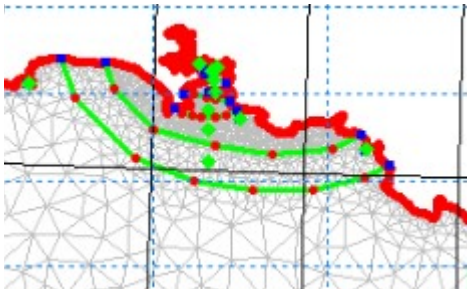
Đến giờ ta mới điều chỉnh các cạnh biên của miền tính toán. Nhưng đôi khi lưới được tự động tạo ra lại chưa vừa ý vì có những phần tử quá dẹt chẳng hạn. Khi đó, bạn có thể điều chỉnh hình dạng ô lưới. Chọn menu Mesh → Mesh Editing. Khi đó, một loạt các tính năng mới xuất hiện trên thanh công cụ.



Vị trí điểm nút có thể di dịch bằng cách nhấn biểu tượng thứ hai trong dãy trên. Các tính năng còn lại bạn có thể hình dung ra sau khi tự thực hành.

13. Phân khu lưới tính

Một quy tắc tính toán là kích thước ô lưới phải tương đồng với độ sâu. Ở chỗ nước sâu cần có ô lưới thô, còn ở chỗ nước nông – ô lưới mịn.⁴ Để thỏa mãn điều đó, độ phân giải lưới phải có sự chuyển tiếp từ mịn → thô từ bờ đi ra.



Một cách giải quyết điều này sẽ được trình bày ở §15, song bây giờ ta xét tới cách phân miền tính thành các khu riêng. Ví dụ trên hình vẽ có ít nhất 3 khu với độ phân giải khác nhau. Muốn vậy, trước hết phải kẻ thêm các đường phân chia miền tính thành mấy khu khép kín, kề sát nhau. Để kẻ đường phân chia này (hai đầu là nút vuông màu xanh lam, cần chuyển từ điểm màu đỏ. Kích chuột chọn điểm đỏ, kích phải, chọn Vertex to Node. Mỗi khu được đánh dấu một đa giác (cách làm như ở §11). Sau đó đặt thuộc tính độ phân giải cho từng khu tương tự

4 Thường độ dài cạnh ô lưới phải > độ sâu.

như ở §12. Cụ thể, ấn chọn dấu đa giác, click phải → Properties, bỏ tick “Exclude from Triangulation”, chọn độ phân giải theo m^2 hoặc theo độ² tùy theo hệ tọa độ dùng cho file xyz.

Một quy tắc thực dụng là các khu lân cận nhau thì diện tích ô lưới chênh lệch không quá 10 lần. Như vậy hai tam giác lớn và nhỏ của hai khu cạnh nhau có độ dài cạnh gấp nhau 3 lần là được. Các phiên bản mới của MIKE cho phép tự động hóa làm mịn lưới căn cứ vào thông tin độ sâu qua menu Data → Refine Mesh; tuy nhiên điều này chỉ thực hiện được sau bước nội suy triển điểm độ sâu như ở §14.

Cách phân khu này cũng được áp dụng trường hợp có đảo. Khi đó đảo là 1 đa giác không được chia lưới (click phải → Properties → Exclude from Mesh).

Lưu ý:

Hãy lưu lại file lưới (*.mdf). Sau này nếu đã có địa hình, nếu muốn làm mịn lưới theo yêu cầu mô phỏng có thể quay lại dùng file này.

Khi thử nghiệm các phương án tạo lưới khác nhau nên có thể lưu “Save as” ra file khác.

Tính năng Go to (📍) trong module Mesh Generator cho ta xem vị trí những ô lưới lớn nhất, nhỏ nhất, hay một khu vực nhỏ có tọa độ cụ thể, thuận tiện cho việc điều chỉnh lưới địa hình.

14. Triển địa hình lên lưới (Nội suy)

Để lưới dùng được cho việc tính toán thì trên lưới phải có thông tin về độ sâu. Cụ thể, MIKE sẽ “bắn” độ sâu từ các điểm đo lên các nút lưới (đỉnh tam giác).

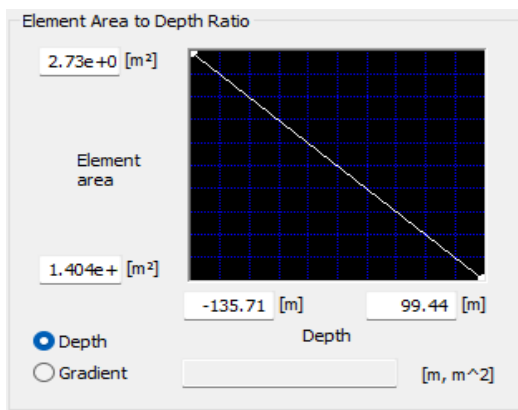
Chọn menu Mesh → Interpolate... Phương pháp nội suy thường được sử dụng là Natural Neighbour (nội suy từ trung bình độ sâu của các điểm lân cận, với trọng số cao hơn cho những điểm gần hơn). Một cách khác là Linear, trong đó độ sâu được lấy bằng tổ hợp tuyến tính (bình quân có trọng số độ sâu các điểm mẫu lân cận). Ngoài ra, có thể lựa chọn Extrapolate (ngoại suy ra ngoài phạm vi cụm điểm số liệu).

Sau khi bấm [Start] để tiến hành nội suy; hộp thoại sẽ thông báo tiến trình và khi thành công sẽ tạo nên bản đồ màu. (Lưu ý là màu tô trên lưới lúc này sẽ tương ứng với chú giải “Contour Legend”.) Hãy kiểm tra lại xem sự phân bố màu độ sâu đã hợp lý chưa. Bạn có thể hươ con trỏ chuột trên vùng và đọc độ sâu “z” hiện ra ở thanh trạng thái phía dưới.

15. Tinh chỉnh và hoàn thiện lưới

Đến đây ta lại có thể chỉnh lưới căn cứ theo địa hình đáy (cách này áp dụng

được với lưới tam giác không chứa phần tử hình tứ giác nào). Chọn menu Mesh → Refine Mesh → Depth/gradient ... Một hộp thoại bật ra, trên đó thể hiện mối liên hệ giữa diện tích ô lưới và độ sâu nước, hay diện tích ô lưới và độ dốc đáy (bed level gradient) - mà bạn có thể lựa chọn giữa hai chế độ này. Có thể thấy rằng độ sâu càng “âm” thì ô lưới càng lớn (thể hiện bằng đường dốc từ trái



qua phải). Bạn có thể chọn các trị số cụ thể cho mỗi liên hệ này, thậm chí còn có thể dùng mối liên hệ phi tuyến bằng cách uốn cong đường biểu đồ (kích đúp lên đường biểu đồ rồi di điểm nút mới xuất hiện). Với cách chỉnh như vậy, máy sẽ ước tính ra số ô lưới và số nút lưới hiện ra ở bên dưới. Sau cùng, hãy ấn [Refine] để thực hiện chỉnh lưới.

Lưu lại file lưới này bằng cách chọn menu Mesh → Export Mesh. Trong hộp thoại bật ra, chọn Export As Mesh File, và đặt tên trong hộp File name (bấm nút [...] chọn thư mục nếu cần). File mesh cũng là một file text, hãy dùng Notepad++ để xem xét cấu trúc của nó. Lưu ý đừng tùy ý chỉnh sửa file này, về sau MIKE có thể sẽ không mở file được nữa. Tốt nhất, nếu chỉnh sửa thì nên lưu 1 bản copy rồi mở thử trong MIKE xem được không.

16. Chỉnh địa hình

Đây không phải là “ăn gian” số liệu. Thường có 2 trường hợp cần chỉnh địa hình:

- Khi có nạo vét đáy biển hoặc đổ cát, xây dựng một số công trình ngầm.
- Khi số liệu đo có những điểm biến đổi đột ngột, không phù hợp với địa hình, địa mạo khu vực.

(Riêng trong mô đun flow (xem §31) mô phỏng ngập lụt vùng nước nông, vị trí biên mô hình rất dễ gây lỗi nếu có những bãi cạn; phải cắt bỏ những bãi cạn này để dòng chảy xuôi thuận.)

Cách chỉnh địa hình:

- Chỉnh thủ công: click phải → Select Area, khoanh vùng, chỉnh sửa số và kiểm tra lại bản đồ
- Chỉnh theo công thức toán: Sau khi khoanh vùng, chọn menu Edit → Calculator. Trong biểu thức này, CurrItem chính là độ sâu.

- Chinh xong click phải → clear selection. Kiểm tra xem địa hình mới xuất hiện có ổn không?

Một số biểu thức ví dụ (phần màu xám có sẵn rồi không cần gõ vào):

CurrlItem = -5 → san/cào bằng đến cao trình -5 m.

CurrlItem = **CurrlItem** + 2 → tôn cao đồng thời thêm 2 m.

CurrlItem = MIN(-15, **CurrlItem**) → đảm bảo cao trình từ -15 m trở xuống (chỗ nào nông hơn 15 m thì nạo vét xuống sâu đến 15 m).

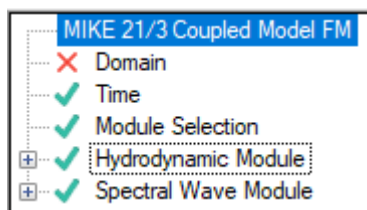
Bài tập

Chỉnh địa hình. Một cảng được xây dựng ven bờ. Phạm vi 2 km dọc bờ × 1 km vươn ra xa bờ. Đập phá sóng có cao trình đỉnh +3 m. Bể cảng được nạo sâu -15 m. Luồng tàu đảm bảo độ sâu 15 m ứng với mực nước = 0. Hãy chỉnh sửa địa hình rồi Export ra một file mesh mới.

Lưới tính toán (lưới không gian) là yếu tố quan trọng, đặc thù của các mô hình số trị. Lưới tính toán phải đảm bảo độ phân giải cần thiết (khi chạy mô hình, các đặc trưng sóng sẽ được tính toán trên lưới, mỗi ô lưới sẽ lưu giữ một giá trị cho đặc trưng sóng nhất định như năng lượng sóng, E). Khi tính toán trên lưới tam giác, những giá trị nào ở các ô lưới cạnh nhau sẽ liên hệ qua phương trình vi phân; bởi vậy các ô lưới càng “đều đặn” thì càng tốt (xem §13). Trong nhiều nghiên cứu tính toán thủy động (CFD), độ phân giải của lưới chia cũng là một thông số quan trọng ảnh hưởng đến sai số của mô phỏng.

III. Các mô đun tính toán

Thường trong tính toán mô phỏng, rất ít khi tác động thuần túy do sóng, mà dòng chảy cũng có đóng góp nhất định. Sự tham gia của dòng chảy rất quan trọng đối với những trường hợp vùng biển có vũng vịnh, lạch triều, vùng cửa sông. Dòng chảy đóng vai trò then chốt trong các quá trình biến đổi địa mạo, truyền chất ô nhiễm, và có tương tác với sự lan truyền sóng. Cụ thể, dòng chảy sẽ có tương tác với sự truyền sóng, độ sâu nước có ảnh hưởng đến chiều cao sóng. Nhằm hiện thực hóa điều này, MIKE đã đưa ra mô hình coupled (tạm gọi là “liên hợp”) giữa sóng và dòng chảy. Theo đó, trong mỗi bước thời gian, thông tin mực nước được đưa từ mô đun dòng chảy (HD) sang mô đun sóng (SW) để có được trị số chuẩn xác cho độ sâu nước. Vận tốc dòng chảy cũng được đưa sang mô đun SW để xác định tốc độ truyền sóng. Và ngược lại, chiều cao sóng H và số sóng k tính được từ mô đun SW sẽ được cấp trở lại



cho mô đun HD để xác định ứng suất phát xạ với vai trò một số hạng nguồn trong phương trình động lượng chi phối dòng chảy.

