NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG MÔ HÌNH HAI CHIỀU ĐỨNG CE-QUAL-W2 MÔ PHỎNG VÀ DỰ BÁO CHẤT LƯỢNG NƯỚC HỒ HOÀ BÌNH

TS. **Nguyễn Kiên Dũng**
Trung tâm Ứng dụng công nghệ và Bồi dưỡng nghiệp vụ khí tượng thủy văn và môi trường

Sau khi hồ Hoà Bình được xây dựng và đi vào vận hành từ năm 1990, chất lượng nước hồ có nhiều thay đổi. Đặc biệt trong bối cảnh hồ chứa thủy điện Sơn La đã hoàn thành và chính thức tích nước điều tiết vào tháng 9 năm 2012 thì việc nghiên cứu, dự báo sự biến đổi chất lượng nước hồ theo không gian và theo thời gian là yêu cầu thực tế hết sức cấp thiết.

Bài báo này xin giới thiệu quá trình ứng dụng mô hình hai chiều đứng CE-QUAL-W2 nghiên cứu sự biến đổi chất lượng nước hồ Hoà Bình theo chiều sâu, làm rõ hơn chế độ phân tầng nhiệt độ và nồng độ khí ôxi hòa tan trong nước hồ.

1. Đặt vấn đề

Hồ chứa Hoà Bình trên sông Đà với tổng dung tích 9.45 tỷ m^3, chiều dài 200 km, diện tích mặt thoáng hồ ứng với mực nước dâng bình thường là 208 km^2 bắt đầu hình thành từ tháng 1 năm1983, năm 1987 tích đầy nước, tháng 4/1994 phát điện tổ máy cuối cùng. Đây là hồ chứa dạng sông dài, hẹp và sâu, có độ dốc đáy lớn. Vì vậy nồng độ bùn cát và các yếu tố chất lượng nước không chỉ biến đổi phức tạp theo chiều dọc mà còn theo chiều sâu của hồ.

Để tìm hiểu chế độ phân tầng nhiệt, ô xi hòa tan, nồng độ chất lơ lửng trong hồ Hòa Bình, mô hình chất lượng nước hai chiều đứng CE-QUAL-W2 đã được nghiên cứu ứng dụng thử nghiệm.

2. Cơ sở lí thuyết mô hình CE-QUAL-W2

Mô hình CE-QUAL-W2 sử dụng các phương trình trung bình hướng ngang của chất lỏng chuyển động được chuyển đổi từ các phương trình ba chiều, được Edinger và Buckak xây dựng từ năm 1975 và liên tục được phát triển cho tới nay.

a. Phương trình động lượng

$$\frac{\partial UB}{\partial t}+\frac{\partial UUB}{\partial x}+\frac{\partial WUB}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial BP}{\partial x}+\frac{\partial\left(BA_x\frac{\partial U}{\partial x}\right)}{\partial x}+\frac{\partial B\tau_x}{\partial z} \quad (1)$$

Trong đó: U: thành phần tốc độ hướng dọc của tốc độ trung bình theo phương ngang (m/s), B: chiều rộng khối nước (m), X: trục hoành của tọa độ Cartesian với chiều dương hướng theo chiều dòng chảy, Z: trục tung của tọa độ Cartesian với chiều dương hướng xuống dưới, W: thành phần tốc độ theo chiều sâu (m/s), p: mật độ (kg/m^3), P: áp suất (N/m^2), Ax: hệ số phân bố động lượng hướng dọc (m^2/s), Tx: ứng suất tiếp trên một đơn vị khối lượng U (m^2/s).

b. Phương trình vận chuyển chất

$$\frac{\partial B\Phi}{\partial t}+\frac{\partial UB\Phi}{\partial x}+\frac{\partial WB\Phi}{\partial z}-\frac{\partial\left(BD_x\frac{\partial\Phi}{\partial x}\right)}{\partial x}-\frac{\partial\left(BD_z\frac{\partial\Phi}{\partial z}\right)}{\partial z}=q_\Phi B+S_\Phi B \quad (2)$$

Trong đó:

