

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT

NGUYỄN THỊ KIM THANH

NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP NÂNG CAO HIỆU QUẢ
XỬ LÝ SỐ LIỆU QUAN TRẮC ĐỘ LÚN TUYẾN ĐẬP
CÔNG TRÌNH THỦY ĐIỆN

NGÀNH: KỸ THUẬT TRẮC ĐỊA – BẢN ĐỒ
MÃ SỐ: 9520503

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI – 2021

Công trình được hoàn thành tại: **Bộ môn Trắc địa công trình,
Khoa Trắc địa – Bản đồ và Quản lý đất đai,
Trường Đại học Mở - Địa chất, Hà Nội**

Người hướng dẫn khoa học:

- 1. PGS. TS Trần Khánh**, Trường Đại học Mở - Địa chất
- 2. PGS. TS Lê Đức Tình**, Trường Đại học Mở - Địa chất

Phản biện 1: **GS. TS Võ Chí Mỹ**

Phản biện 2: **TS Hoàng Ngọc Lâm**

Phản biện 3: **TS Nguyễn Thị Thanh Hương**

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án cấp Trường, họp tại Trường Đại học Mở - Địa chất, vào hồi ...giờ ... ngày ... tháng ... năm ...

Có thể tìm hiểu luận án tại:

**Thư viện Quốc Gia Việt Nam
Thư viện Trường Đại học Mở - Địa chất**

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Trong thực tế, công tác quan trắc lún được thực hiện khá thường xuyên tại các tuyến đập thủy điện để giám sát tình trạng công trình. Tuy nhiên, kết quả thu được chỉ là giá trị độ lún của tuyến đập theo từng chu kỳ. Để có thể nâng cao hiệu quả của việc giám sát an toàn tuyến đập và cảnh báo sớm các sự cố có thể xảy ra cho công trình thì các nhà quản lý cần được cập nhật thêm các thông tin liên quan như mức độ ảnh hưởng của yếu tố ngoại cảnh tới độ lún tuyến đập hay xu hướng chuyển dịch của công trình trong không gian, theo thời gian. Trước đòi hỏi đó, phân tích kết quả quan trắc chính là giải pháp được đề xuất thực hiện nhằm nâng cao hiệu quả xử lý số liệu, có thể giải quyết được nhu cầu cấp thiết của thực tiễn sản xuất.

2. Mục tiêu, đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Mục tiêu nghiên cứu là xác lập được cơ sở khoa học các giải pháp xử lý số liệu quan trắc để nâng cao độ chính xác, độ tin cậy các đại lượng biến dạng lún phục vụ hiệu quả công tác cảnh báo sớm nhằm ngăn ngừa và giảm thiểu các sự cố của các tuyến đập thủy điện. Đối tượng nghiên cứu là quan trắc độ lún tuyến đập công trình thủy điện ở Việt Nam. Phạm vi nghiên cứu là xử lý số liệu hệ thống lưới quan trắc lún và phân tích kết quả quan trắc.

3. Nội dung nghiên cứu

Nghiên cứu xây dựng quy trình xử lý số liệu lưới cơ sở quan trắc lún tuyến đập công trình thủy điện; Xác định mức độ ảnh hưởng của độ cao mực nước hồ chứa tới độ lún tuyến đập; nghiên cứu ứng dụng phép lọc Kalman trong dự báo độ lún công trình thủy điện.

4. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp thống kê, phương pháp phân tích, phương pháp thực nghiệm, phương pháp so sánh, phương pháp toán học và ứng dụng tin học.

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

Luận án góp phần xây dựng lý thuyết xử lý số liệu hệ thống lưới quan trắc lún công trình thủy điện một cách toàn diện. Các kết quả nghiên cứu có thể được ứng dụng trong giảng dạy, nghiên cứu khoa học và thực tế sản xuất.

6. Các luận điểm bảo vệ

- *Luận điểm thứ nhất:* Quy trình xử lý số liệu dựa trên tiêu chuẩn đánh giá độ ổn định hệ thống mốc là giải pháp hiệu quả, góp phần xử lý linh hoạt vấn đề định vị mạng lưới trong quan trắc lún tuyến đập thủy điện.

- *Luận điểm thứ hai:* Đánh giá ảnh hưởng của độ cao mực nước hồ chứa tới độ lún tuyến đập thủy điện và dự báo lún bằng phép lọc Kalman hỗ trợ hiệu quả công tác giám sát an toàn đập và cảnh báo sớm các sự cố có thể xảy ra.

7. Các điểm mới của luận án

– Đề xuất tiêu chuẩn đánh giá độ ổn định các mốc và quy trình xử lý số liệu lưới cơ sở quan trắc lún công trình thủy điện

– Xây dựng quy trình tính giá trị ảnh hưởng của độ cao mực nước hồ chứa tới độ lún tuyến đập công trình thủy điện.

– Xây dựng quy trình dự báo độ lún tuyến đập thủy điện bằng phép lọc Kalman.

8. Cấu trúc và nội dung luận án

Luận án gồm ba phần: mở đầu, 4 chương nội dung và kết luận.

Chương 1

TỔNG QUAN VỀ XỬ LÝ SỐ LIỆU QUAN TRẮC LÚN

TUYỂN ĐẬP THỦY ĐIỆN

1.1. Đặc điểm, nội dung và yêu cầu quan trắc độ lún tuyển đập thủy điện

1.1.1. Đặc điểm cấu trúc công trình thủy điện

1.1.2. Yêu cầu quan trắc độ lún tuyển đập thủy điện

1.1.3. Các phương pháp đo độ cao trong quan trắc lún tuyển đập thủy điện

1.1.4. Tổng quan về xử lý số liệu quan trắc lún tuyển đập thủy điện

1.2. Tổng quan những nghiên cứu về xử lý số liệu quan trắc lún tuyển đập thủy điện trên thế giới

1. Nghiên cứu về xử lý số liệu hệ thống lưới độ cao quan trắc: phương pháp bình sai lưới và phân tích độ ổn định các mốc lưới cơ sở.

2. Nghiên cứu về phân tích kết quả quan trắc lún

- Phân tích thống kê được thực hiện dựa trên các mô hình như đồ thị, HST, EDF... nhằm đánh giá ảnh hưởng của các tác nhân gây lún tới tuyển đập thủy điện.

- Dự báo lún bằng những phương pháp hiện đại như lập trình biểu hiện gen, di truyền thần kinh, EMD...

1.3. Tổng quan những nghiên cứu về xử lý số liệu quan trắc lún tuyển đập thủy điện ở Việt Nam

1. Nghiên cứu về xử lý số liệu hệ thống lưới quan trắc lún trong đó quan tâm tới phân tích độ ổn định các mốc lưới cơ sở: các nghiên cứu về ứng dụng phương pháp bình sai lưới tự do trong xử lý số liệu lưới độ cao cơ sở.

2. Nghiên cứu tự động hóa quá trình tính toán thông qua lập trình

3. Phân tích độ lún công trình gồm phân tích trong không gian, phân tích theo thời gian và phân tích thống kê.

1.4. Đánh giá chung về tình hình nghiên cứu và định hướng nghiên cứu trong luận án

1.4.1. Các thành tựu đã đạt được

- Nhiệm vụ xử lý số liệu trong công tác quan trắc lún tuyến đập thủy điện luôn được quan tâm trong nghiên cứu và trong thực tiễn sản xuất. Đây là một hướng nghiên cứu mở với số lượng nghiên cứu khá phong phú.