Để lập mô hình liên hợp, từ trang Start Page trong MIKE Zero, chọn thể “Marine”, chọn  “Sediment and Morphology” rồi phía dưới chọn  MIKE 21/3 Coupled Model FM. Bạn sẽ thấy trong danh mục các thành phần gồm có miền tính toán (Domain), thời gian (Time) và hai mô đun HD và SW.

Tuy vậy, ở phần III này sẽ ưu tiên trình bày mô đun SW mô phỏng sóng trên cơ sở lý thuyết đã xét ở phần I, ngoài ra cũng đề cập đến các tham số trong mô đun thủy động HD ở §35.

17. Mô đun sóng phổ SW

Để thiết lập mô đun SW, có thể kích biểu tượng  (New File). Ở hộp thoại mới, bên trái chọn MIKE21, bên phải chọn Spectral Wave FM. (Hoặc cũng có thể bắt đầu từ Start Page, chọn thể “Marine”, chọn “Wave”  rồi phía dưới chọn MIKE21 Spectral Wave FM.) Mô đun mới được mở ra có một danh sách các dữ liệu như trên hình. Các mục có dấu tick xanh lá cây là “ổn thỏa”, mục có dấu gạch chéo màu đỏ, nếu có, là “bị lỗi”. Cần sửa hết lỗi mới chạy được.



- Domain: miền tính toán, nhập file mesh. Minimum depth cut-off (những cao trình nào lớn hơn số này được thay thế bởi cao trình được chỉ định ở đây), chủ yếu để tránh tình trạng độ sâu quá nhỏ (vốn đặc biệt quan trọng với mô đun thủy động, §35). Dịch chuyển mốc cao độ (Datum shift) có thể cần đến nếu ta chưa xử lý địa hình qua Excel (§7). Kiểm tra số hiệu các biên (Boundary Names) và nếu cần thì đổi tên cho dễ hiểu.
- Time: thời điểm bắt đầu - tùy theo số liệu thực đo để kiểm định như thế nào, số bước tính toán v.v. Các số cần nhập vào là ngày giờ bắt đầu mô phỏng, số bước thời gian và độ dài bước thời gian tính toán. Với sóng gió cần thời gian mô phỏng để sóng phát triển hoàn toàn. Ví dụ chọn 10-15 bước thời gian, mỗi bước $\Delta t = 1$ giờ.

Chi tiết các yếu tố trong module sẽ được trình bày trong các mục sau.

18. Phương trình cơ bản

Các phương trình cơ bản (Basic equations) được xét theo hai khía cạnh:

- Theo phổ:
 - Phương pháp Directionally Decoupled Parametric, về cơ bản là tách hướng, tham số hóa theo miền tần số f và các biến được chọn là mô men bậc 0 và bậc nhất của phổ $N(f)$.
 - Phương pháp Fully Spectral tính toán theo phổ đầy đủ $N(f, \theta)$.
- Theo thời gian
 - Phương pháp Quasi-stationary không xét biến thời gian, mỗi bước tính đều được thực hiện theo phương trình ổn định.
 - Phương pháp Instationary tính toán bộ diễn biến theo thời gian.

Tùy theo yêu cầu tính toán khác nhau mà lựa chọn phù hợp.

- Nếu chỉ tính sóng lừng, chọn Directionally Decoupled.
- Nếu chỉ sóng gió, Fully Spectral.
- Nếu chọn mô phỏng 1 cơn sóng lớn (trường hợp cực hạn) hoặc nếu các cơn sóng riêng lẻ coi là độc lập, chọn Quasi Stationary.
- Các trường hợp khác:
 - Miền nhỏ: có thể chọn Quasi Stationary, kết quả chấp nhận được.
 - Miền lớn: chọn Instationary (tính lâu hơn nhiều).

19. Rời rạc về phổ

Ta biết rằng phổ sóng tại một địa điểm, một thời điểm (x, y, t) là hàm của 2 biến (xem hình vẽ mặt cong ở 54). Khi tính toán cần rời rạc phổ sóng này.

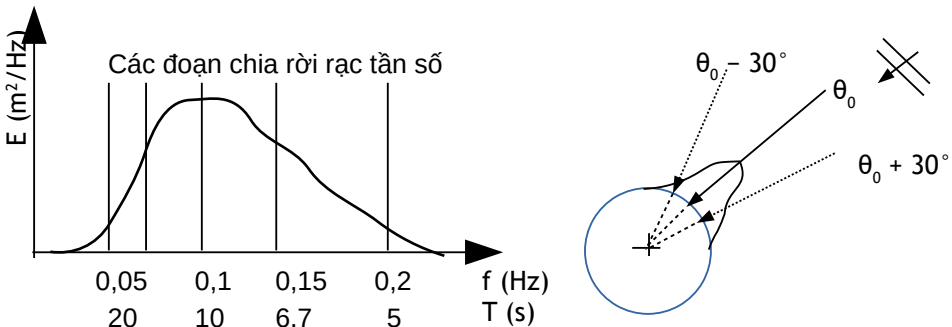
- Frequency discretization: nên chọn logarithmic. Công thức là $f_n = f_0 c^n$ với f_0 là tần số nhỏ nhất, n số đoạn chia, c là thừa số (factor). Cần xem sóng ở phạm vi chu kỳ nào để điều chỉnh các giá trị f_0 , c và n . Giá trị mặc định cho phép mô phỏng ở quãng 1,8 s $\rightarrow$ 20 s. So sánh với sóng ngoài khơi điển hình có chu kỳ từ 4 s $\rightarrow$ 25 s và sóng ở vùng nước khép kín thì 2 $\rightarrow$ 3 s. Nếu sóng có phổ tần số hẹp thì có thể giảm n và c . Một hình vẽ minh họa cho các đoạn chia có ở bài tập tiếp sau.
- Directional discretization: Lựa chọn full (cả vòng tròn, 360°) cho phép mô phỏng sóng từ nhiều hướng có sóng gió, sóng lừng kết hợp. Tuy nhiên

nếu chỉ có sóng lừng thì chọn một hình quạt bao lấy hướng sóng chính. Độ phân giải nên lấy $\Delta\theta = 5^\circ$. Với sóng gió, độ phân giải cho phép kém hơn $\Delta\theta = 10^\circ$. Theo tổng quan nghiên cứu của Goda (2000), với một hướng sóng chính trung tâm MWD là θ_0 , luôn có sự phân tán năng lượng sóng hai bên hướng θ_0 . Với sóng gió, có 85% năng lượng tập trung trong hình quạt từ $\theta_0 - 30^\circ$ đến $\theta_0 + 30^\circ$ (phân bố năng lượng như đường cong ở hình vẽ bài tập tiếp theo). (Lưu ý rằng góc sóng ở đây đều là góc so với hướng Bắc. Nêu rõ cách chọn $\Delta\theta_{\min}$, $\theta_{\max}$, $n\theta$.)

Như vậy qua phép rời rạc hóa, miền phổ sẽ được chia thành các phần tử năng lượng hình “cung vành khăn” (liên hệ với hình vẽ ở §4). Lưu ý rằng thao tác rời rạc hoá này được thực hiện trên mỗi điểm nút trong lưới tam giác bao trùm miền tính toán.

Bài tập

Rời rạc hóa phổ sóng. Với điều kiện sóng gió có chu kỳ sóng biến đổi từ 5 s đến 20 s và hướng sóng chính là đông bắc (NE), các phổ theo tần số và theo hướng như hình vẽ, hãy nhập các thông số thích hợp cho Discretization.



- Phân biệt sóng lừng và sóng gió: có thể tính gộp hoặc phân theo “ngưỡng tần số cố định” hoặc “ngưỡng tần số động”.

20. Kỹ thuật giải

Phương pháp thể tích hữu hạn (finite volume method) được dùng trong MIKE21 với các ô lưới lưu giữ biến ở vị trí trung tâm. Thông lượng được tính theo sơ đồ sai phân “đầu nguồn” (upwind) với độ chính xác bậc nhất.

Với tính sóng Instationary: tính với sơ đồ sai phân hiện (phương pháp Euler) để tìm giá trị của các biến lượng ở bước thời gian mới. Bước thời gian Δt phải thỏa mãn điều kiện CFL:

$$CFL = \left| c_x \frac{\Delta t}{\Delta x} \right| + \left| c_y \frac{\Delta t}{\Delta y} \right| + \left| c_\sigma \frac{\Delta t}{\Delta \sigma} \right| + \left| c_\theta \frac{\Delta t}{\Delta \theta} \right| \leq 1$$

Thường chọn giá trị $CFL = 0,8$. Giá trị Δt sẽ được chương trình tự động tính và do đó sẽ liên tục thay đổi khi mô hình đang chạy.

Với tính sóng quasi-stationary, có thể chọn phương pháp Modified Newton-Raphson. Nghiệm ổn định nhận được và quá trình lặp kết thúc khi đạt tới số lần lặp tối đa định trước, hoặc khi sai số giữa hai lần lặp kế tiếp đã giảm xuống dưới mức định trước.

21. Điều kiện mực nước, dòng chảy

- Trường hợp đơn giản nhất là tính toán trong điều kiện thiết kế với mực nước không đổi, chẳng hạn mực nước đỉnh triều. Khi đó, hãy chọn Specify water level variation và format là *Constant*. Nhập vào giá trị mực nước này.
- Trong trường hợp mực nước có biến đổi theo thời gian thì trong Specify water level variation hãy chọn *Varying in time, constant in domain*. Khi đó, số liệu quá trình mực nước này nên được trích xuất từ một mô hình HD đã chạy từ trước.
- Điều kiện dòng chảy cũng có thể được trích xuất từ mô hình HD đã chạy từ trước. Nếu không có kết quả mô phỏng HD, trong điều kiện bãi biển thẳng, dòng triều không đáng kể thì ở Current conditions chọn *No current variation*.
- Tùy chọn *Soft Start Interval* có thể hiểu như một khoảng thời gian “khởi động” để đặc tính dòng chảy biến đổi từ 0 đến giá trị chỉ định. Ví dụ, để mô phỏng động thái của dòng thủy triều mạnh chảy qua eo biển hẹp, ta có thể chọn thời gian khởi động kéo dài 2 ngày, song với bờ biển thẳng như ở Hải Hậu thì thời gian này sẽ ngắn hơn nhiều.

22. Gió

Gió đóng vai trò lực đẩy (forcing) trong mô hình, tuy không phải điều kiện biên nhưng tác động nhiều đến điều kiện thủy động lực. Trường gió có thể chọn không đổi, chỉ thay đổi theo thời gian, và thay đổi theo cả thời gian lẫn trong không gian. Với trường hợp sau này cần chỉ định file trường gió 2 chiều (trên lưới đều, dfs2, hoặc trên lưới tam giác, dfsu).

- Với mô hình sóng phổ toàn phần, chọn cơ chế tương tác khí quyển - đại dương hoặc là coupled (liên hợp: động lượng truyền từ gió → sóng

không những phụ thuộc vào gió mà vào cả sóng “độ gồ ghề của mặt biển”), hay uncoupled (động lượng truyền từ gió → sóng chỉ phụ thuộc vào tốc độ gió).

- Với mô hình thông số phổ, cơ chế tạo sóng chỉ dựa theo hệ thức kinh nghiệm (SPM 73, SPM 84, Kahma & Calkoen, Jonswap).

Với bài toán gió bão, trường gió nên được tạo bằng công cụ MIKE 21 Toolbox → Generating Wind Fields, xem thêm §43.