Φ : nồng độ thành phần trung bình hướng ngang (g/m^3), Dx: hệ số phân tán thành phần và nhiệt độ hướng dọc (m^2/s), Dz: hệ số phân tán thành phần và nhiệt độ hướng thẳng đứng (m^2/s), $q\Phi$ tỉ lệ khối lượng thành phần trong dòng chảy nhập hoặc phân lưu khu giữa trên một đơn vị thể tích (g/m^3s), $S\Phi$: số hạng nguồn cấp/nguồn tiêu động học đối với các nồng độ thành phần (g/m^3s).

c. Cao trình mặt nước

$$\frac{\partial B_\eta \eta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\int_\eta^h UB\,dz - \int_\eta^h qB\,dz \quad (3)$$

Trong đó: B η: độ rộng mặt nước thay đổi theo không gian và thời gian; η: vị trí mặt nước tự do, m; h: tổng độ sâu, m; q: lưu lượng gia nhập hoặc phân lưu khu giữa, m^3/s.

d. Áp suất thủy tĩnh

$$\frac{\partial P}{\partial z} = \rho g \quad (4)$$

Trong đó: g: gia tốc trọng trường, m/s^2.

e. Phương trình liên tục

$$\frac{\partial UB}{\partial x} + \frac{\partial WB}{\partial z} = qB \quad (5)$$

f. Phương trình trạng thái

$$\rho = f(T_w, \Phi_{TDS}, \Phi_{ss}) \quad (6)$$

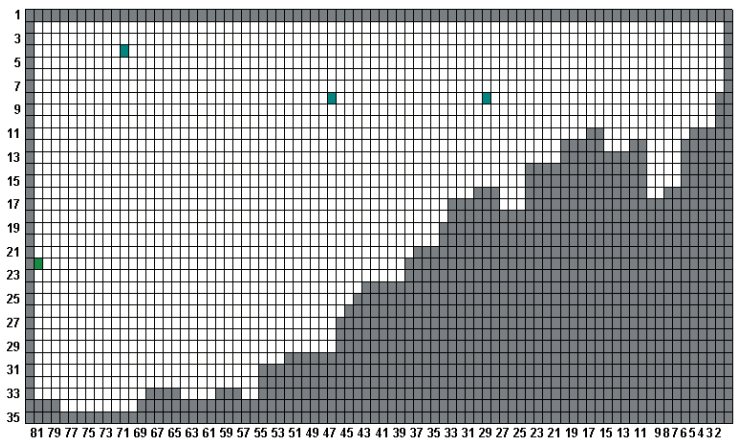
Trong đó: $f(T,\Phi_{TDS},\Phi_{ss})$ làm mật độ phụ thuộc vào nhiệt độ, tổng chất rắn hòa tan hay độ muối và chất rắn lơ lửng.

Các ẩn số trong 6 phương trình trên là: η, P, U, W, Φ và *p*. Phương pháp trung bình hướng ngang bỏ qua sự cân bằng động lượng hướng ngang, tốc độ hướng ngang và gia tốc Coriolit. Thuật toán giải 6 phương trình này tạo nên cấu trúc cơ bản của mô hình.

3. Ứng dụng mô hình mô phỏng và dự báo diễn biến chất lượng nước hồ Hoà Bình.

a. Lưới tính toán

Từ số liệu địa hình lòng hồ thực đo năm 1992, dựa trên những yêu cầu của mô hình, hồ Hoà Bình từ Tạ Bú đến cửa đập được phân chia dưới dạng lưới đều thành 82 đoạn sông với chiều dài mỗi đoạn là 2500 m được đánh số thứ tự từ 1-82 từ thượng lưu về hạ lưu và 35 lớp lưới với chiều cao mỗi ô lưới là 3 m đánh số thứ tự từ 1-35 từ mặt đến đáy. Trên đoạn sông nghiên cứu có 3 nhánh nhập lưu là Suối Sập nhập lưu tại đoạn sông số 29, Suối Khoáng tại đoạn sông số 47 và Suối Sang tại đoạn sông số 71.



Hình 1. Lưới tính toán sử dụng trong mô hình

b. Điều kiện biên và điều kiện ban đầu

Điều kiện ban đầu: Số liệu địa hình thực đo các mặt cắt ngang năm 1992 sau khi đã được chuyển đổi sang dưới dạng chiều cao và chiều rộng các ô lưới.

Điều kiện biên trên: Lưu lượng nước, nhiệt độ nước bình quân ngày và nồng độ các thành phần chất lượng nước thực đo tại mặt cắt Tạ Bú.