- Các nghiên cứu về xử lý số liệu quan trắc lún tuyến đập thủy điện có tính ứng dụng cao, đáp ứng được tính cấp thiết trong thực tiễn sản xuất.

- Những phương pháp và công nghệ hiện đại nhất đã được ứng dụng trong xử lý số liệu quan trắc lún tuyến đập thủy điện.

1.4.2. Các vấn đề còn tồn tại

- Ở Việt Nam, quy định về xác định yêu cầu độ chính xác quan trắc lún tuyến đập thủy điện chưa được thống nhất mà chủ yếu do bên tư vấn thiết kế đề xuất, do đó cũng gây khó khăn trong công tác xử lý số liệu và phân tích đánh giá số liệu quan trắc.

- Hiện tại, ở Việt Nam khi xử lý số liệu quan trắc lún tuyến đập thủy điện đã có sự thống nhất là ứng dụng phương pháp bình sai lưới tự do để phân tích độ ổn định các mốc lưới cơ sở, tuy nhiên chưa thống nhất được tiêu chuẩn phân tích và lựa chọn nguyên tắc định vị lưới.

- Công tác phân tích, đánh giá độ lún theo kết quả quan trắc đối với công trình thủy điện chưa được quan tâm đúng mức ở Việt Nam, phân tích kết hợp đo lún và đo các yếu tố ảnh hưởng khác chưa được thực hiện bài bản.

1.4.3. Các hướng nghiên cứu chính trong luận án

- Xây dựng và xử lý số liệu hệ thống lưới độ cao quan trắc lún

công trình thủy điện trong đó tập trung nghiên cứu xử lý số liệu lưới độ cao cơ sở.

- Phân tích, đánh giá mức độ ảnh hưởng của yếu tố ngoại cảnh tới độ lún tuyến đập thủy điện.

- Nghiên cứu ứng dụng phép lọc Kalman trong dự báo độ lún công trình thủy điện.

Chương 2

GIẢI PHÁP XỬ LÝ SỐ LIỆU HỆ THỐNG LƯỚI ĐỘ CAO QUAN TRẮC LÚN TUYẾN ĐẬP THỦY ĐIỆN

2.1. Đặc điểm thành lập hệ thống lưới độ cao quan trắc lún tuyến đập thủy điện

2.2. Ước tính độ chính xác lưới

2.3. Tiêu chuẩn đánh giá độ ổn định mốc độ cao cơ sở

2.3.1. Một số yêu cầu kỹ thuật đối với lưới độ cao cơ sở

Mốc cơ sở đòi hỏi có độ ổn định cao nên cần phải đo và phân tích độ ổn định trong tất cả các chu kỳ.

2.3.2. Tiêu chuẩn độ ổn định

Đề xuất xác định tiêu chuẩn độ ổn định các mốc cơ sở

a. Tiêu chuẩn trong trường hợp định vị lưới theo cụm mốc ổn định

$$|S| \leq 1.5m_{S_1} \quad (2.20)$$

b. Tiêu chuẩn xác định điểm ổn định nhất và định vị lưới theo mốc này

$$[\Delta h_{ij} \Delta h_{ij}] = \min \quad (2.22)$$

2.4. Phương pháp bình sai lưới độ cao tự do

2.4.1. Khái niệm về lưới độ cao tự do

2.4.2. Thuật toán bình sai lưới tự do

2.4.3. Tính chất nghiệm của bài toán bình sai lưới độ cao tự do

2.4.4. Định vị lưới độ cao tự do

Tổng bình phương độ lệch độ cao của các điểm ổn định trong lưới là nhỏ nhất nên:

$$[\delta H^2] = \delta H_i^2 + \delta H_j^2 + \delta H_k^2 = \min \quad (2.33)$$

Do $[pvv] = \min$, khi đó $[\delta H] = \delta H_i + \delta H_j + \delta H_k = 0$, nên:

- Đối với các điểm định vị $C = 1$

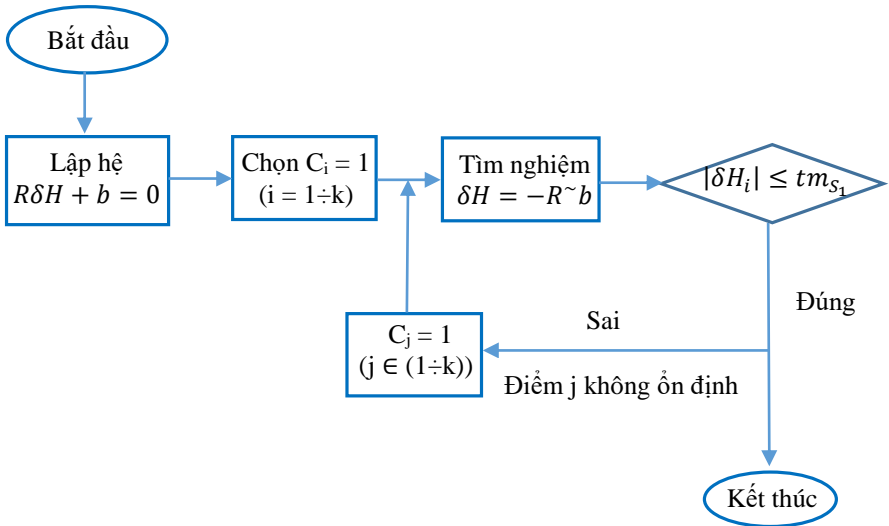
- Đối với các điểm không tham gia định vị $C = 0$

2.5. Nghiên cứu ứng dụng phương pháp bình sai lưới tự do trong xử lý số liệu lưới độ cao cơ sở quan trắc lún công trình

2.5.1. Cơ sở lý luận

2.5.2. Quy trình xử lý số liệu lưới độ cao cơ sở quan trắc lún

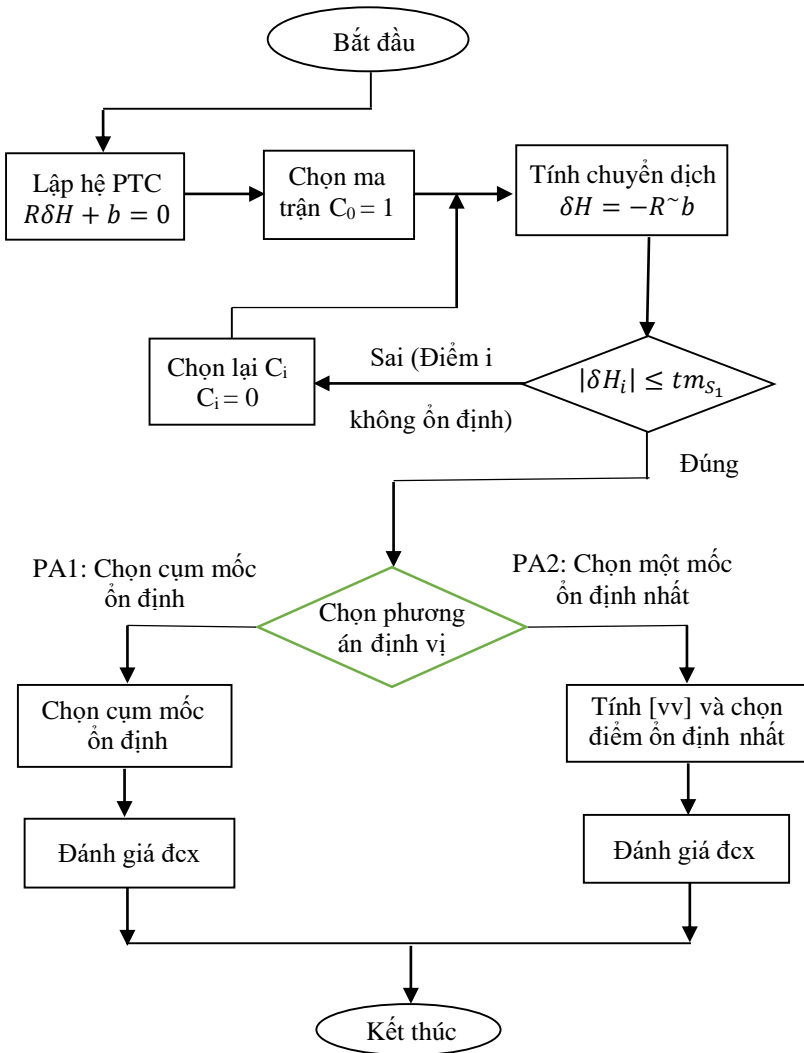
a. Bình sai và định vị lưới cơ sở theo nhóm mốc ổn định