23. Băng phủ

Bạn có thể chọn giữa cách chỉ định bề dày lớp băng (ice thickness) hoặc nồng độ băng (ice concentration), và cung cấp bản đồ phân bố tương ứng. Khi chọn tính theo bề dày băng, thì độ chìm của băng sẽ được xét đến (khoảng 90% khối băng sẽ bị chìm do mật độ băng là 917 kg/m^3). Có thể xét đến độ gồ ghề mặt băng đối với trường dòng chảy, theo đó ta nhập vào độ nhám (roughness height, k_s), và từ đó máy sẽ tính ra số "Manning" cho băng: $M = 25.4 / (k_s^{1/6})$, khi tính toán dòng chảy.

24. Đặc tính của nước và không khí

Chính là mật độ nước và không khí, được chỉ định bằng hằng số hoặc thông qua hệ thức: theo nhiệt độ và độ mặn với mật độ nước, và theo khí áp, nhiệt độ, độ ẩm với mật độ khí.

25. Nhiễu xạ

Tính năng nâng cao này dựa trên phương trình dốc thoải để xấp xỉ khúc xạ - nhiễu xạ với pha sóng tách riêng. Holthuijsen khuyến nghị sử dụng tính năng này trong trường hợp bờ biển tự nhiên bị che chắn một phần bởi những hòn đảo, mũi đất, v.v. nhưng không áp dụng được trong hải cảng có sóng đứng hoặc ở cạnh vách đá dốc. Sử dụng các tham số mặc định là 1 bước làm trơn (Number of smoothing steps) và hệ số làm trơn (smoothing factor) bằng 1.

26. Chuyển năng lượng sóng

Khi sóng truyền đi, phổ sóng có thể biến dạng do tương tác giữa từng con sóng.

- Ở nước sâu: quadruplet interaction (tương tác 4 sóng): tính toán rất lâu, chỉ nên dùng cho vùng nhỏ.

- Ở nước nông: triad interaction (tương tác 3 sóng), hệ số tương tác mặc định là 0,25.

27. Tiêu tán năng lượng sóng

- Ma sát đáy (**Bottom Friction**). Có thể khai báo theo một trong các cách: hệ số ma sát (mặc định $C_{fw} = 0,0075$ m/s), hệ số ma sát không thứ nguyên (mặc định $f_w = 0,0212$),⁵ độ nhám Nikuradse (mặc định $k_n = 0,04$ m, tuy nhiên có thể giảm đi khi tính cho vùng gần bờ); kích thước hạt (mặc định $d_{50} = 0,00025$ m). Số liệu có thể đồng đều hoặc biến đổi trên miền không gian. Ma sát đáy tham gia như một số hạng nguồn S trong phương trình cân bằng năng lượng.
- Sóng vỡ (**Wave Breaking**). Hệ số Alpha kiểm soát tốc độ tiêu tán năng lượng (mặc định = 1); hệ số gamma kiểm soát độ dốc sóng (mặc định = 1). Hệ số gamma cũng có thể được tính theo công thức thực nghiệm. Theo Ruessink và nnk. (2003), $\gamma = 0,76kh + 0,29$. Theo Nelson (1994), $\gamma = F_c / (22 + 1,82F_c)$, trong đó $F_c = g^{1,25} H^{0,5} T^{2,5} h^{-1,75}$ là hệ số phi tuyến.

28. Thực vật

Khi mô phỏng truyền sóng, một phần diện tích đáy biển có thể có cây cỏ. Những vùng thực vật như vậy có thể được khai báo (qua lựa chọn “Zone map from input file”) bằng cách cung cấp file dạng lưới đều (dfs2) hoặc lưới tam giác (dfsu). Các lưới này không nhất thiết khớp với lưới tính toán, miễn sao bao trùm toàn miền tính toán là được. Việc nội suy sẽ được MIKE đảm nhiệm. Còn một cách khai báo khác đó là thông qua vật liệu (Material tab), nhưng cách này sẽ không được xét tới ở đây.

Những thân cây cỏ được coi là có dạng hình trụ với các tham số sau:

- chiều cao cây (Vegetation height [m]), thông qua đo đạc
- đường kính thân (Stem diameter [cm]), thông qua đo đạc
- mật độ cây (Vegetation density [m^{-2}]), thông qua đo đạc
- hệ số cản (Drag coefficient), một hệ số phi thứ nguyên cỡ bằng 1, là thông số để hiệu chỉnh / kiểm định mô hình.

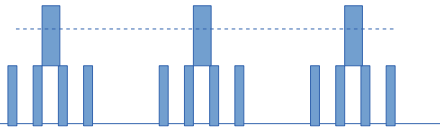
Từ đó MIKE tính được tác dụng giảm sóng cũng như (ở §35) là lực cản của thực

5 Hệ số ma sát sóng có thể được tính dựa theo độ nhám và biên độ dịch chuyển phần tử nước ở đáy, a_0 ; chẳng hạn $f_w = \exp(5,5(k_n/a_0)^{0,2} - 6,3)$.

vật lên trường dòng chảy. Các thông số kể trên được nhập vào bảng sẽ mở ra khi ta chỉ định Number of layers = 1.

Phương pháp tính lực cản chọn trong số các công thức của Suzuki hoặc Jacobsen. Đối với hệ số cản C_D , lại có ba công thức: C_D lấy bằng hằng số (Constant) hoặc biến đổi (theo Sanchez-Gonzalez hoặc Mendez và Losada).

MIKE còn cho phép tính toán phân bố thực vật theo từng lớp xếp theo phương thẳng đứng. Như ở trên, với Number of layers = 1 ta đã khai báo một lớp thực vật. Nhưng trong thực tế, các loài cây ngập mặn như *Rhizophora* với rễ chùm có thể phù hợp với hai lớp (Number of layers = 2) khi nước ngập lên lưng chừng thân cây như minh họa ở hình bên.



29. Bùn

Sự tồn tại lớp bùn đáy vùng ven bờ có thể ảnh hưởng lớn đến điều kiện sóng, thể hiện qua sự tiêu tán năng lượng sóng. Tính năng này chỉ áp dụng đối với chế độ tính toán phổ trộn vụn (Fully Spectral, xem §18).

Bùn có thể được chỉ định theo thuộc tính (chọn Type: Specified mud properties). Cần khai báo: độ dày lớp bùn (thickness), mật độ bùn khô (dry density). Các số liệu này thường được nhập là không đổi (constant) nhưng ta cũng có thể chỉ định rằng chúng biến đổi (varying) theo thời gian (time) cũng như trong không gian miền tính (domain). Bạn cũng cần khai báo độ nhớt động học của bùn (Viscosity [m^2/s]), đây là tham số quan trọng để kiểm định mô hình, vì hiệu ứng tắt dần của sóng rất nhạy đối với tham số này. Mật độ bùn cát (Sediment density, lấy bằng $2650 kg/m^3$) cần để tính ra mật độ tổng hợp (wet bulk density) của hỗn hợp bùn ướt. Sau cùng, cần khai báo hệ số tỉ lệ (scaling factor), một hệ số để kiểm định sự tiêu tán năng lượng sóng do lớp bùn lỏng.

30. Sóng bạc đầu (Whitecapping)

Một yếu tố gây tiêu tán năng lượng đó là sóng bạc đầu; hiện tượng này không phải là sóng vỡ mà có thể xảy ra ở vùng nước sâu. Hệ số C_{dis} chi phối tốc độ tiêu tán năng lượng, $DELTA_{dis}$ chi phối trọng số tiêu tán năng lượng trong phổ sóng. Thường chọn các giá trị mặc định $C_{dis} = 1,33$ và $DELTA_{dis} = 0,5$.

31. Điều kiện ban đầu

- Zero Spectra: ban đầu năng lượng sóng = 0 trên toàn miền

- Tính theo công thức kinh nghiệm: có thể theo JONSWAP, SPM 1973 nước sâu hoặc nước nông.
- Khai báo từ một file trường dfsu sẵn có: thường dùng cho hot-start, chạy từ kịch bản chạy dở trước đó.

32. Điều kiện biên

Có một số loại điều kiện biên trong MIKE:

- Biên đóng kín (closed boundary): dùng cho đất liền
- Biên sóng: biên ngoài khơi. Có thể theo một trong hai cách:
 - Khai báo theo tham số: H_s , T_p , MWD (hướng sóng trung tâm), và đặc trưng cho độ phân tán hướng sóng là chỉ số n (Version 1) hoặc độ lệch chuẩn về hướng, DSD (Version 2).
 - Khai báo theo phổ sóng: phổ năng lượng $E(f, \theta)$ hoặc phổ hoạt độ $N(\sigma, \theta)$, xem lại §4. Với phổ hoạt độ có thể lấy toàn bộ hình dạng hoặc các thông số momen phổ là m_0 và m_1 .

Dạng biên sóng có thể không đổi hoặc biến đổi (theo thời gian và theo dọc đường biên). Đơn giản nhất là dạng không đổi. Dạng này áp dụng cho trường hợp biết được một điểm quan trắc sóng ở nước sâu.

Phức tạp hơn một chút là biến đổi theo thời gian, khi đó phải nhập file số liệu dfs0. Phức tạp nhất là biến đổi theo dọc biên và cả theo thời gian (file số liệu dfs1). Cả hai file dfs0 và dfs1 cần được biên tập (chọn menu New → Times Series (dfs0) hoặc Profile Series (dfs1) → Blank Time Series hoặc Blank T1 Document); lưu ý phải khai báo các đặc trưng sóng theo tên gọi quy định: wave height, wave period, wave direction, spreading index, spreading factor (DSD). Chú ý chọn đơn vị phù hợp. Khi cửa sổ mới được mở ra, có thể nhập số liệu vào bảng (bằng cách thủ công hoặc copy paste từ Excel⁶). Một số công cụ giúp chỉnh lý số liệu (menu Edit → Select/Insert/Move/Delete Points) cũng như nội suy (Tools → Interpolation), cho phép điền giá trị trống ví dụ khi giá trị ở biên bị khuyết. Riêng khi biên tập dfs1, cần lưu ý chọn đúng tên đại lượng trên

6 Cũng nhờ Excel, có thể lập công thức quy đổi số liệu trên các cột và như vậy sẽ tiện hơn là dùng công cụ có sẵn (Tool → Calculator); khi đó phải chọn đúng cột số liệu đích (Target Item), toán tử (Operators), toán hạng (Operands), các hàm (Functions). Biểu thức đang xây dựng sẽ được viết ra ở ô “Current Expression”, và bạn có thể điều chỉnh nó.

thanh công cụ.

- Biên ngang (lateral): thường dùng để đặt 2 biên chạy theo mặt cắt ngang bờ. Lưu ý rằng biên loại lateral này không phát ra năng lượng sóng nên sẽ hình thành hai dải khuất sóng. Chính vì vậy phạm vi mô hình phải rộng để vùng khuất này không ảnh hưởng vào vùng dự án).

Bài tập

Thiết lập một kịch bản mô phỏng. Hãy tạo một mô phỏng mới, lưu với tên file KB_TK.sw. Các thông số điều kiện sóng ngoài khơi là: $H_s = 1$ m, $T_p = 8$ s, hướng sóng SE (bao nhiêu độ?). Hãy nhập ĐK biên phù hợp. Đồng thời, hãy chọn dạng mô phỏng (§18) cùng các thông số (§19-31).

Tiếp theo, hãy tạo điều kiện biên sóng theo số liệu sóng tái phân tích ERA-5 cung cấp bởi Copernicus, <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels?tab=download>. Chọn các đại lượng cần quan tâm: Chiều cao sóng ý nghĩa tổng hợp sóng gió+sóng lừng (Significant height of combined), Chu kì sóng trung bình (Mean wave period), Hướng sóng trung bình (Mean wave direction). Chọn ngày giờ cần trích (tần suất 1 giờ/số liệu). Tọa độ địa lý khu vực lấy theo §7. Lưu ý rằng độ phân giải của số liệu ERA-5 là 0.5° (liệu có điểm số liệu nào ngoài khơi Nam Định không?). Để tải dữ liệu, cần có tài khoản nên đến đây GV hướng dẫn sẽ cung cấp file số liệu đã download sẵn.