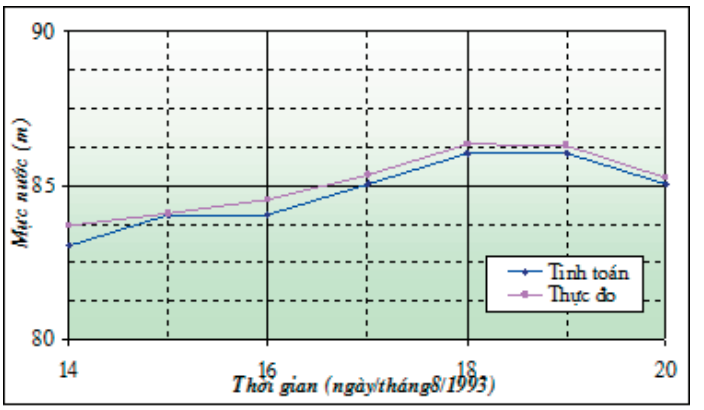
Điều kiện biên dưới: Lưu lượng nước bình quân ngày thực đo tại trạm Hoà Bình được giả thiết bằng lưu lượng xả qua đập.

Điều kiện nội biên: Lưu lượng nước của mỗi nhánh được lấy bằng 1/3 (3 nhánh) chênh lệch lưu lượng nước trung bình nhiều năm giữa Hoà Bình - Tạ Bú, nhiệt độ nước và chất lượng nước các nhánh lấy theo số liệu tại Tạ Bú.

Điều kiện biên bề mặt: Nhiệt độ không khí bình quân ngày, nhiệt độ điểm sương, tốc độ gió, hướng gió và độ che phủ của mây quan trắc 4 ốp tại trạm Hoà Bình.

c. Kiểm tra modul thuỷ lực

Mô hình CE-QUAL-W2 bao gồm hai module: thuỷ lực và chất lượng nước. Các kết quả tính toán từ modul thuỷ lực được sử dụng trong các tính toán thành phần chất lượng nước. Do đó, tính toán chính xác các yếu tố thuỷ lực sẽ góp phần quan trọng trong tính toán chất lượng nước. Module thuỷ lực được kiểm tra với các giá trị mặc định, số liệu thuỷ văn, khí tượng thực đo năm 1993. Từ file đầu ra trích ra giá trị mực nước từ ngày 14 - 20/8/1993 tại đoạn sông 43 tương ứng với mặt cắt trạm Vạn Yên so sánh với số liệu khảo sát tháng 8 năm 1993. Đánh giá mức độ phù hợp giữa tính toán và thực đo theo chỉ tiêu R2 của WMO.



Hình 2. Mực nước tính toán và thực đo tại Vạn Yên

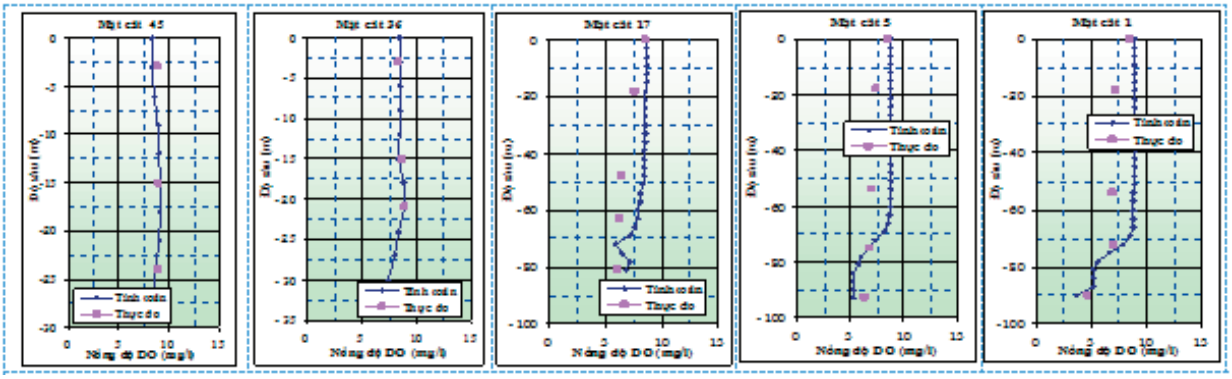
Kết quả tính toán cho thấy mực nước tính toán và thực đo khá phù hợp với nhau (Hình 1), chỉ tiêu R2 = 87,5% đạt loại tốt. Như vậy, lưới tính toán được thiết lập từ số liệu địa hình thực đo năm 1992 cùng với các thông số thuỷ lực lấy theo giá trị mặc định có thể sử dụng để tính toán các yếu tố thuỷ lực làm cơ sở tính toán chất lượng nước.