Hình 2.1: Sơ đồ tính toán

b. Bình sai và định vị lưới cơ sở theo mốc ổn định nhất

Trong nhóm mốc ổn định, tìm mốc ổn định nhất thỏa mãn điều kiện (2.22) và định vị lưới theo mốc đó.



Hình 2.8: Quy trình xử lý số liệu lưới cơ sở

2.6. Bình sai bậc lưới quan trắc và tính toán độ lún công trình

Kết luận chương 2

Đề xuất tiêu chuẩn độ ổn định trong các trường hợp định vị lưới khác

nhau. Xây dựng quy trình xử lý số liệu với các phương án định vị theo nhóm mốc và theo mốc ổn định nhất.

Chương 3

PHÂN TÍCH ĐỘ LÚN TUYẾN ĐẬP THỦY ĐIỆN

3.1. Phân tích hình học độ lún tuyến đập thủy điện

Phân tích hình học là mô tả trạng thái hình học (sự thay đổi về hình dạng), xác định xu hướng chuyển dịch của công trình trong không gian theo các phương pháp sau:

3.1.1. Phương pháp đường thẳng xác suất

3.1.2. Phương pháp đường cong

3.1.3. Mặt phẳng xác suất

3.2. Phân tích độ lún tuyến đập thủy điện theo thời gian

3.2.1. Cơ sở lý thuyết

Mô hình lún theo thời gian có dạng

$$S = f(t) \quad (3.21)$$

với vector tham số

$$Z = (z_1 \ z_2 \ \dots \ z_k)^T \quad (3.22)$$

Các tham số trong vector Z được xác định theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất

3.2.2. Một số mô hình lún công trình theo thời gian

Hàm mũ, hàm đa thức, hàm Asaoka, hàm hyperbolic. Trong đó, hàm đa thức có thể được chọn thay thế cho bất kỳ hàm nào nếu chưa biết quy luật của chuyển dịch [52], nên luận án đã chọn hàm đa thức trong phân tích và dự báo lún công trình thủy điện.

$$S_t = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_n t^n \quad (3.27)$$

3.3. Đề xuất phương pháp xác định ảnh hưởng của độ cao mực nước hồ tới độ lún tuyến đập công trình thủy điện

3.3.1. Cơ sở lý luận của bài toán

Độ lún tính theo thời gian của tuyến đập công trình thủy điện

$$S_t = a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_n t^n \quad (3.30)$$

Ngoài ra, độ lún tuyến đập còn chịu ảnh hưởng của độ cao mực nước hồ chứa. Độ lún theo mực nước hồ có dạng [49]:

$$S_H = u_0 + u_1 H + u_2 H^2 + \dots + u_m H^m \quad (3.31)$$

Như vậy, độ lún đo là tổng hợp của độ lún theo thời gian và độ lún do ảnh hưởng của độ cao mực nước hồ

$$S = S_t + S_H \quad (3.32)$$

Do độ cao mực nước hồ thay đổi theo chu kỳ hàng năm nên dễ dàng tìm được các chu kỳ quan trắc có độ cao mực nước tương đương nhau, khi đó độ lún do ảnh hưởng của mực nước hồ tới tuyến đập ở các chu kỳ này là như nhau.

Xét hai chu kỳ i và j có độ cao mực nước gần bằng nhau ($S_H^i \approx S_H^j$), tính chênh lệch độ lún giữa hai chu kỳ i và j thì hiệu độ lún này không còn chịu ảnh hưởng của độ cao mực nước gây ra nữa.

$$\Delta S^{ij} = (S^j - S^i) = S_t^j - S_t^i \quad (3.35)$$

$$\Delta S^{ij} = a_1(t_j - t_i) + a_2(t_j^2 - t_i^2) + \dots + a_n(t_j^n - t_i^n) \quad (3.36)$$

Các hệ số a trong biểu thức (3.36) được xác định theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất, tính S_t và khi đó tìm được S_H theo công thức:

$$S_H = S_{đo} - S_t \quad (3.41)$$

3.3.2. Quy trình tính toán

Bước 1: Xác định gần đúng các hệ số u trong hàm lún theo độ cao mực nước hồ với điều kiện $[V_{\Delta S}^2] = \min$. Chọn các chu kỳ có độ cao mực nước gần bằng nhau; xác định hệ số (a) của hàm lún theo thời gian, tính S_t ; tính $S_H = S_{đo} - S_t$ cho tất cả các chu kỳ; tìm hệ số (u) .

Bước 2: Tính hệ số (u) với điều kiện $[V_S^2] = \min$. Sử dụng tất cả các

chu kỳ đã có trong tập dữ liệu. Tính hệ số (a) của hàm lún theo thời gian; tính S_H ; tìm hệ số (u). Thực hiện tính lặp đi lặp lại cho tới khi a, u hội tụ.

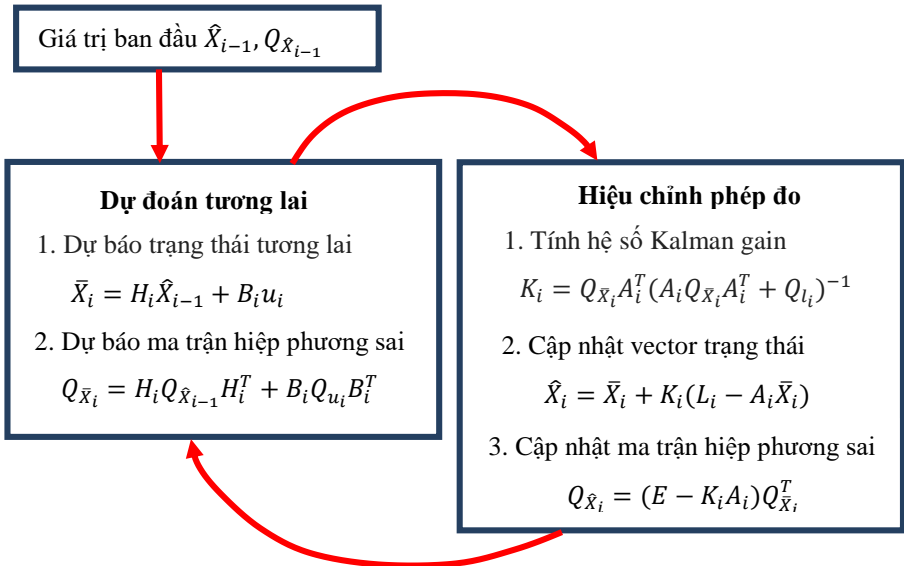
3.3.3. Cách chọn bậc đa thức

- Thay bậc đa thức lần lượt từ bậc nhỏ nhất ($n = 1, m = 1$).
- Bậc đa thức được chọn là khi đa thức đó có sai số mô hình tương đương với sai số đo.