33. Chỉ định xuất kết quả

Do quá trình chạy MIKE 21 thường tạo ra khối lượng dữ liệu lớn, nên máy sẽ mặc định không lưu kết quả này. Muốn có số liệu kết quả, ta phải chỉ định qua mục Output. Có 3 dạng kết quả chính:

- Dạng điểm: để lấy số liệu diễn biến một yếu tố theo thời gian. Cần chỉ định tọa độ của một (hoặc một vài) điểm trích dữ liệu.
- Dạng tuyến: để lấy sự biến đổi một yếu tố theo một mặt cắt, hoặc lưu lượng qua một mặt cắt. Chỉ định tọa độ đầu và cuối tuyến cũng như nêu rõ bao nhiêu điểm trung gian trên tuyến đó.
- Dạng vùng: để lấy trường yếu tố theo thời gian. Chọn các yếu tố đặc trưng sóng để xuất kết quả. Quan trọng nhất có lẽ là H_s và vectơ vận tốc truyền sóng. Riêng đại lượng Radiation Stress (ứng suất phát xạ) rất cần thiết để làm đầu vào cho mô hình kết hợp sóng - thủy động lực.

Các kiểu file kết quả ứng với 3 dạng trên lần lượt là *.dfs0, *.dfs1 và *.dfsu. Đặt tên file cần lưu. Để chọn thư mục khi đang gõ tên file, hãy ấn Ctrl+D.

34. Khi thủy triều tham gia vào mô hình tính toán

Khác biệt của mô đun thủy động so với mô đun sóng là ở chỗ tính đến thủy triều.

Tidal potential (thể thủy triều): đó là *forcing* (lực đẩy) có nguồn gốc thiên văn tác dụng lên toàn khối nước vùng biển. Trong mô đun thủy động tiếp sau đây (§35), thể thủy triều bằng tổng các sóng triều từ các phần triều (constituents, mặc định 11 phần triều trong bảng, bạn có thể điều chỉnh bằng cách cung cấp file dữ liệu (khai báo Format: Specified from file). Mỗi phần triều thứ i có các thuộc tính sau: (Amplitude, H_i), hiệu chỉnh cho triều Trái đất (Earthtide, e_i), thừa số nút sóng (Nodal no., f_i), chu kì (T_i , Period, tính theo giờ hoặc ngày, Period scaling (s)), hệ số L_i , pha b_i .

Để tạo điều kiện biên là mực nước triều, có thể dùng công cụ dự báo triều dựa trên mô hình DTU10. Hãy chọn menu New → File. Bên trái chọn MIKE 21, bên phải chọn MIKE 21 Toolbox (.21t). Một cửa sổ mới mở ra, từ danh sách bên phải chọn Tidal rồi kích đúp vào Tide Prediction of Heights. Từ hộp thoại mới bật ra, đối với Setup Name hãy đặt một cái tên gợi nhớ, chẳng hạn như DK bien thuy trieu. Gõ Enter để chuyển sang bước kế tiếp, chọn cách dự tính dựa trên dữ liệu mô hình triều toàn cầu "Prediction based on global tide model data" rồi ấn [...] chọn file cấu hình sẵn có, global_tide_constituent_height_0.25deg.dfs2 ở thư mục Program Files\DHI\MIKE Zero\2024\Application Data\Tide_Constituents. Ấn [Next >]. Bây giờ ta được lựa chọn kiểu dự báo: cho từng địa điểm (xuất file .dfs0), cho một tuyến (.dfs1) hay cho miền (.dfs2, .dfsu). Dĩ nhiên, cách lựa chọn tự nhiên nhất cho các cạnh biên mô hình là dự tính triều theo tuyến, bởi vậy chọn Line series. Tiếp theo chọn ngày tháng bắt đầu và kết thúc chuỗi thời gian này (theo giờ quốc tế UTC⁷ cũng như thời khoảng Interval giữa các điểm đo. Ấn [Next >] rồi chọn file miền tính kiểu Mesh. Ấn [...] để chọn file. Chương trình sẽ tự phát hiện ra các cạnh bên của miền đó, tọa độ đầu cuối từng đoạn (căn cứ vào đó mà biết được là biên phía nào), cũng như số điểm trên từng cạnh. Kéo thanh trượt qua phải, ở cột Data file rồi đặt tên file thủy triều dự tính, ví dụ Thuy_trieu_bien_SE (đông nam) rồi ấn nút [...] ở sát cạnh đó để chọn thư mục phù hợp lưu file. Ấn [Next >] và quan sát thông tin tóm tắt trước khi ấn [Execute] để thực hiện dự tính thủy triều. Sau một lúc máy sẽ báo xong, ta ấn [Finish] để kết thúc.

35. Mô đun thủy động Flow-FM

Nếu không kể yếu tố thủy triều nêu trên (§34), thì mô đun thủy động (HD) cũng

7 Việt Nam ở múi giờ UTC+7.

có nhiều mục giống như môđun sóng (SW). Ở đây để cho gọn, chỉ nêu những điểm khác biệt so với môđun SW.

- Depth: chỉnh độ sâu theo mốc cao độ, có thể không cần thiết vì đã xử lý qua bằng Excel (tương tự cách đổi dấu số liệu địa hình đã làm ở §7.
- Flood and Dry: Khi mô phỏng ngập lụt, nghĩa là sẽ có một số ô lưới sát biển, vốn ban đầu khô, bị nước tràn vào. Các độ sâu khô (drying depth, h_{dry}) và độ sâu ướt (wetting depth, h_{wet}) nhằm tính đến tình huống này. Cần chỉ định $h_{dry} < h_{wet}$. Khi độ sâu nước h nằm giữa hai giới hạn này ($h_{dry} < h < h_{wet}$) thì cách tính toán sẽ thay đổi: những ô lưới này chỉ có tác dụng trữ nước chứ không cho nước chảy qua. Và khi nước tiếp tục cạn đi $h < h_{dry}$ thì ô lưới này được loại trừ khỏi mô phỏng.
- Bed resistance: với các công thức của Chezy/Manning, xem thêm ở phần dưới.
- Eddy viscosity: độ nhớt xoáy. Có thể chọn giá trị hằng số (cỡ từ 1 đến 10 m^2/s , giá trị lớn hơn ứng với vùng biển rộng và ô lưới thưa), hoặc tốt hơn là dùng công thức tính như Smagorinsky,
$$\nu_t = C_s^2 \Delta x \Delta y \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right)^2}$$
trong đó C_s là một hệ số còn u, v là vận tốc (trung bình độ sâu) theo các hướng x và y .
- Wave radiation: ứng suất phát xạ sóng, có thể lấy kết quả từ file dfsu lưu giữ biến Radiation Stress khi chạy MIKE SW. Sóng giữ vai trò như “lực” tham gia phương trình động lượng dòng chảy.
- Thực vật: Công thức tính khác đi so với §28. Cần nhập các thông số về độ cứng thân cây, và lưu ý rằng khi dòng nước chảy thì thân cây uốn cong và “độ cao hữu hiệu” của lớp thực vật sẽ hạ thấp xuống.

Các thông số vật lý thường dùng để hiệu chỉnh môđun Flow-FM là:

- Độ nhám ở đáy (Chezy hoặc Manning). Khi mô phỏng vùng biển có thể

✓	Hydrodynamic Module
✓	Solution Technique
✓	Depth
✓	Flood and Dry
✓	Density
✓	Eddy Viscosity
✓	Bed Resistance
✓	Vegetation
✓	Coriolis Forcing
✓	Wind Forcing
✓	Ice Coverage
✓	Tidal Potential
✓	Precipitation - Evaporation
✓	Infiltration
✓	Wave Radiation
✓	Sources
+	Structures
✓	Initial Conditions
✓	Decoupling
✓	Outputs

chọn số Chezy, thường lấy trong khoảng $30 - 50 \text{ m}^{0.5} \text{ s}^{-1}$ và trị số này không thay đổi nhiều theo độ sâu. Tuy nhiên, nếu độ sâu nước biến động nhiều thì nên dùng hệ số Manning⁸ $M = 1/n$ trong đó n là con số độ nhám tra trong các bảng thủy lực kênh hở thông dụng. Đơn vị của M là $\text{m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$, khuyến nghị mặc định là $32 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ với các bãi biển cát thường gặp (tương ứng $n = 0,03$). Khác với trường hợp tính toán cho vùng sông ngòi, khi số Manning đã được chuẩn hóa thành bảng (Chow, 1959), việc chọn trị số M để tính cho vùng biển sẽ linh hoạt hơn và đây là một tham số quan trọng để hiệu chỉnh/kiểm định mô hình. Một công thức liên hệ giữa hai đại lượng này là $C = M h^{1/6}$.

- Hệ số nhớt xoáy (công thức Smagorinsky). Giá trị mặc định là $C_s = 0,28$. Sự thay đổi hệ số này có thể làm thay đổi động thái của thủy vực ở chỗ có gradient vận tốc lớn như sát bờ vách đá hay nơi có dòng chảy mạnh. Một gợi ý khác của DHI [MIKE21-HR] là trong trường hợp ngập lụt do nước dâng trong bão, thay vì chọn Smagorinsky thì dùng hằng số xoáy dựa theo thông lượng (dạng Flux-based), vốn được ước lượng bởi công thức: $0,02 \Delta x \Delta y / \Delta t \text{ (m}^2/\text{s)}$.

Trong quá trình chạy mô đun Flow-FM, có thể xảy ra lỗi (“blow up”) khi trên miền xuất hiện vận tốc hoặc độ sâu quá lớn. Khi đó, cần kiểm tra trường dòng chảy/mức nước tại bước thời gian cuối cùng để nhận diện vị trí có giá trị dị thường và có thể cần chỉnh lại để địa hình không biến đổi quá gấp và đường bờ không quá khúc khuỷu.

Lưu ý:

Khác với mô hình sóng vốn tương đối “dễ tính”, thường kết quả mô phỏng sẽ hội tụ và cho kết quả trường sóng biến đổi đều đặn và “đẹp mắt”, với mô hình dòng chảy, lỗi “blow-up” dễ xảy ra hơn. Mô hình sóng cũng không “câu nệ” về chất lượng số liệu địa hình - địa hình có thể biến đổi gấp, địa hình có thể là bãi cạn chạy cắt qua đường biên ngoài khơi, hay là toàn bộ địa hình nằm ngập dưới nước - mô hình sóng vẫn chạy được. Nhưng với mô hình thủy động, biên ngoài khơi nhất thiết phải hoàn toàn ngập nước. Các đường biên đất liền, tốt nhất nên coi là vách đứng như “thành bể bơi” để nước không tràn bờ. Nếu phải xét bài toán ngập lũ, cần phải đặt điều kiện “ướt-khô” thích hợp.