d. Hiệu chỉnh nồng độ ô xi hoà tan trong nước (DO)

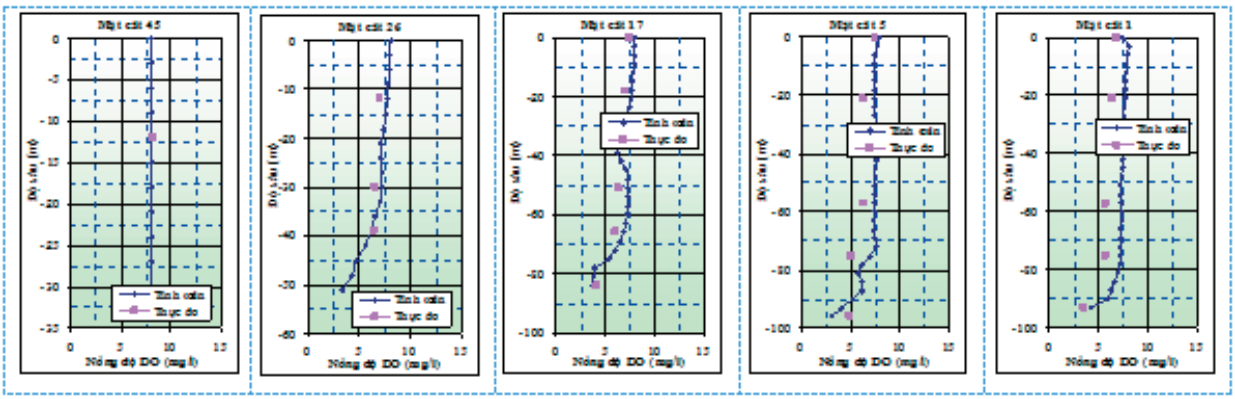
Trong mô hình CE-QUAL-W2, mô phỏng oxy hoà tan có hai thông số là tỉ lệ nhu cầu ô xi bùn cát (SOD) đối với mỗi đoạn sông tính bằng g/m^2/ngày và thông số nồng độ ô xi sử dụng để chuyển đổi giữa quá trình ô xi hoá và quá trình ưa khí đối với chất dinh dưỡng và tảo. Trong báo cáo này chỉ hiệu chỉnh thông số đầu tiên đó chính là lượng ô xi bổ sung hay bị tiêu tán đi trong mỗi đoạn sông. Số liệu của 3 lần khảo sát độc lập vào 12/1992, 8/1993 và 1/1994 được sử dụng để hiệu chỉnh. Lấy các mặt cắt 45, 36, 17, 5 và 1 tương ứng với các đoạn sông 12, 21, 33, 51, 69 và 79 làm các mặt cắt kiểm tra. Quá trình hiệu chỉnh được thực hiện lần lượt đối với từng mặt cắt từ thượng lưu xuống hạ lưu theo phương pháp tối ưu hoá đã xác định được bộ thông số tối ưu của mô hình như sau:

- Các đoạn sông từ 02-12: SOD = 1 g/m^2/ ngày
- Các đoạn sông từ 13-21: SOD = 3 g/m^2/ ngày
- Các đoạn sông từ 22-33: SOD = 3 g/m^2/ ngày
- Các đoạn sông từ 34-51: SOD = 4 g/m^2/ ngày
- Các đoạn sông từ 52-69: SOD = 2 g/m^2/ ngày
- Các đoạn sông từ 70-79: SOD = 2 g/m^2/ ngày