3.4. Ứng dụng phép lọc Kalman trong dự báo độ lún tuyến đập công trình thủy điện

3.4.1. Tổng quan về lọc Kalman

Dạng toán học của phép lọc Kalman gồm hai mô hình: mô hình dự đoán và mô hình lọc. Hai mô hình này liên hệ với nhau theo quy trình tính toán sau:



Hình 3.7: Sơ đồ quy trình tính toán của phép lọc Kalman

3.4.2. Ứng dụng phép lọc Kalman trong dự báo độ lún tuyến đập thủy điện

a. Xác lập mô hình dự báo

Theo nghiên cứu mục 3.3, độ lún đo của tuyến đập là

$$S_i = S_{t_i} + S_{H_i} \quad (3.56)$$

- Thành phần độ lún theo thời gian có dạng

$$S_{t_i} = a_1 t_i \quad (3.57)$$

Hệ số a_1 chính là vận tốc lún

$$v_{t_i} = \frac{\partial S_{t_i}}{\partial t} = a_1 \quad (3.58)$$

Tính hiệu độ lún giữa hai chu kỳ i và $(i-1)$, từ đó độ lún theo thời gian của chu kỳ i sẽ là:

$$S_{t_i} = S_{t_{i-1}} + (t_i - t_{i-1})a_{1(i-1)} \quad (3.60)$$

- Thành phần lún theo độ cao mực nước hồ có dạng

$$S_{H_i} = u_0 + u_1 H_i \quad (3.61)$$

Độ cao mực nước hồ ở thời điểm t giữa hai chu kỳ i và $(i-1)$ được coi là biến đổi tuyến tính và được xác định theo công thức:

$$H_t = \frac{(H_i - H_{i-1})}{(t_i - t_{i-1})} (t - t_{i-1}) + H_{i-1} \quad (3.62)$$

Vận tốc lún của độ lún theo độ cao mực nước hồ

$$v_{S_H} = u_1 \left(\frac{\Delta H_{i,i-1}}{\Delta t_{i,i-1}} - \frac{\Delta H_{i-1,i-2}}{\Delta t_{i-1,i-2}} \right) \quad (3.63)$$

Dựa vào (3.61) tính hiệu độ lún theo độ cao mực nước hồ giữa hai chu kỳ i và $(i-1)$ và suy ra S_H ở chu kỳ i như sau

$$S_{H_i} = S_{H_{i-1}} + u_1 (H_i - H_{i-1}) \quad (3.64)$$

Vận tốc độ lún theo mực nước hồ ở thời điểm t :

$$v_{S_{H_i}} = \frac{\partial S_{H_i}}{\partial t} = u_1 \frac{(H_i - H_{i-1})}{(t_i - t_{i-1})} = u_1 \frac{\Delta H_{i,i-1}}{\Delta t_{i,i-1}} \quad (3.65)$$

Ký hiệu vector trạng thái lọc ở thời điểm $(i-1)$ là $\hat{X}_{i-1} = [\hat{s}_{i-1} \quad \hat{a}_{i-1}]^T$

Ký hiệu vector trạng thái dự báo ở thời điểm i là $\bar{X}_i = [\bar{s}_i \quad \bar{a}_i]^T$

Từ công thức (3.56), (3.60), (3.64), suy ra độ lún ở chu kỳ i là

$$\bar{S}_i = \hat{S}_{i-1} + \hat{a}_{1(i-1)}(t_i - t_{i-1}) + u_1(H_i - H_{i-1}) \quad (3.66)$$

Từ (3.58), (3.65), xác định được vận tốc lún

$$\bar{a}_i = \hat{a}_{i-1} + u_1 \left(\frac{\Delta H_{i,i-1}}{\Delta t_{i,i-1}} - \frac{\Delta H_{i-1,i-2}}{\Delta t_{i-1,i-2}} \right) \quad (3.67)$$

Ma trận chuyển đổi trạng thái H được tính theo công thức:

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial \bar{S}_i}{\partial \hat{S}_{i-1}} & \frac{\partial \bar{S}_i}{\partial \hat{a}_{i-1}} \\ \frac{\partial \bar{a}_i}{\partial \hat{S}_{i-1}} & \frac{\partial \bar{a}_i}{\partial \hat{a}_{i-1}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t_{i,i-1} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.69)$$

Ma trận điều khiển đầu vào B của các tham số trong vector u được tính

$$B = \begin{bmatrix} \frac{\partial \bar{S}_i}{\partial u_1} \\ \frac{\partial \bar{a}_i}{\partial u_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta H_{i,i-1} \\ \frac{\Delta H_{i,i-1}}{\Delta t_{i,i-1}} - \frac{\Delta H_{i-1,i-2}}{\Delta t_{i-1,i-2}} \end{bmatrix} \quad (3.70)$$

b. Thành lập mô hình trị đo

$$l_i = S_i \quad (3.71)$$

Kết luận chương 3

- Xây dựng cơ sở toán học và quy trình tính toán xác định giá trị ảnh hưởng của độ cao mực nước hồ chứa tới độ lún tuyến đập công trình thủy điện.

- Nghiên cứu tổng quan mô hình động của phép lọc Kalman. Trên cơ sở đó, xây dựng quy trình tính toán phù hợp ứng dụng trong dự báo lún tuyến đập công trình thủy điện.