36. Công trình

Thường thì kích thước công trình sẽ nhỏ hơn nhiều so với kích thước ô lưới, nên ảnh hưởng của công trình sẽ được mô phỏng bằng cách “phân lưới” (subgrid, hiểu theo nghĩa phần bên trong ô lưới). Có sáu kiểu công trình thông dụng: đập

8 Thật ra là hệ số Strickler, https://en.wikipedia.org/wiki/Manning_formula.

tràn (Weir), cống ngầm (Culvert), đê (Dike), cửa chắn (Gate), trụ cầu (Pier), và tuabin. Trong số đó, đập tràn, cống ngầm, đê, và cửa chắn có dạng tuyến và sẽ được khai báo như các đoạn thẳng trong miền tính toán. Mỗi loại lại có công thức thủy lực nhất định liên hệ giữa lưu lượng chảy qua công trình với đầu nước (hydraulic head), cùng với công thức tổn thất tương ứng. Trụ cầu và tuabin được mô phỏng qua lực cản (drag) kìm hãm dòng chảy mà ô lưới tại đó hiện diện công trình. Với trụ cầu, ngoài kích thước hình học, cần khai báo hệ số đường dòng (giá trị điển hình 1.02), để xét đến hiệu ứng gia tăng lực cản khi trụ cầu chắn một phần dòng chảy. Với tuabin, cần khai báo hệ số cản (C_D), hệ số nâng (C_L). Chi tiết có thể tham khảo thêm tài liệu (DHI 2025).

37. Tạo trường bão

Vùng biển Việt Nam chịu ảnh hưởng mạnh bởi bão nhiệt đới (các “xoáy thuận”) ngoài Biển Đông. Trường gió mạnh trong bão làm gia tăng đáng kể ứng suất tiếp trên bề mặt nước; mặt khác ở khu vực quanh tâm bão, khí áp hạ lại làm mực nước biển dâng lên một chút. Để mô phỏng chính xác trường gió bão trong MIKE, hãy chọn menu New → File. Trong hộp thoại mới, bên trái chọn MIKE 21, bên phải là MIKE 21 Toolbox (.21t). Từ cửa sổ mới, bên trái chọn mục Wind, Cyclone Wind Generation. Đây là công cụ phát sinh trường bão trên lưới đều, dựa vào số liệu đường đi (Best Track) của bão. Ở hộp thoại mới bật ra, chọn Model là mô hình hai xoáy, Holland - double vortex chẳng hạn. Trên Best track data, chọn ngày bắt đầu Start Date, độ dài bản ghi Number of Points. Trên mỗi hàng, cần điền vào 7 cột số liệu: thời gian (giờ) từ khi bắt đầu tính bão, tọa độ x của tâm bão, tọa độ y của tâm bão, bán kính gió lớn nhất (km), vận tốc gió lớn nhất (m/s), áp suất tại tâm bão (hPa hay mbar), khí áp tự nhiên (hPa). Sau đó đặt tên file lưới (.dfs2) ghi kết quả trường áp, trường gió.

Mặt khác, khi chọn các mô hình bão khác nhau (như Young-Sobey hay Holland - single vortex), có thể cần nhập vào một vài thông số khác. Về công thức tính bão, có thể xem tài liệu của Nghiêm Tiến Lam (2008).

IV. Thực hiện mô phỏng và đánh giá kết quả

38. Chạy chương trình

Chương trình chỉ chạy được khi các số liệu vào không bị lỗi (toàn bộ dấu tick đều có màu xanh). Tuy nhiên ngay cả khi này, vẫn cần kiểm tra lại xem bạn đã chỉ định việc ghi kết quả (Output) chưa.

Ngoài những yếu tố như dung lượng đĩa phải đủ để ghi kết quả tính toán v.v. thì quan trọng nhất là thời gian thực hiện tính toán. Với một hệ thống máy nhất định tốc độ tính toán phụ thuộc nhiều về độ phân giải lưới không gian và độ phân giải lưới phổ.

Khi thực hiện chạy (chọn menu Run → Start local simulation ...), một hộp thoại mở ra, trong đó có thông tin về chế độ ưu tiên cho CPU (giữ nguyên mức mặc định là bình thường Normal mode). Ở thẻ `[[Purpose]]`, có thể đặt nhãn hiệu kịch bản mô phỏng (ID), tên mô phỏng “Simulation Name” và mô tả chi tiết mục đích mô phỏng “Purpose and Description”. Ở thẻ `[[Result Folder]]`, bạn có thể chọn thư mục mặc định có tên “Result” để lưu kết quả, hoặc đặt tên mới hoặc lưu ở vị trí khác, ở một ổ đĩa khác v.v. thông qua lựa chọn Custom location và ấn `[...]`. Sau cùng, để chạy mô phỏng, ấn `[OK]`, phía dưới cửa sổ số liệu sẽ xuất hiện thanh hiển thị số % tiến trình chạy, trên thanh trạng thái sẽ hiện thời gian ước lượng còn lại đến khi chạy xong, số bước tính toán đã thực hiện và thời điểm tính toán trong mô phỏng kịch bản. Trên thanh trạng thái cũng có một hình vuông nhỏ màu đỏ, khi cần chấm dứt chạy mô phỏng, có thể ấn vào đó.

MIKE cho phép tính toán được thực hiện song song trên nhiều nhân CPU. Để làm điều này, trong hộp thoại vừa mở ra, chọn thẻ `[[Parallelization]]`. Trên đó, Number of cores là số nhân CPU phát hiện được trên máy. Với mỗi nhân sẽ có từ 1 đến 2 luồng tùy theo loại chip Intel (ví dụ i5 hoặc i7). Để đảm bảo hiệu năng vận hành thì khi chạy mô phỏng không được dùng quá tổng số luồng trong máy. Ví dụ có 4 luồng thì cùng lắm chỉ có thể dùng 2 luồng cho mỗi miền con (number of threads per subdomain) và có 2 miền con (number of subdomains).

Trong bản dùng thử “Demo” có hạn chế về số lượng ô lưới của miền tính. Nếu vượt quá số giới hạn này thì sẽ báo lỗi “CheckLicense: No. of nodes exceeded for demo-version” và “Abnormal completion”. Còn nếu quá trình chạy bình thường thì thông báo dưới cùng sẽ là “Normal run completion”. Trong cả hai trường hợp, có thể kiểm tra thêm thông tin trong file *.log cùng thư mục với file mô phỏng.

Bài tập

Hot-start. Chọn file xuất kết quả như ở §27. Chạy kịch bản KB1.sw. Sau khi chạy xong, thử lại kĩ thuật hot-start (§23) như sau: khai báo chính file dfsu kết quả vừa chạy ra. Sau đó đổi tên file kịch bản thành KB11.sw, đổi tên các file kết quả mới. Sau đó chạy lại rồi so sánh kết quả kịch bản KB11 với KB1.

Khi chạy song song, ta sẽ không thể xem trực tiếp file kết quả khi chương trình đang chạy. Đây là điều hạn chế so với cách chạy đơn luồng kiểu truyền thống. Sở dĩ có điều này vì khi chạy song song, chương trình sẽ chẻ dữ liệu thành nhiều mảnh, mỗi mảnh ghi vào một file rồi đến khi chạy xong chương trình mới ghép

các file thành phần này lại thành kết quả hoàn chỉnh.

39. Quan sát và biểu thị kết quả

Quan sát kết quả giúp ta nắm bắt được quá trình tổng thể và có thể giúp ta phát hiện các lỗi khi mô phỏng, nếu có. Chọn mục Output, tìm ấn nút [View] để xem kết quả dạng trường. Ở đầu thời đoạn tính toán, có thể mặt biển phẳng lặng nên ta cần phải tua thời gian (xem các nút chuyển trên thanh công cụ). Ngoài ra, cần chọn đúng đại lượng cần biểu thị như chiều cao sóng ý nghĩa (Significant wave height). Những đại lượng vô hướng như H_s sẽ cho kết quả bản đồ màu. Đại lượng vector sẽ cho biểu đồ vector mũi tên. Hiển thị vector đơn giản bằng cách kích phải chuột trên bản đồ màu rồi tick vào Vector. Tiếp theo, có thể chỉnh cách trình bày vector bằng cách chọn menu Data → Properties. Ở hộp thoại mới bật ra, từ danh sách phía trái, chọn Vector Overlay. Trong khung 2D Vectors, các thành phần vector (theo phương x, y, z) đã được chọn sẵn từ “1. component”, “2. component” và “3. component”, cùng với biểu thức toán được viết ra trong Projection. Có 2 cách bố trí vector như sau:

- Vectors at element mesh: mỗi ô có 1 vector, vùng gần bờ lưới dày các vector sẽ dày sít lại (chỉ nên dùng khi muốn soi vào một số ô lưới để đánh giá kết quả cục bộ hoặc nhận diện ra lỗi phát sinh khi mô phỏng).
- Vectors interpolated to structured mesh: vector dàn đều ra, khi đó ta cần chỉ định số vector sắp xếp theo trục ngang và theo trục dọc, ở các ô Mesh size: ____ x ____ vectors. Hình minh họa ở trang sau có khoang màu và vector dàn đều như vậy.

Tiếp theo, chỉnh lại vector bằng cách chọn tỉ lệ độ dài vector tối đa (Length of longest vector) bằng mấy lần độ dài cạnh lưới trung bình). Nhiều khi kết quả mô phỏng thể hiện những vector đặc biệt lớn. Để vẫn có thể hiện rõ những vector ngắn hơn, ta cần phải khống chế chiều dài các vector lớn bằng cách đặt ngưỡng Limit on vector length. Những vector này, khi hiển thị sẽ có độ dày đậm hơn; bề dày cụ thể của chúng được cho bởi *Thickness of vectors exceeding limit*. Còn bề dày vector thông thường được cho bởi *Thickness of normal vectors*. Hiển thị vector “mốc” trong chú giải bằng cách tích vào *Draw reference text*. Gõ vào tên đơn vị (ví dụ “m/s”) vào *Reference vector unit text*.

Hãy di chuyển và phóng to hình, nếu cần, để xem sự phân bố các yếu tố sóng trên hình, hướng truyền sóng (đặc biệt các hiện tượng khúc xạ, nhiễu xạ – đường truyền sóng có bị uốn cong không), kiểm tra điều kiện bên chỉ định đúng chưa (hướng sóng chạy xuyên qua biên như thế nào?) v.v.

Nếu cần, có thể trích xuất đường quá trình thời gian tại một điểm cụ thể chọn trên bản đồ (bằng cách click biểu tượng  sau đó click vào vị trí cần trích. Chọn Data → Time series by coordinates... Từ hộp thoại mới bật ra, ta có thể chỉnh vị trí tọa độ các điểm cần trích (nếu cần) (và dĩ nhiên ta cũng có thể bổ sung thêm những điểm ngoài các điểm đã khi báo ở mục Output từ trước⁹), rồi chọn [OK]. Trên bản đồ màu, các điểm đã chọn được đánh dấu bằng kí hiệu “t1”, “t2”, v.v. Và sau một chốc thao tác xử lý, chương trình sẽ hiển thị đường quá trình kiểu như biểu đồ ở §42. Để xuất được số liệu từ một biểu đồ kiểu như thế này, hãy click phải chuột, chọn Export to dfs0 và trong hộp thoại mới mở, đặt tên cho file cần lưu.