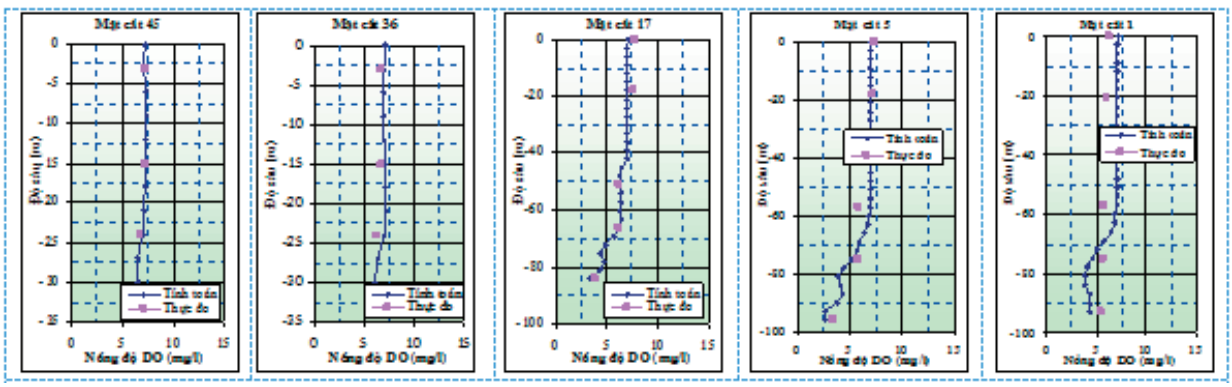
Với bộ thông số trên nồng độ ô xi hoà tan tính toán và thực đo tương đối phù hợp với nhau, sai số tuyệt đối trung bình mặt cắt nhỏ nhất là 0,49%, lớn nhất là 24,68%. Đối với các mặt cắt thượng lưu, kết quả tính toán và thực đo rất phù hợp, sai số tuyệt đối rất nhỏ. Tại khu vực trung và hạ lưu, mô hình cũng đã thể hiện được sự phân tầng nồng độ ô xi hoà tan. Tuy nhiên, phân bố DO theo chiều sâu chỉ phù hợp một cách tương đối. Kết quả tính toán và thực đo được thể hiện trong các hình 3, 4, 5.



Hình 3. DO tính toán và thực đo tại các mặt cắt kiểm tra tháng 12 năm 1992



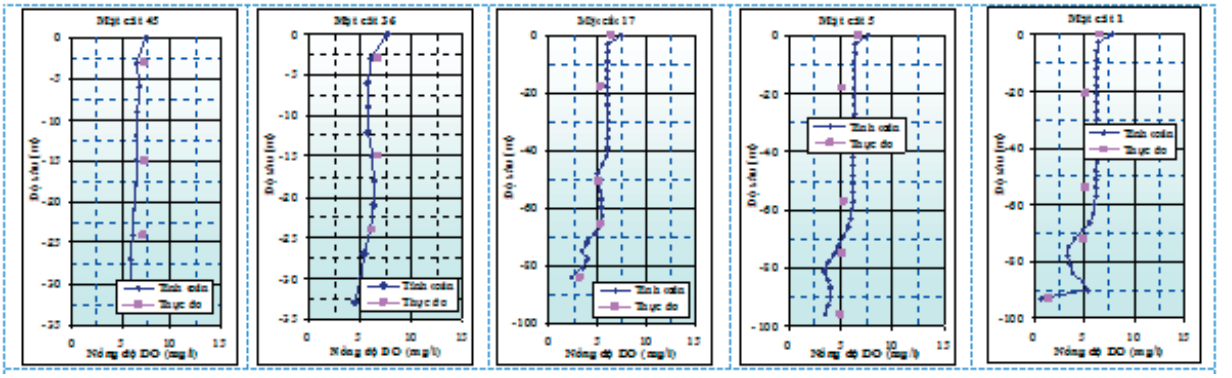
Hình 4. DO tính toán và thực đo tại các mặt cắt kiểm tra tháng 8 năm 1993