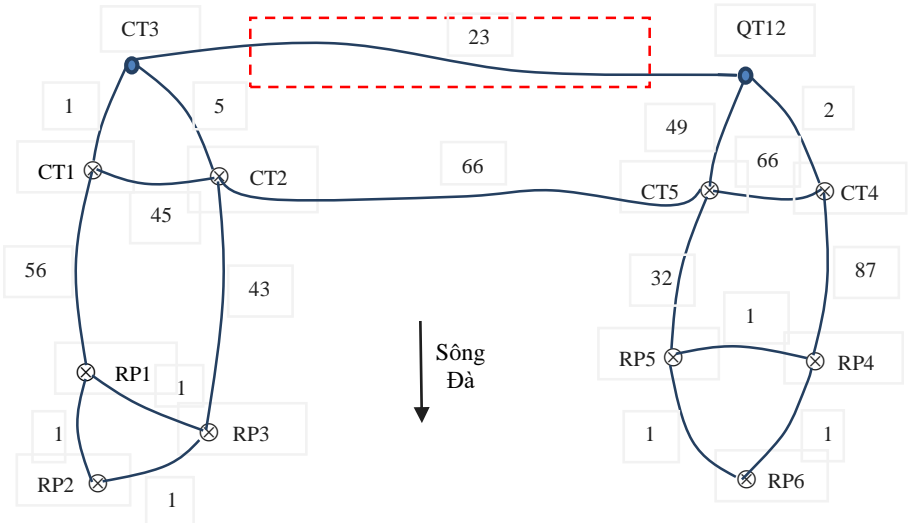
Chương 4

THỰC NGHIỆM XỬ LÝ SỐ LIỆU QUAN TRẮC ĐỘ LÚN TUYẾN ĐẬP THỦY ĐIỆN

4.1. Thiết kế lưới cơ sở quan trắc lún công trình thủy điện Sơn La

4.1.1. Thiết kế lưới độ cao cơ sở (hình 4.2)

4.1.2. Ước tính độ chính xác lưới



Hình 4.1: Lưới độ cao cơ sở quan trắc lún đập thủy điện Sơn La

Bảng 4.1: Kết quả ước tính độ chính xác lưới

Số TT	Tên điểm	Độ cao thiết kế H (m)	Sai số độ cao m_H (mm)
1	CT3	231.24	0.3
2	QT12	229.78	0.3
3	RP1	141.18	0.4
4	RP2	141.30	0.4
5	RP3	141.32	0.4
6	RP4	189.92	0.4
7	RP5	190.30	0.4
8	RP6	190.40	0.4
9	CT1	218.84	0.3
10	CT2	142.13	0.3
11	CT4	261.80	0.4
12	CT5	193.89	0.3

Sai số trung phương trọng số đơn vị $m_{h/tr} = 0.08$ mm

4.2. Xử lý số liệu lưới độ cao cơ sở tại công trình thủy điện Sơn La

$m_s = 2$ mm, vậy tiêu chuẩn độ ổn định là:

$$|\delta H_i| \leq \frac{tm_s}{\sqrt{1+K^2}} = \frac{1,5.2}{\sqrt{1+9}} = 0,95(\text{mm}) \quad (4.1)$$

Bảng 4.2: Quy trình bình sai và đánh giá độ cao điểm sau bình sai

Số TT	Tên điểm	Lặp lần 1		Lặp lần 2		Lặp lần 3		Lặp lần 4	
		C	Độ lún (m)	C	Độ lún (m)	C	Độ lún (m)	C	Độ lún (m)
1	RP3	1	0.0000	1	-0.0001	1	-0.0004	1	-0.0002
2	RP4	1	0.0007	1	0.0005	1	0.0003	1	0.0005
3	RP5	1	0.0006	1	0.0004	1	0.0002	1	0.0004
4	RP6	1	0.0004	1	0.0002	1	0.0000	1	0.0002
5	CT1	1	-0.0002	1	-0.0003	1	-0.0005	1	-0.0004
6	CT2	1	-0.0014	1	-0.0015	0	-0.0018	0	-0.0016
7	RP1	1	0.0014	1	0.0013	1	0.0011	0	0.0012
8	CT4	1	-0.0016	0	-0.0018	0	-0.0020	0	-0.0019
9	CT5	1	0.0001	1	0.0000	1	-0.0002	1	-0.0003
10	RP2	1	0.0000	1	-0.0002	1	-0.0004	1	-0.0003

Phương án định vị theo cụm mốc

Bảng 4.3: Độ cao sau bình sai của các điểm

Số TT	Tên điểm	Độ cao (m)	Sai số (mm)	Số TT	Tên điểm	Độ cao (m)	Sai số (mm)
1	RP1	141.18601	0.34	6	RP6	190.40105	0.25
2	RP2	141.30924	0.34	7	CT1	218.84400	0.3
3	RP3	141.32258	0.33	8	CT2	142.13229	0.3
4	RP4	189.92176	0.25	9	CT4	261.80053	0.32
5	RP5	190.30305	0.25	10	CT5	193.89632	0.24

Phương án định vị theo mốc ổn định nhất

Bảng 4.4: Xác định mốc ổn định nhất

Số TT	Tên điểm	$[\Delta h_{ij}\Delta h_{ij}]$ (mm ²)	Đánh giá	Số TT	Tên điểm	$[\Delta h_{ij}\Delta h_{ij}]$ (mm ²)	Đánh giá
1	RP2	1.104	ổn định	5	RP6	0.690	Ổn định nhất
2	RP3	0.984	ổn định	6	CT1	1.769	ổn định
3	RP4	2.098	ổn định	7	CT5	0.808	ổn định
4	RP5	1.515	ổn định				

Bảng 4.5: Độ cao các điểm sau bình sai

Số TT	Tên điểm	Độ cao (m)	Sai số (mm)	Số TT	Tên điểm	Độ cao (m)	Sai số (mm)
1	RP1	141.18600	0.34	6	RP6	190.40104	0.25
2	RP2	141.30923	0.34	7	CT1	218.84399	0.3
3	RP3	141.32257	0.33	8	CT2	142.13228	0.3
4	RP4	189.92175	0.25	9	CT4	261.80052	0.32
5	RP5	190.30304	0.25	10	CT5	193.89631	0.24

Nhận xét:

- Quy trình tính hình 2.8 có thể giải quyết linh hoạt vấn đề định vị lưới: định vị theo cụm mốc và định vị theo mốc ổn định nhất.
- Kết quả tính độ cao sau bình sai của các điểm lưới theo hai phương án định vị có độ lệch không đáng kể, nghĩa là hai phương án định vị này có độ tin cậy và có khả năng ứng dụng như nhau.

4.3 Thực nghiệm thành lập mô hình độ lún tuyến đập thủy điện Sơn La

Xác định được mô hình dạng đường thẳng: $S = -0.00000554X - 6.4$

Góc nghiêng: $\alpha = \arctg(-0.00000554) = -1.14''$

Sai số thành lập mô hình: $\mu = \pm 0.0033 (m)$

4.4. Thực nghiệm xác định ảnh hưởng của độ cao mực nước hồ tới độ lún tuyến đập công trình thủy điện

Hình 4.2: Vị trí PVM8 và SM8 trên tuyến đập thủy điện Hòa Bình

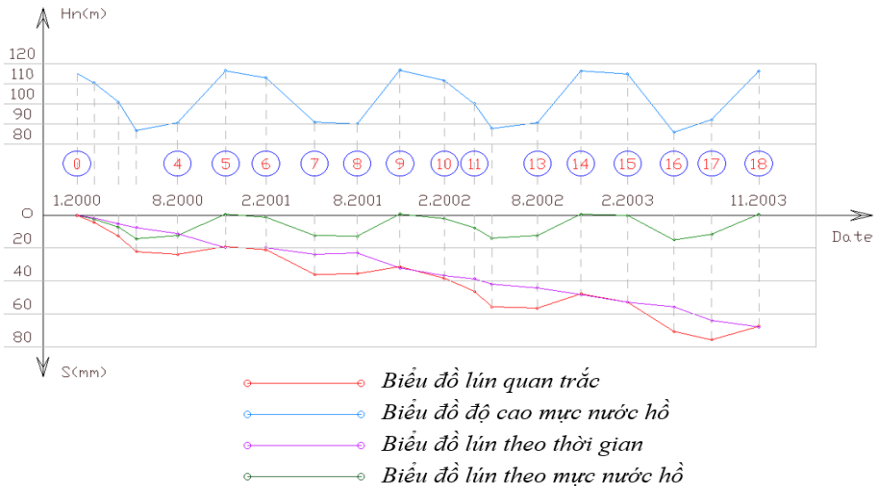
Số liệu thực nghiệm là dữ liệu đo tại các chu kỳ trong hai giai đoạn 2000 – 2003 và 2013 – 2015 của hai điểm PVM8 nằm trên đỉnh đập và điểm SM8 thuộc tuyến cơ đập.