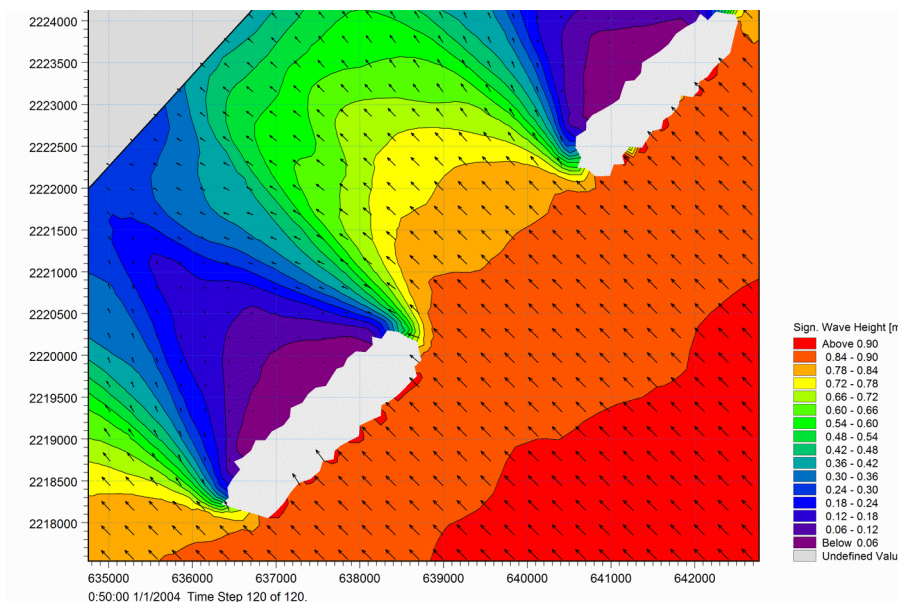
Trong ví dụ về mô hình sóng tĩnh tại, hãy quan sát để khẳng định rằng chiều cao sóng tăng dần và đạt đến một mức ổn định.

Nếu có kết quả trích xuất dạng tuyến, chọn Output → [View] và nhận xét phân bố sóng dọc theo tuyến này. Ví dụ, khi tuyến được chọn là mặt cắt ngang bờ thì hãy quan sát sự giảm dần chiều cao sóng từ ngoài khơi về gần bờ, sự đột ngột giảm Hs khi có sóng vỡ, v.v.

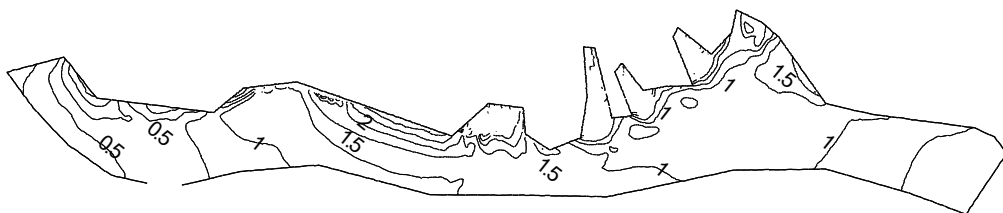
40. Biểu diễn kết quả

Biểu diễn kết quả là công đoạn rất quan trọng sau khi chạy xong mô hình. Nó cho phép diễn giải trực quan khối lượng lớn các con số được mã hóa trong file kết quả. Biểu diễn có thể trên màn hình hoặc in. Với cách thứ nhất, hiển thị trên màn hình, nhất thiết phải biểu diễn bằng màu sắc. Dù MIKE đã tự động hóa khâu này song bạn có thể phải chỉnh lại thang màu (Chọn Colors → Edit Current Palette ... Từ hộp thoại mới bật ra, ấn nút [ Back] để trở lại chỉnh sửa tiêu đề chú giải trên bản đồ, rồi ấn [Next >] để sửa thang màu. Nếu nhận thấy màu tô trên bản đồ chưa được trải đều trên thang màu thì ta có thể đặt lại các giá trị ở cột Value cho phù hợp, miễn là các giá trị trên cột này được xếp thứ tự giảm dần mà không cần cách đều nhau. Ví dụ, đặt các trị số 2.0, 1.8, ..., 0.2, 0.0 cho Hs để thể hiện khoảng biến động chiều cao sóng từ 0 đến 2 m, mặc dù có những nút lưới có Hs > 2 m). Nên vẽ viền đen giữa các khoang màu bằng cách View → Isolines. Xem ví dụ như hình biểu đồ trường sóng dưới đây. Sau khi căn chỉnh cân đối và rõ ràng thì chụp màn hình lưu file (ví dụ kiểu file *.PNG). Thậm chí, khi miền tính toán có gắn với tọa độ địa lý, ta còn có thể xuất các đường đồng mức ra file (View → Export Graphics → Save Isolines to Shapefile...)

9 Nếu đã có thể trích xuất bổ sung sau khi mô phỏng trường sóng như vậy rồi thì có khi nào ta cần phải khai báo Output tại những điểm cho trước không? Hãy thảo luận.



Để bổ sung về bối cảnh, có thể đưa bản đồ nền vào bằng cách chọn menu Data → Properties. Ở hộp thoại mới bật ra, từ danh sách phía trái, chọn Background Tiles. Ở Theme, chọn OpenStreet Map là tập dữ liệu cho phép truy cập mở. Tiếp theo, tick vào Draw Background rồi ấn [Apply], [OK]. Bản đồ nền này sẽ lấp đầy vào những khoảng trắng (đất liền) nơi chiều cao sóng H_s không xác định.

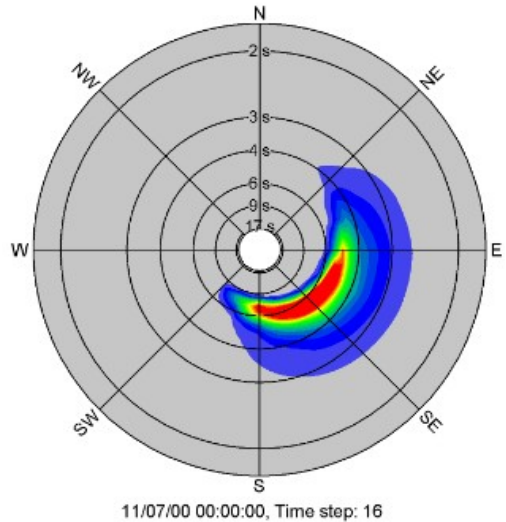


Với hình thức hai – bản in, hãy chọn các nét rõ ràng và sử dụng dạng file đường nét (file vector); ví dụ như hình các đường đồng mức mực nước (hình các đường đồng mức màu đen có đánh số ở dưới đây). Một số kiểu file là *.EPS, *.EMF. Một số công cụ phần mềm cho phép tinh chỉnh các file vector này, như Inkscape, LibreOffice Draw hay Adobe® Illustrator.¹⁰

10 <https://inkscape.org/>, <https://www.libreoffice.org/discover/draw/>, <https://www.adobe.com/learn/illustrator/web/what-is-illustrator>

Theo thiết lập mặc định trên bản vẽ, kích thước font khá nhỏ và nét vẽ mảnh. Để làm hình biểu đồ rõ ràng hơn, ta có thể tăng kích thước font qua menu View → Font... Riêng đối với biểu đồ dạng đường (§32), ngoài lựa chọn font (Options → Font..., ví dụ cỡ Size 16) ta còn có thể chọn nét vẽ (Options → Graphics..., trong đó ta chỉnh được độ dày nét (Thickness, ví dụ 0.5 mm), kích thước điểm chấm (Point size), màu sắc, v.v..)

Riêng với mô hình sóng thì kết quả từng điểm cũng quan trọng. Module MIKE 21 SW cho phép xuất kết quả phổ sóng; loại biểu đồ tròn này được vẽ bằng cách dùng Plot Composer. Đây là công cụ tạo nhiều dạng đồ thị. Chọn menu New → Mike Zero → Plot Composer. Chọn Insert Plot Object. Các dạng Basic Graphics cho phép các đồ thị cơ bản đã xem được trực tiếp từ kết quả. Ngoài ra, Advanced Graphics cho ta vẽ các đồ thị kết nối các yếu tố khác nhau; chẳng hạn biểu đồ hoa sóng, biểu đồ phổ, biểu đồ tương quan. Chất lượng bản vẽ tạo bởi Plot Composer cũng tốt hơn, cho phép tạo hình vẽ nét phục vụ in ấn.



41. Gỡ lỗi khi mô phỏng sóng và dòng chảy

Khi chạy mô đun sóng SW, nếu kết quả chạy ra có vẻ kì lạ, hãy kiểm tra lại:

- Lưới địa hình đã ổn chưa? Thường thì vùng nước nông, lưới phải dày sít hơn so với vùng nước sâu.
- Nếu mô phỏng sóng tĩnh tại, nên kiểm tra các file kết quả xem mô hình có hội tụ không và có chỗ nào có vấn đề phải chia lại lưới không?
- Tăng số bước lặp, Number of Iterations, để hội tụ được (khi có vẻ gần hội tụ)
- Thay đổi dung sai để cho phép hội tụ, nếu kết quả chạy có vẻ ổn định.
- Tắt bỏ tính toán nhiễu xạ để giảm hệ số làm trơn (trong khoảng từ 0-1, thử 0.9) và tăng số bước.
- Thay đổi điều kiện ban đầu thành 'Zero Spectra'.

Riêng với mô đun thủy động HD, hãy kiểm tra:

- Liệu ở phía biên ngoài biển có hòn đảo nào chạy cắt qua, hoặc có bờ đá dốc nào hiện diện ở sát đường biên không? (Tiềm năng gây ra lỗi blow-up, xem §35).
- Việc khai báo khô-ướt đã thỏa đáng chưa? (Xem §35).

42. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Trong khâu hiệu chỉnh, cần thay đổi giá trị các thông số để mô hình cho kết quả tính toán phù hợp với kết quả thực đo. Sự phù hợp (hay cố gắng để giảm thiểu sai số) được thể hiện qua nhiều tiêu chí. Các tiêu chí này, thường gọi là “metric” phải được quy định một cách nhất quán trước khi mô phỏng. Chẳng hạn trong tài liệu SWAN (2000) của Delft Hydraulics có đề cập những tiêu chí sau (với kí hiệu x_i là các số liệu thực đo, y_i là các số liệu tính toán, N là tổng số điểm số liệu, $\bar{x}$ là giá trị trung bình):

- Sai số dự tính:
 - Độ lệch: $\text{Bias} = y - x$ (Độ lệch dương (hoặc âm) cho thấy kết quả mô phỏng thiên lớn (hoặc thiên nhỏ) so với thực đo.)
 - Độ phân tán: Phương sai = $\frac{1}{N-1} \sum (y_i - x_i)^2$ (Cũng như MAE dưới đây, nhưng trừng phạt những cặp điểm có chênh lệch lớn giữa mô phỏng với thực đo)
- Sai số trung bình:
 - Sai số tuyệt đối trung bình $\text{MAE} = \frac{1}{N} \sum |y_i - x_i|$ (Đánh giá độ chênh lệch trung bình giữa mỗi cặp điểm số liệu mô phỏng với thực đo)
 - Sai số căn quân phương $\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (x_i - y_i)^2}$ (RMSE mang thứ nguyên giống với đại lượng đang xét nên sẽ thuận tiện để ta dễ hình dung hơn là phương sai.)
- Sai số tương đối
 - Chỉ số phân tán: $\text{SCI} = \text{RMSE} / |\bar{x}|$ (Cho phép so sánh giữa các chuỗi số liệu có giá trị trung bình khác biệt. Chẳng hạn, cùng là sai số $\text{RMSE} = 0,1$ m nhưng khi tính với sóng bão thì kết quả này tốt hơn là khi tính với điều kiện sóng lừng lúc biển lặng.)
 - Chỉ số hiệu năng mô hình: $\text{MPI} = 1 - \text{RMSE} / \text{RMS}_{\text{change}}$ trong đó $\text{RMS}_{\text{change}}$ giống như RMSE chỉ khác là các giá trị quan sát ban đầu x_{i0} được

dùng thay cho các giá trị tính toán y_i . MPI có ưu điểm hơn SCI ở chỗ dùng các thay đổi quan trắc được của sóng để đánh giá chất lượng của những thay đổi tính được.