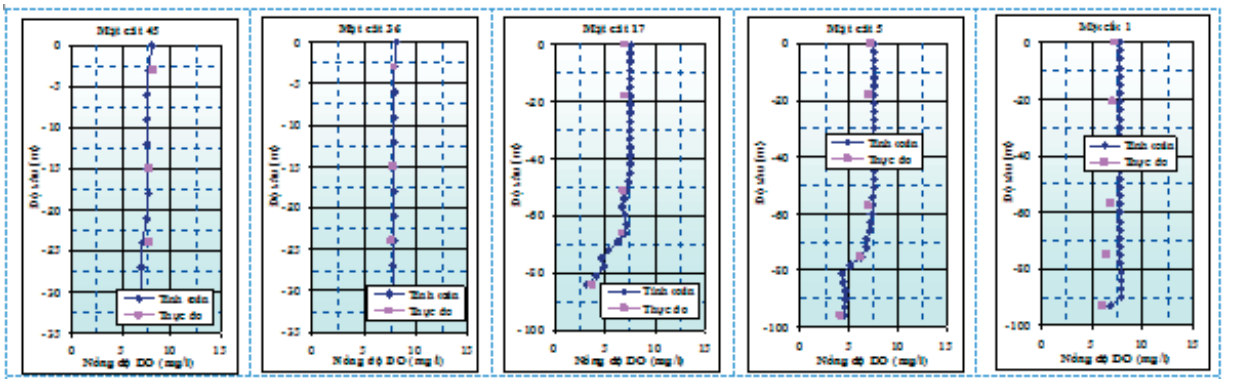
Hình 5. DO tính toán và thực đo tại các mặt cắt kiểm tra tháng 1 năm 1994

e. Kiểm nghiệm nồng độ ô xi hoà tan

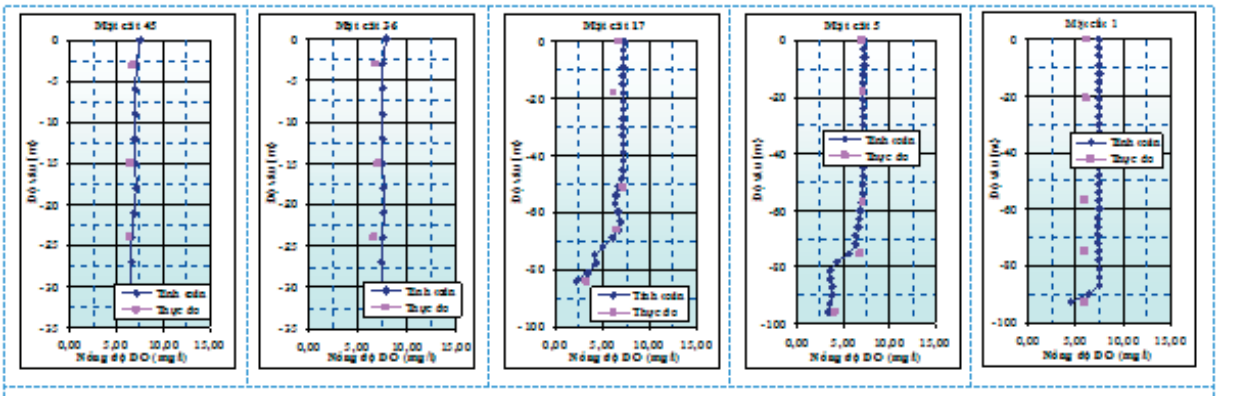
Để kiểm tra mức độ ổn định của mô hình với bộ thông số đối với DO, số liệu khí tượng, thuỷ văn, chất lượng nước thực đo vào ngày 16/12/1995, 15/12/2000, 15/12/2004 được sử dụng để kiểm nghiệm. Từ file đầu ra trích ra số liệu tại các đoạn sông tương ứng với các mặt cắt 45, 36, 26, 17, 5 và 1. Kết quả tính toán cho thấy đường phân bố DO thực đo và tính toán tại các mặt cắt tương đối phù hợp. Sai số tuyệt đối trung bình các mặt cắt dao động trong khoảng 0,4% đến 17,25%. Quá trình kiểm nghiệm cũng cho thấy, mô hình với bộ thông số mô phỏng DO đã xác định được cho kết quả tương đối ổn định.



Hình 6. DO tính toán và thực đo tại các mặt cắt kiểm tra tháng 12 năm 1995



Hình 7. DO tính toán và thực đo tại các mặt cắt kiểm tra tháng 12 năm 2000



Hình 8. DO tính toán và thực đo tại các mặt cắt kiểm tra tháng 12 năm 2004

Sự sai khác này không loại trừ cả các nguyên nhân chủ quan và khách quan. Trong khi hiệu chỉnh đã đồng nhất giá trị SOD của tất cả các đoạn sông giữa các mặt cắt khống chế mà không tách rời từng đoạn sông riêng lẻ. Hơn nữa, DO là yếu tố được đo ngay tại hiện trường nên chắc chắn sẽ không tránh khỏi sai số. Tuy nhiên, với bộ thông số tối ưu đã xác định được có thể sử dụng đủ tin cậy trong việc sử dụng mô hình để tính toán và dự báo DO cho hồ Hoà Bình đồng thời làm cơ sở cho việc tính toán các thành phần chất lượng nước khác.