a. Điểm PVM8 (2000-2003). Hàm lún theo độ cao mực nước hồ:

$$S_H = -0.058625 + 0.0005905H$$

Bảng 4.6: Độ lún theo độ cao mực nước

Chu kỳ	Thời gian quan trắc	M/nước hồ (m)	Độ lún S_H (m)	Chu kỳ	Thời gian quan trắc	M/nước hồ (m)	Độ lún S_H (m)
79	10/1/2000	115.07	0.0000	89	01/2/2002	111.53	-0.0018
80	15/2/2000	110.31	-0.0024	90	02/4/2002	100.08	-0.0076
81	03/4/2000	100.92	-0.0072	91	07/5/2002	87.82	-0.0139
82	10/5/2000	86.77	-0.0144	92	09/8/2002	90.64	-0.0124
83	03/8/2000	90.61	-0.0125	93	7/11/2002	116.28	0.0006
84	10/11/2000	116.36	0.0007	94	11/2/2003	114.84	-0.0001
85	01/2/2001	112.87	-0.0011	95	15/5/2003	85.89	-0.0149
86	10/5/2001	90.87	-0.0123	96	01/8/2003	92.19	-0.0116
87	06/8/2001	90.15	-0.0127	97	6/11/2003	116.24	0.0006
88	2/11/2001	116.73	0.0008				



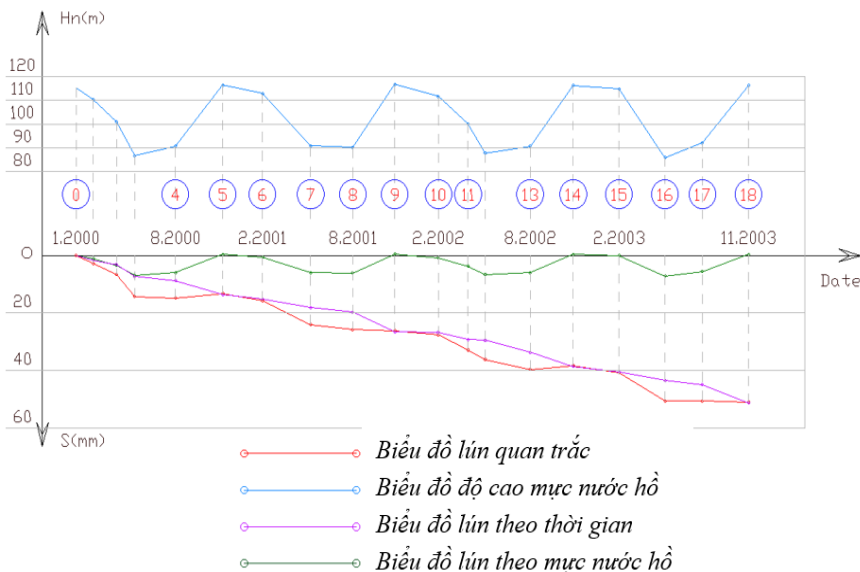
Hình 4.3: Biểu đồ lún điểm PVM8 theo độ cao mực nước hồ

b. Điểm SM8 (2000-2003)

$$S_H = -0.028348 + 0.0002464H$$

Bảng 4.7: Độ lún theo độ cao mực nước tại SM8

Chu kỳ	Thời gian quan trắc	M/nước hồ (m)	Độ lún S_H (m)	Chu kỳ	Thời gian quan trắc	M/nước hồ (m)	Độ lún S_H (m)
79	10/1/2000	115.07	0.0000	89	01/2/2002	111.53	-0.0009
80	15/2/2000	110.31	-0.0012	90	02/4/2002	100.08	-0.0037
81	03/4/2000	100.92	-0.0035	91	07/5/2002	87.82	-0.0067
82	10/5/2000	86.77	-0.0070	92	09/8/2002	90.64	-0.0060
83	03/8/2000	90.61	-0.0060	93	7/11/2002	116.28	0.0003
84	10/11/2000	116.36	0.0003	94	11/2/2003	114.84	-0.0001
85	01/2/2001	112.87	-0.0005	95	15/5/2003	85.89	-0.0072
86	10/5/2001	90.87	-0.0060	96	01/8/2003	92.19	-0.0056
87	06/8/2001	90.15	-0.0061	97	6/11/2003	116.24	0.0003
88	2/11/2001	116.73	0.0004				



Hình 4.4: Biểu đồ lún điểm SM8 theo độ cao mực nước hồ

c. Điểm PVM8 (2013-2015)

$$S_H = -0.047032 + 0.0004218H$$

Bảng 4.8: Độ lún theo độ cao mực nước tại PVM8

Chu kỳ	Thời gian quan trắc	M/nước hồ (m)	Độ lún S_H (m)	Chu kỳ	Thời gian quan trắc	M/nước hồ (m)	Độ lún S_H (m)
159	29/1/2013	111.51	0.0000	171	15/8/2014	107.59	-0.0017
160	22/2/2013	102.71	-0.0037	172	26/9/2014	115.40	0.0016
161	2/5/2013	101.82	-0.0041	173	10/11/2014	116.72	0.0022
162	11/6/2013	89.62	-0.0092	174	2/2/2015	114.32	0.0012
163	15/8/2013	109.80	-0.0007	175	10/4/2015	111.60	0.0001
164	19/9/2013	117.20	0.0024	176	11/5/2015	109.11	-0.0010
165	12/11/2013	116.41	0.0021	177	19/6/2015	85.83	-0.0108
166	14/2/2014	101.86	-0.0041	178	5/8/2015	104.68	-0.0029
167	28/3/2014	109.91	-0.0007	179	3/9/2015	110.82	-0.0003
168	13/5/2014	101.85	-0.0041	180	6/10/2015	115.85	0.0018
169	25/6/2014	86.84	-0.0104	181	13/11/2015	116.38	0.0021
170	31/7/2014	104.09	-0.0031				

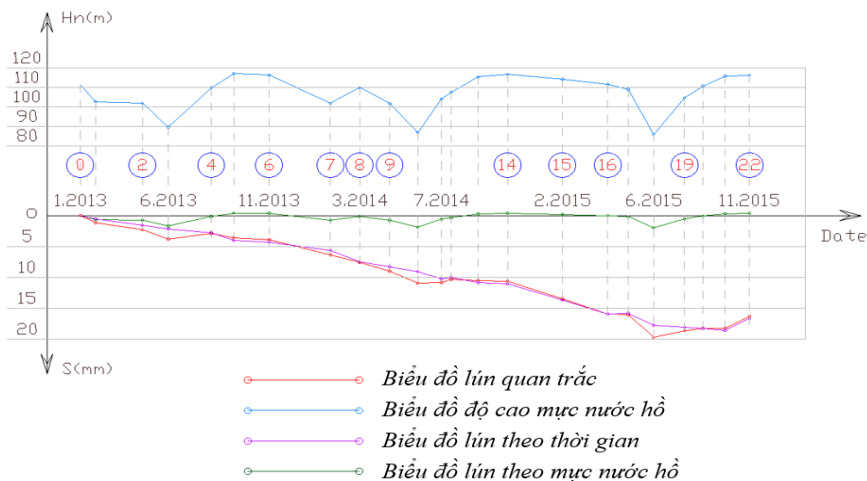


Hình 4.5: Biểu đồ lún điểm PVM8 theo độ cao mực nước hồ
d. Điểm SM8 (2013-2015)