- Chỉ số hiệu năng vận hành $OPI = RMSE / x_{i0}$
- Chỉ số phù hợp
 - Wilmott (1981, 1984, 1985) đề xuất các chỉ số phù hợp có xét đến tỉ số giữa sai số dự tính thực và sai số dự tính tiềm năng:

$$d_1 = 1 - \frac{\sum |y_i - x_i|}{\sum [|y_i - \bar{x}| + |y_i - x_i|]} \quad \text{và} \quad d_2 = 1 - \frac{\sum |y_i - x_i|^2}{\sum [|y_i - \bar{x}| + |y_i - x_i|]^2}$$

- Hệ số xác định:

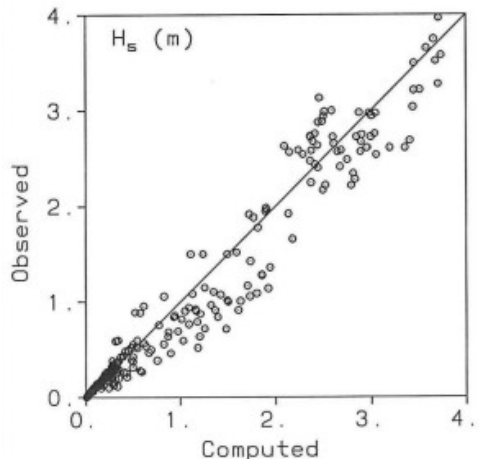
$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - x_i)^2}{\sum (\bar{x} - x_i)^2} \quad (\text{đại lượng thống kê này thể hiện mức độ khớp của mô hình hồi quy giữa } y \text{ và } x, \text{ tối ưu khi } R^2 = 1.)$$

Trong lĩnh vực thủy văn, hệ số này còn được gọi với tên hệ số hiệu năng Nash-Sutcliffe (NSE).

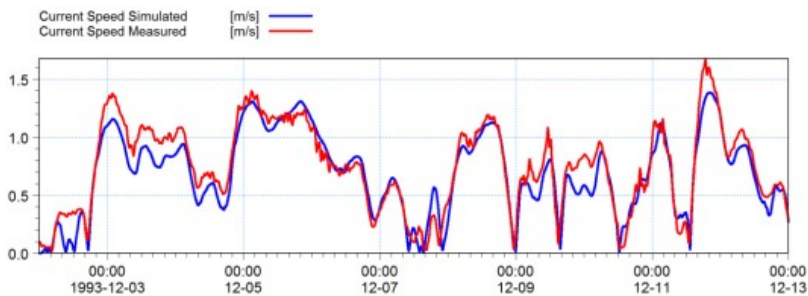
- Hệ số tương quan (Pearson) có thể tính theo công thức:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

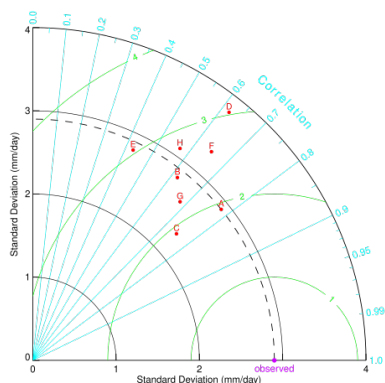
Hệ số tương quan tiến gần 1 thể hiện quan hệ chặt chẽ giữa kết quả đo và kết quả tính, và khi biểu diễn trên đồ thị điểm chấm x-y, sẽ có dạng tập trung sát vào một đường thẳng chéo góc 45°. Khi mô hình hóa chế độ sóng (wave climate) thường sử dụng cách kiểm định theo tương quan này, ví dụ Cavaleri & Sclavo (2006).



Khâu hiệu chỉnh/kiểm định còn có thể được hỗ trợ bằng quan sát. Như hình dưới đây (trích từ *Shoreline Management Guidelines*), cho thấy sự phù hợp khá tốt giữa tốc độ dòng chảy tính toán (đường đỏ) so với thực đo (đường xanh). Một biểu đồ kiểu như vậy có thể được tạo ra bằng công cụ Plot Composer (§38). Hơn nữa, cách này còn có giá trị về khía cạnh khoa học, để kiểm tra tính chặt chẽ của các mô hình toán truyền sóng (ngang bờ), ví dụ một mô hình cân bằng năng lượng sóng của Ruessink và nnk. (2003).



Đến đây có đôi điều lưu ý với đại lượng góc, khi con số đạt tới 360° thì lại trở về 0, điều đó có nghĩa là chênh lệch giữa 359° và 1° chỉ là 2° thôi. Để khắc phục điều này khi đi tính hiệu số $y - x$, có thể làm một trong hai cách. Thứ nhất, có thể lấy modulo của hiệu số này với 360. Thứ hai, thay vì hiệu số có thể lấy hàm sin của hiệu số để đảm bảo tính tuần hoàn của đại lượng góc.



Thường dùng trong hải dương học, có một loại biểu đồ tổng hợp đồng thời vài metric – đó là biểu đồ Taylor. Như ở hình bên,¹¹ biểu đồ cho phép ta so sánh hiệu năng một số mô phỏng (đánh kí hiệu từ A đến H) dựa vào tiêu chí hệ số tương quan Pearson (“Correlation”) và RMSE (các vòng đồng mức xanh lá cây 1, 2, 3, 4). Còn các cung phần tư nét màu đen (1, 2, 3, 4) là để chỉ độ lệch chuẩn. Điểm tối ưu chính là điểm thực đo được đánh dấu “Observed”.

Với mô hình sóng SW có thể chỉnh các thông số vật lý sau (ngoài các thông số toán học như độ phân giải lưới, độ phân giải phổ):

- Độ nhám đáy biển: tăng độ nhám ở vùng nước nông thường dẫn đến tăng độ tiêu hao năng lượng sóng, làm giảm chiều cao sóng.
- Hệ số sóng vỡ do nước nông (γ) làm giảm chiều cao sóng trong vùng sóng vỡ, còn α thì ảnh hưởng đến độ tiêu hao năng lượng. Ngoài ra, tham số ngưỡng độ dốc sóng vỡ cũng có thể được điều chỉnh (riêng đối với mô hình tham số tách hướng).
- Các tham số chi phối mức tiêu tán năng lượng do sóng bạc đầu, C_{ds} và δ , có thể được điều chỉnh (riêng đối với mô hình phổ toàn phần). Nếu vùng

11 Nguồn https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Primer_fig1a.svg

nước sâu nhận thấy sóng tính toán thiên nhỏ thì có thể giảm C_{ds} để thu được kết quả tốt hơn.

Trong giai đoạn kiểm định mô hình, ta lấy bộ thông số được chọn qua khâu kiểm định, sau đó chạy mô hình cho một thời đoạn khác và so sánh với số liệu thực đo; đồng thời đánh giá độ phù hợp. Mức độ sai khác giữa tính toán và thực đo có thể cho phép rút ra những nhận xét khả năng vận dụng mô hình vào bài toán cụ thể. Trong giai đoạn này, *không được phép* chỉnh thông số mô hình!

Bài tập

Metric. Tải về bảng tính, hoặc thao tác trực tuyến bằng tài khoản Google của bạn (link tạm <https://qrco.de/bgVYWF>, link đầy đủ https://docs.google.com/spreadsheets/d/1vTW0lh_MaJdYOheFqKsl_lj6Rspxkg6DnND7adbczGj0). Với hai cột Hs thực đo (cột B) và Hs tính mô phỏng (cột C), hãy xác định: sai số RMSE, hệ số xác định R^2 , hệ số tương quan r cũng như các chỉ số khác. Bạn có thể tính các bước theo gợi ý tiêu đề các cột D–L, song cũng có thể tự làm theo cách riêng của mình.



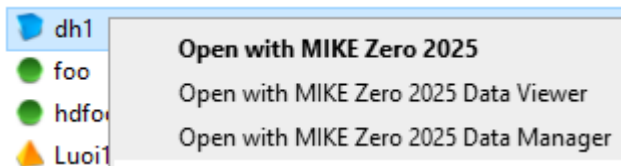
43. Chia kịch bản

Để chạy nhiều kịch bản ta cần xem xét: những thông số nào giữ nguyên (như địa hình?), những thông số nào thay đổi? Nếu cần, copy số liệu gốc thành nhiều thư mục, mỗi thư mục ứng với một kịch bản và chạy từng kịch bản. Kết quả cuối cùng được tập hợp lại và so sánh với nhau.

Lưu ý:

Đến đây, bạn có thể nghĩ rằng ta hãy sửa vài tham số cái đã, rồi lưu file với tên khác, bằng cách chọn menu File → Save As. Tốt thôi! Chỉ có điều, **ĐỪNG** dùng phím tắt Ctrl+Shift+S. Trong MIKE, tổ hợp phím này là Save All, sẽ ghi đè lên file thông số cũ đó!

Việc so sánh số liệu chuỗi (thời gian) có thể thực hiện dễ dàng bằng cách copy cột số liệu kết quả từng kịch bản vào Excel và vẽ đồ thị, hoặc dùng các thư viện trong ngôn ngữ lập trình như Python. Số liệu dạng *trường* có thể chồng xếp lên nhau, tính ra hiệu số và biểu diễn hiệu số này, chẳng hạn bản đồ hiệu số Hs giữa hai kịch bản. Để khảo sát kết quả, có thể click phải chuột vào tên file rồi chọn mở bằng Data Manager.



Lưu ý:

Dù có vẻ ngoài tương đồng, song mô đun Data Manager khác với Data Viewer (\$40)! Chỉ có Data Manager mới cho ta tính toán bằng công cụ Calculator trên các file *.dfs.

Sau đó bật menu Edit → Calculator. Mở thêm file dfs của kịch bản còn lại để có một biến khác, chẳng hạn tên là Var2. Trong mục biểu thức (Expression), gõ một biểu thức liên hệ giữa CurrItem-Var2 (cụ thể xem dưới đây). Ngoài ra, để tránh chồng lũy tích kết quả, cần chọn: Only Selected Timestep. Lưu ý rằng biểu thức tính được sẽ đề lên lớp dữ liệu cũ, vậy cần phải chọn File → Save As để lưu dữ liệu ra file mới.

Trường hợp	Biểu thức	Giải thích
Tính chênh lệch	CurrItem-Var2	Phép tính giữa hai đại lượng cùng thứ nguyên. Ngoài ra, phép nhân đại lượng với một hằng số cũng hợp lệ.
Tính tỉ số	(CurrItem-Var2)/void(Var2)	Biểu thức kết quả có dạng thứ nguyên khác với đại lượng CurrItem và do vậy cần dùng hàm void để khử thứ nguyên.

Bài tập

Viết biểu thức cho đại lượng cần tính toán. Giả sử CurrItem là lớp số liệu thành phần vận tốc u (hướng dọc trục x) còn Var2 là thành phần vận tốc v (hướng y). Hãy nhập biểu thức để tính ra: (a) thành phần ứng suất tiếp đáy hướng x và (b) thành phần ứng suất tiếp đáy hướng y . Gợi ý sử dụng công thức: $\tau_{bx} = \frac{1}{2} \rho C_D |u|u$, trong đó $|u|$ là độ lớn vận tốc.

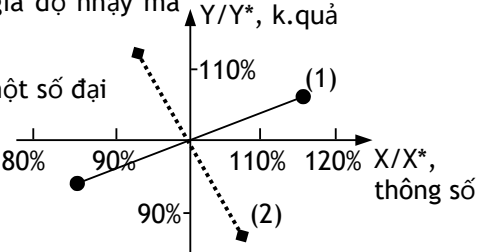
Bài tập

So sánh các kịch bản mô phỏng. Từ kịch bản 1 đã tính ở \$25, hãy bổ sung kịch bản 2 (bằng cách lưu file KB1.sw “Save as” với tên gọi KB2.sw), trong đó điều chỉnh các thông số: $H_s = 2\text{ m}$, $T_p = 10\text{ s}$, hướng sóng E. Đồng thời sửa tên file kết quả KQ2.dfsu. Chạy mô hình và so sánh kết quả với kịch bản trước. Lập ra một đại lượng là “chênh lệch phần trăm chiều cao sóng”, định nghĩa bởi $RelDiff = 100 \times (H_{sKB2} - H_{sKB1}) / H_{sKB1}$. Bạn sẽ viết biểu thức cho RelDiff trong Calculator như thế nào?