f. Dự báo diễn biến chất lượng nước hồ Hoà Bình

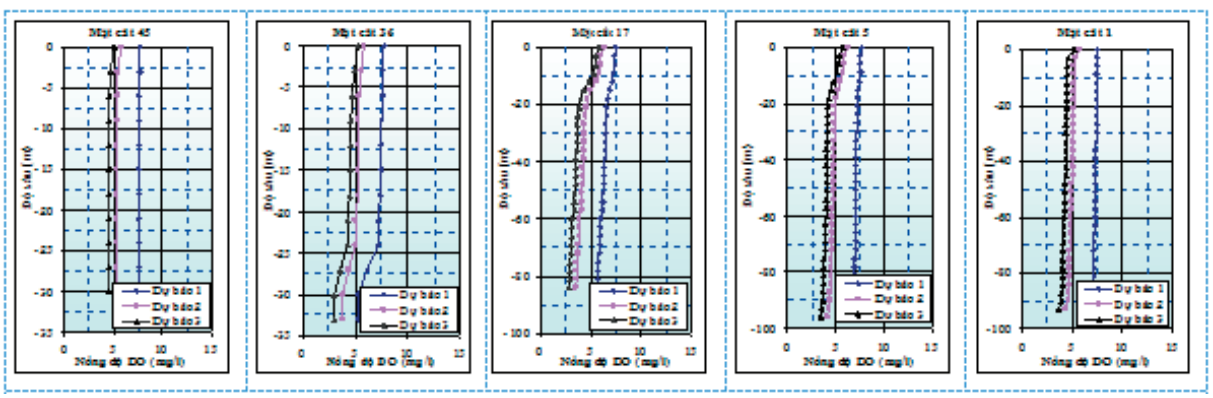
Trên cơ sở lưới địa hình đã thiết lập và bộ thông số đã được tối ưu hoá đã sử dụng mô hình CE-QUAL-W2 để dự báo diễn biến chất lượng nước hồ sau nhiều năm trong trường hợp không có hồ Sơn La và ảnh hưởng của hồ Sơn La đến chất lượng nước hồ Hoà Bình.

Số liệu thuỷ văn và khí tượng trung bình ngày trung bình 11 năm từ 1993 đến 2003, số liệu chất lượng nước trung bình của tất cả các lần khảo sát tại mặt cắt Tạ Bú được sử dụng để mô phỏng diễn biến DO nhiều năm.

Từ file số liệu đầu ra trích ra số liệu tại các mặt cắt điển hình (Hình 9). Có thể nhận thấy, sau hơn 10 năm đi vào vận hành chất lượng nước hồ Hoà Bình đang dần đi vào thế ổn định để thiết lập một trạng thái cân bằng mới. Sự phân tầng nồng độ ô xi sẽ giảm do việc phân huỷ các hợp chất hữu cơ tích tụ trong lòng hồ không còn lớn như thời kỳ đầu tích nước. Nồng độ ô xi hoà tan sẽ duy trì ở mức độ có thể chấp nhận được.

Công trình hồ chứa thuỷ điện Sơn La được xây dựng và đi vào hoạt động sẽ ảnh hưởng đến chất lượng nước hồ Hoà Bình, nhất là trong những năm đầu tích nước. Mức độ ảnh hưởng của hồ Sơn La đến chất lượng nước hồ Hoà Bình phụ thuộc vào việc thu dọn lòng hồ Sơn La trước khi tích nước. Kinh nghiệm thực tế từ các hồ chứa tại Việt Nam như hồ Hòa Bình, Trị An, Dầu Tiếng... cho thấy sau năm đầu tích nước lượng ô xi hoà tan trong nước giảm mạnh từ 31-39% lượng ô xi hoà tan theo dòng chảy sông vào hồ. Trên cơ sở đó, tỉ lệ tổn thất ô xi hoà tan trong nước hồ Sơn La giả thiết là 30% trong trường hợp dọn sạch lòng hồ và 40% trong trường hợp dọn không sạch lòng hồ. Nồng độ ô xi hoà tan trong nước sông Đà được lấy bằng giá trị trung bình của tất cả các lần khảo sát tại Tạ Bú và bằng 7,65 mg/l. Giá trị nồng độ ô xi hoà tan tương ứng với các tỉ lệ tổn thất trên là 5,36 mg/l và 4,59 mg/l.