$$S_H = -0.008495 + 0.0000762H$$

Bảng 4.9: Độ lún theo độ cao mực nước tại SM8

Chu kỳ	Thời gian quan trắc	M/nước hồ (m)	Độ lún S_H (m)	Chu kỳ	Thời gian quan trắc	M/nước hồ (m)	Độ lún S_H (m)
159	29/1/2013	111.51	0.0000	171	15/8/2014	107.59	-0.0003
160	22/2/2013	102.71	-0.0007	172	26/9/2014	115.40	0.0003
161	2/5/2013	101.82	-0.0007	173	10/11/2014	116.72	0.0004
162	11/6/2013	89.62	-0.0017	174	2/2/2015	114.32	0.0002
163	15/8/2013	109.80	-0.0001	175	10/4/2015	111.60	0.0000
164	19/9/2013	117.20	0.0004	176	11/5/2015	109.11	-0.0002
165	12/11/2013	116.41	0.0004	177	19/6/2015	85.83	-0.0019
166	14/2/2014	101.86	-0.0007	178	5/8/2015	104.68	-0.0005
167	28/3/2014	109.91	-0.0001	179	3/9/2015	110.82	-0.0001
168	13/5/2014	101.85	-0.0007	180	6/10/2015	115.85	0.0003
169	25/6/2014	86.84	-0.0019	181	13/11/2015	116.38	0.0004
170	31/7/2014	104.09	-0.0006				



Hình 4.6: Biểu đồ lún điểm SM8 theo độ cao mực nước hồ

Nhận xét: Ảnh hưởng của độ cao mực nước hồ chứa tới độ lún tại các điểm trên tuyến đập không giống nhau và khác nhau trong các

giai đoạn của công trình.

4.5. Thực nghiệm ứng dụng phép lọc Kalman trong dự báo độ lún tuyến đập công trình thủy điện

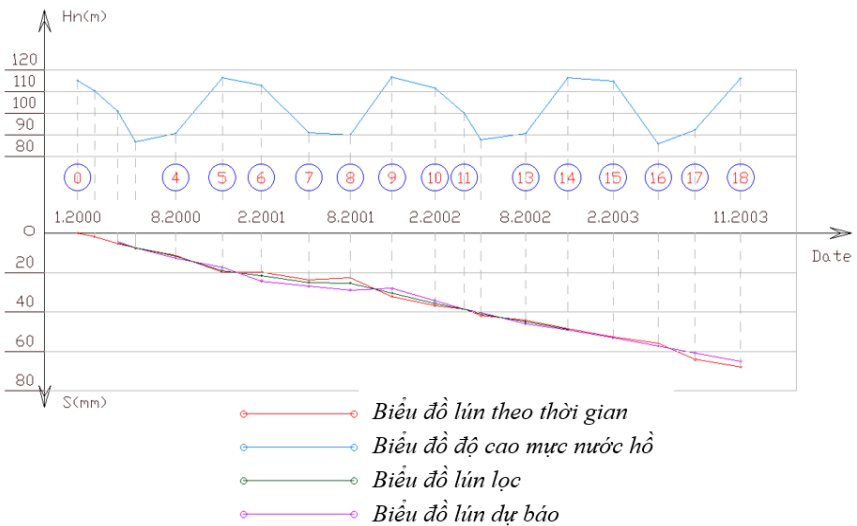
Thực nghiệm dự báo độ lún cho hai điểm PVM8 và SM8, số liệu được sử dụng là độ lún theo thời gian sau khi đã lọc được độ lún theo độ cao mực nước hồ ra khỏi độ lún đo ở mực 4.4

1. Điểm PVM8 (2002-2003)

Phương trình lún theo thời gian: $S = -0.0164t$

Bảng 4.10: Độ lún dự báo của 4 chu kỳ trong năm 2003

Chu kỳ	Thời gian quan trắc	Lún dự báo (m)	Độ chính xác dự báo	Độ lún đo (m)	Độ lệch (m)
94	11/2/ 2003	-0.0531	0.0027	-0.0528	- 0.0003
95	15/5/2003	-0.0721	0.0054	-0.0707	- 0.0014
96	1/8/2003	-0.0723	0.0114	-0.0757	0.0034
97	6/11/2003	-0.0644	0.0205	-0.0673	0.0029



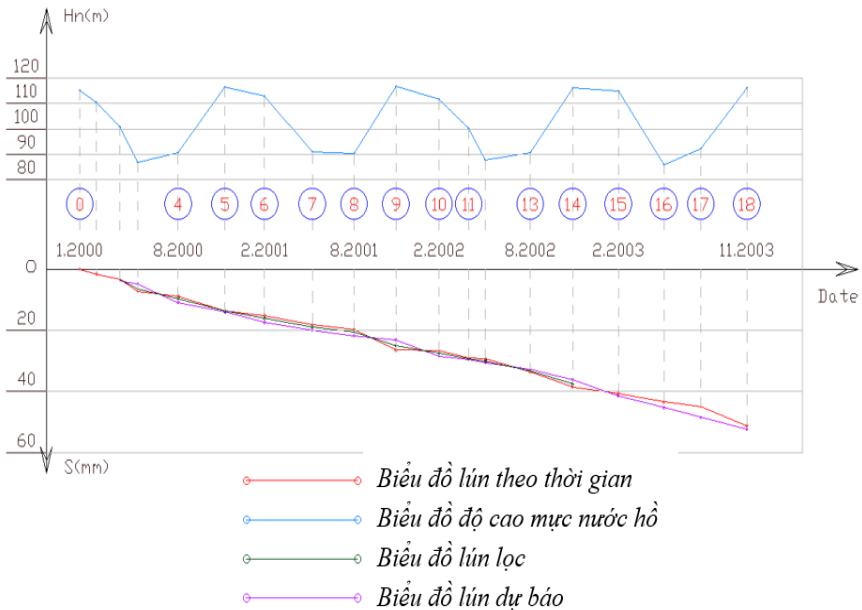
Hình 4.7: Biểu đồ độ lún dự báo điểm PVM8

2. Đối với điểm SM8 (giai đoạn 2000-2003)

$$S = -0.0148t$$

Bảng 4.11: Độ lún dự báo 4 chu kỳ năm 2003 của điểm SM8

Chu kỳ	Thời gian quan trắc	Lún dự báo (m)	Độ chính xác dự báo	Độ lún đo (m)	Độ lệch (m)
94	11/2/ 2003	-0.0415	0.0018	-0.0406	- 0.0009
95	15/5/2003	-0.0525	0.0038	-0.0506	- 0.0019
96	1/8/2003	-0.0541	0.0079	-0.0505	- 0.0036
97	6/11/2003	-0.0520	0.0141	-0.0509	- 0.0011



Hình 4.8: Biểu đồ độ lún dự báo điểm SM8 (2000- 2003)