44. Kiểm tra độ nhạy

Các kịch bản cũng có thể được dùng để kiểm tra độ nhạy của từng thông số. Nhiều số liệu đầu vào, do độ bất định lớn, cũng cần được xem xét và điều chỉnh. Có ý kiến cho rằng đó cũng là những tham số để hiệu chỉnh, nhưng quan điểm của tôi là chúng nên được dùng để đánh giá độ nhạy mà thôi.

Kinh nghiệm trong chuyên ngành cho thấy một số đại lượng có độ bất định như sau (Soulsby 1997). Như vậy, với độ sâu nước chẳng hạn thì h có thể biến động từ 0.95 đến



1.05 lần độ sâu ban đầu (tức trường hợp “cơ sở”).) Do vậy, có thể mô phỏng thêm 2 lần với hai giá trị giới hạn này của độ sâu ($0.95h$, $1.05h$).

- độ sâu nước $h \pm 5\%$
- chiều cao sóng $H_s \pm 10\%$
- chu kì sóng $T \pm 10\%$
- hướng sóng $MWD \pm 15^\circ$
- vận tốc dòng chảy $U \pm 10\%$
- đường kính hạt $D \pm 20\%$

Bài tập

Phân tích độ nhạy. Biểu đồ của độ nhạy một thông số có dạng như hình vẽ, trong đó giả sử tại kịch bản gốc, với hai giá trị thông số $X1^*$ và $X2^*$ (ví dụ như chiều cao sóng và chu kì tại biên) ta tính được kết quả Y^* (ví dụ như chiều cao sóng tại điểm công trình ở sát bờ). Thực hiện chỉnh hai tham số $X1 \pm 15\%$ và $X2 \pm 8\%$ ta tính được các kết quả mới. Nhận xét về các độ nhạy kết quả theo sự thay đổi của từng thông số 1 và 2 ?

Bây giờ, hãy làm với số liệu cụ thể của KB2. Chọn thay đổi $X1^*=H_s$ và $X2^*=T_p$ đã đưa vào điều kiện biên (S32). Chọn Y là điểm cố định ở gần bờ và tính ra các độ nhạy.

Đến đây, có thể nhận thấy rằng, nếu như mỗi tham số cấu thành một chiều của không gian tham số thì kích thước không gian này đột nhiên tăng vọt khi các yếu tố bất định tham gia ngày càng nhiều. Sự bùng nổ đa chiều này được gắn với tên gọi “curse of dimensionality”. Để chạy nhiều kịch bản như vậy cùng lúc (với điều kiện có máy server hay *workstation* đủ mạnh), bạn có thể tổ chức một file “batch” để chạy một loạt mã lệnh trên nền Windows. Chẳng hạn, để chạy hai kịch bản, mỗi kịch bản trên 24 luồng (khối lượng tính toán rất lớn, xem S38):

```
start /w MzLaunch.exe "KB1.sw" -MPI 24 -x
start /w MzLaunch.exe "KB2.sw" -MPI 24 -x
```

Hoặc dùng cách tương tự với câu lệnh phù hợp trên môi trường Linux. (Hiện nay ở Linux không có những module như Data Viewer, song kết quả lưu trong file *.dfsu có thể được khai thác bằng các thư viện bên thứ ba như mikeio.¹² Đây là thư viện cung cấp nhiều tính năng hữu ích qua lập trình Python. Chẳng hạn, đoạn mã lệnh sau trích xuất trường mực nước từ file kết quả mô phỏng KQ.dfsu rồi vẽ biểu đồ màu:

```
dfs = mikeio.open("KQ.dfsu")
ds = dfs.read(items="Surface elevation")
da = ds["Surface elevation"]
da.plot()
```

12 <https://github.com/DHI/mikeio>

45. Công cụ phụ trợ

Như đã thấy, muốn có số liệu “chuẩn” phục vụ chạy mô hình, cũng như tổ chức trình bày kết quả đầu ra, thì cần thực hiện rất nhiều công đoạn xử lý. Chẳng hạn, trên cơ sở biết định dạng (format) các file xyz mà MIKE sử dụng, ta đã dùng Excel để chỉnh lý số liệu. Cách làm này có ưu điểm là tận dụng được kiến thức sẵn có của Excel mà người dùng có thể hiểu rõ hơn về số liệu. Nhưng cũng có cách làm khác là dùng các công cụ phụ trợ, có dạng biểu tượng “hình chóp da cam” 🍌 như Data Extraction, Plot Composer, MIKE 21 Toolbox.¹³ Đây là những tập hợp các chương trình nhỏ rất tiện dụng để xử lý số liệu của MIKE.

Data Extraction. Đây là công cụ trích xuất số liệu, nghĩa là tạo một “tập con” số liệu từ kết quả sau khi chạy một kịch bản.¹⁴ Chẳng hạn, từ một file kết quả dfsu, ta muốn: (i) Cắt ngắn kết quả này, chỉ lấy một số thời đoạn quan tâm, (ii) chỉ lấy một vùng nhỏ cần quan tâm trên toàn miền tính, (iii) chỉ định một đường và một số điểm trích số liệu mà ta chưa khai báo khi chạy; tất cả đều có thể thực hiện bằng Data Extraction. Về thao tác, ban đầu ta chỉ định file dfsu cần trích. Sau đó chỉ định cách rút gọn số liệu; việc này khá giống với chỉ định xuất kết quả ở §33.

Mike 21 Toolbox. Một số chương trình hữu ích trong công cụ này bao gồm: tạo sóng đều, sóng ngẫu nhiên (Generation of regular/random waves), tạo phổ sóng (Generate wave energy spectrum), tạo trường sóng trong bão (Generate cyclone wind field). Công cụ tạo trường bão đã được đề cập ở §37, còn tạo biên thủy triều thì ở §34.

Bài tập

Bài tổng hợp. Từ bộ tham số gốc ban đầu, hãy thực hiện thêm hai kịch bản mô phỏng khác nhau mà không nhất thiết giống như kịch bản đã chạy ở §42. Hãy tự tạo thư mục cho các kịch bản mới này. Vẽ một biểu đồ đẹp nhằm so sánh giữa các kịch bản, lưu các đồ thị này bằng công cụ Plot Composer, đồng thời đưa vào một file Word và ghi nhận xét ngắn gọn. Lưu file Word này vào trong thư mục dự án Project.

Tài liệu tham khảo

Cavaleri, L., Sclavo, M. (2006) The calibration of wind and wave model data in the Mediterranean Sea, *Coastal Engineering* **53**, 613-627.

13 Mesh Generation (§12) cũng có biểu tượng tương tự nhưng đó là công cụ quan trọng và được trình bày riêng. Plot Composer được trình bày ở §28.

14 Hiện nay khi có thư viện chương trình mikeio, tác dụng của Data Extraction đã ít nhiều bị lu mờ.

- Chow, V.T. (1959) *Open Channel Hydraulics*. McGraw-Hill.
- DHI (2025) MIKE 21 {Flow Model FM Hydrodynamic Module, SW Spectral Wave FM Module, Toolbox} User guide.
- DHI (2025) MIKE Zero {Mesh Generator Step-by-Step Training Guide, The Common DHI User Interface for Project Oriented Water Modelling, Preprocessing and Postprocessing} User Guide.
- DHI [MIKE21-HR] Hints and recommendations in applications with significant flooding and drying.
- Dyke, P. (2016) *Modelling Coastal and Marine Processes*. 2nd ed., Imperial College Press.
- Goda, Y. (2000) *Random Waves and Design of Maritime Structures*, 2nd ed., World Scientific.
- Hearn, C. (2008) *Dynamics of Coastal Models*. Cambridge.
- Holthuijsen, L. (2005) *Waves in Coastal and Oceanic Waters*. Cambridge.
- Lam, N.T. (2008) Tính toán nước dâng do bão. Hướng dẫn thực hành kĩ thuật bờ biển, ĐH Thủy lợi. Tài liệu lưu hành nội bộ.
- Lam, N.T. (2020) *Giáo trình Sóng gió*. Đại học Thủy lợi.
- Magar, V. (2022) Sediment transport and morphodynamic modelling for coasts and shallow environments. *Authorea Preprints*.
- Mangor, K., Drønen, N. K., Kærgaard, K. H., Kristensen, S. E. (2017) *Shoreline management guide-lines*, 4th ed., DHI.
- Nelson, R.C. (1994) Depth limited design wave heights in very flat regions. *Coastal Engineering* **23**, 43-59.
- Roelvink, D., Reniers, A. (2011) *A Guide to Modeling Coastal Morphology*, World Scientific.
- Ruessink, B.G., Walstra, D.J.R., Southgate, H.N. (2003) Calibration and verification of a parametric wave model on barred beaches, *Coastal Engineering* **48**, 139-149.
- Soulsby (1997) *Dynamics of Marine Sands*. Thomas Telford.
- UCAR (2013) Nearshore wave modeling. Online course, https://www.meted.ucar.edu/oceans/nearshore_wave_models/

Chỉ mục

Dưới đây liệt kê các thuật ngữ trong sách với số *trang* tương ứng.

Advanced Graphics.....	39	biểu đồ Taylor.....	42	Currltem.....	21, 44
bạc đầu.....	8	Boussinesq.....	6	Data Extraction.....	46
bản đồ nền.....	38	bùn.....	28	Data Manager.....	43
băng.....	26	Chezy.....	33	Delft3D.....	13
bão.....	34	chỉ số hiệu năng.....	40	discretization.....	23
Basic Graphics.....	39	chỉ số phân tán.....	40	Domain.....	22
batch.....	45	công trình.....	33	DTU10.....	31

ERA-5.....	30	MIKE 21 SW.....	6, 39	thư mục, tên.....	11
Excel.....	13, 29	mikeio.....	45	thực vật.....	27
finite volume.....	24	mức nước.....	9	thủy lực.....	34
font.....	39	năng thông.....	8	Toolbox.....	46
forcing.....	5, 10	nhân CPU.....	35	trích xuất.....	37
GEBCO.....	12	nhiệt độ.....	26	trụ cầu.....	34
Google Earth.....	12, 14	Nikuradse.....	27	tuabin.....	34
hệ số cản.....	27, 34	Notepad++.....	12, 20	upwind.....	24
hệ số tương quan.....	41	phân lưới.....	33	UTC.....	31
hệ số xác định.....	41	phần triều.....	31	UTM.....	13
hot-start.....	10, 29	phương sai.....	40	vector.....	36
Instationary.....	23	Plot Composer.....	39	Whitcapping.....	28
Iterations.....	39	Project.....	11	Wilmott.....	41
khí áp.....	34	Python.....	45	xoáy, Holland.....	34
khoanh vùng.....	15	Rhizophora.....	28	xyz.....	12
KML.....	12	RMSE.....	40	yêu cầu cấu hình.....	3
liên hợp.....	25	sai phân.....	6	Zero Spectra.....	39
Linux.....	45	sai phân hiện.....	24	độ bất định.....	44
mã lệnh.....	6, 45	Smagorinsky.....	33	độ lệch.....	40
MAE.....	40	Sóng vỡ.....	27	độ nhám.....	26 f.
Manning.....	26, 33	SRTM.....	13	độ nhảy.....	44
mật độ tổng hợp.....	28	SWAN.....	6, 40	độ sâu ướt.....	32
Mesh Generator.....	13	tải về.....	3	đường đồng mức.....	37
metric.....	40	thông lượng.....	9	ứng suất phát xạ.....	30, 32