Chạy mô hình CE-QUAL-W2 với bộ thông số tối ưu đã xác định được với số liệu thuỷ văn, khí tượng trung bình ngày trung bình 11 năm và giá trị của DO trong hai trường hợp trên. Kết quả tính toán thể hiện trong hình 9.



Hình 9. Dự báo diễn biến DO hồ Hoà Bình

So sánh giữa các trường hợp không có và có hồ Sơn La cho thấy nồng độ ô xi hoà tan trong nước hồ Hoà Bình bị suy giảm mạnh mẽ và sự khác biệt rõ ràng giữa hai trường hợp dọn không sạch và sạch lòng hồ Sơn La. Trong cả hai trường hợp, nồng độ ô xi hoà tan trong nước hồ Hoà Bình sẽ xấp xỉ nồng độ ô xi hoà tan trong thời kỳ đầu tích nước. Nhưng có sự khác biệt rất lớn trong phân bố DO theo cả chiều dọc và chiều sâu. Trong những năm đầu tích nước, nồng độ ô xi hoà tan trong nước hồ Hoà Bình suy giảm nhanh ở khu vực trung và hạ lưu hồ, khu vực thượng lưu nồng độ ô xi vẫn ở mức cao xấp xỉ giá trị DO của nước sông Đà trước khi ngăn dòng. Theo chiều sâu, nồng độ ô xi hoà tan có sự phân tầng rõ rệt tại khu vực trung và hạ lưu hồ do sự phân huỷ bùn cát và các vật chất hữu cơ tích tụ trong lòng hồ. Quá trình này sẽ dần đi vào ổn định.

Nước xả từ đập Pa Vinh xuống có nồng độ DO thấp nên nồng độ DO khu vực thượng lưu hồ Hoà Bình cũng ở mức thấp. Khu vực trung và hạ lưu hồ không có sự phân tầng DO rõ rệt như thời kỳ đầu tích nước. Điều này có thể gây ra những xáo trộn đối với các loài thuỷ sinh đồng thời gây ra các tác động tiêu cực khác đến chất lượng nước hồ nói chung. Nồng độ ô xi hoà tan trong nước hồ Hoà

Bình vượt quá tiêu chuẩn chất lượng nước mặt loại A. Điều này phải được chú ý và có các biện pháp giảm thiểu thích hợp để tránh các tác động tiêu cực đến môi trường sinh thái lòng hồ và dưới hạ du.

4. Kết luận và kiến nghị

Kết quả hiệu chỉnh và kiểm nghiệm đối với nồng độ ô xi hoà tan cho thấy có thể ứng dụng mô hình hai chiều đứng CE-QUAL-W2 để tính toán, dự báo khả năng phân tầng khí trong hồ Hoà Bình. Quá trình thi công và vận hành hồ chứa thuỷ điện Sơn La đã và sẽ có ảnh hưởng lớn đến diễn biến chất lượng nước hồ Hoà Bình; nồng độ ô xi hoà tan trong nước hồ Hoà Bình sẽ gần với nồng độ DO trong thời kỳ đầu tích nước nhưng sự phân tầng DO sẽ không còn rõ rệt. Sự thay đổi này có thể gây ra những tác động tiêu cực đến môi trường sinh thái vùng hồ và dưới hạ lưu.

Mô hình mới được áp dụng thử nghiệm cho DO, các yếu tố chất lượng nước khác, đặc biệt là tổng chất rắn lơ lửng sẽ được tiếp tục nghiên cứu trong tương lai. Muốn vậy việc đo đạc, điều tra khảo sát sự biến đổi chất lượng nước hồ theo chiều dọc và chiều sâu cần được tiến hành thường xuyên và chi tiết hơn.

Tài liệu tham khảo

1. Alexander J. Horne và Charles R. Goldman. Limnology. McGraw-Hill, Inc.

2. International Lake Environment Commite. Guidelines of Lake Management.

3. User mannual of CE-QUAL-W2 model.