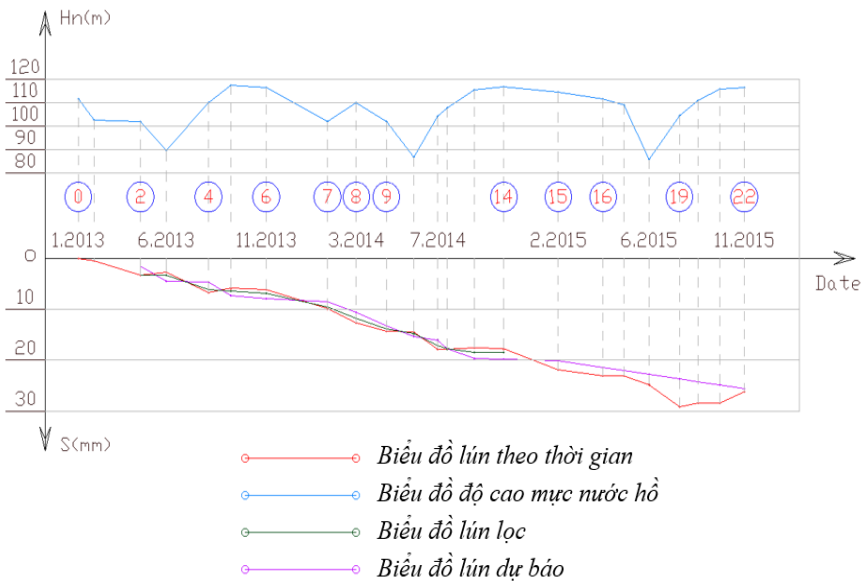
3. Đối với điểm PVM8 (giai đoạn 2013-2015)

Phương trình lún theo thời gian

$$S = -0.0070t$$

Bảng 4.12: Độ lún dự báo năm 2015

Chu Kỳ	Thời gian quan trắc	Độ lún dự báo (m)	Độ chính xác dự báo	Độ lún đo (m)	Độ lệch (m)
174	2/2/2015	-0.0190	0.0017	-0.0207	0.0017
175	10/4/2015	-0.0214	0.0034	-0.0231	0.0017
176	11/5/2015	-0.0231	0.0055	-0.0241	0.0010
177	19/6/2015	-0.0336	0.0081	-0.0356	0.0020
178	5/8/2015	-0.0266	0.0126	-0.0320	0.0054
179	3/9/2015	-0.0245	0.0189	-0.0288	0.0043
180	6/10/2015	-0.0231	0.0265	-0.0266	0.0035
181	13/11/2015	-0.0236	0.0353	-0.0242	0.0006



Hình 4.9: Biểu đồ độ lún dự báo điểm PVM8 (2013 -2015)

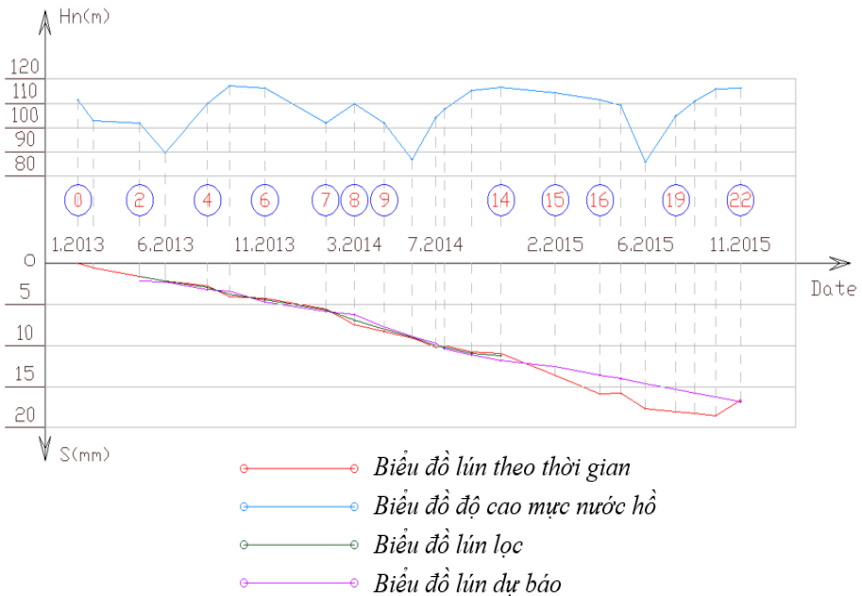
4. Đối với điểm SM8 (2013-2015)

Phương trình lún theo thời gian

$$S = -0.0055t$$

Bảng 4.13: Kết quả dự báo lún năm 2015

Chu Kỳ	Thời gian quan trắc	Độ lún dự báo (m)	Độ chính xác dự báo	Độ lún đo (m)	Độ lệch (m)
174	2/2/2015	-0.0123	0.0007	-0.0134	0.0011
175	10/4/2015	-0.0136	0.0014	-0.0159	0.0023
176	11/5/2015	-0.0142	0.0022	-0.0160	0.0018
177	19/6/2015	-0.0166	0.0033	-0.0197	0.0031
178	5/8/2015	-0.0159	0.0051	-0.0186	0.0027
179	3/9/2015	-0.0158	0.0076	-0.0183	0.0025
180	6/10/2015	-0.0159	0.0107	-0.0182	0.0023
181	13/11/2015	-0.0165	0.0143	-0.0163	-0.0002



Hình 4.10: Biểu đồ độ lún dự báo điểm SM8

Nhận xét: Phép lọc Kalman hoàn toàn đáp ứng được công tác dự báo độ lún tại tuyến đập công trình thủy điện. Kết quả thu được có độ tin cậy cao và khả năng dự báo tốt nhất trong khoảng 6 tháng.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

KẾT LUẬN

1. Luận án đã đề xuất tiêu chuẩn đánh giá độ ổn định trong hai trường hợp: định vị theo cụm mốc và định vị theo mốc ổn định nhất. Trên cơ sở đó, xây dựng quy trình xử lý số liệu phù hợp góp phần giải quyết linh hoạt nhiệm vụ định vị lưới cơ sở quan trắc lún công trình.

2. Độ cao mực nước hồ chứa là yếu tố tác động lớn nhất tới độ lún tuyến đập thủy điện. Luận án đã xây dựng cơ sở toán học và quy trình tính nhằm xác định ảnh hưởng của tác nhân này tới độ lún công trình. Kết quả thực nghiệm trong luận án đã chứng minh quy trình tính hoàn toàn đúng đắn và có độ tin cậy cao. Phương thức tính được thiết lập trong luận án cũng thích hợp để áp dụng cho đánh giá ảnh hưởng lún của những yếu tố ngoại cảnh khác có quy luật biến đổi theo chu kỳ.

3. Trên cơ sở nghiên cứu tổng quan về mô hình động của phép lọc Kalman, luận án đã thiết lập quy trình tính ứng dụng phù hợp trong dự báo độ lún tuyến đập công trình thủy điện. Kết quả thực nghiệm dự báo lún tại hai điểm quan trắc trên tuyến đập thủy điện Hòa Bình đã chứng minh phép lọc Kalman có thể đáp ứng tốt công tác dự báo.

KIẾN NGHỊ

1. Trong quan trắc chuyển dịch biến dạng công trình thủy điện, quy trình, quy phạm cần được xác định rõ ràng, phải thống nhất tiêu chuẩn đánh giá độ ổn định của các mốc khi xử lý số liệu lưới cơ sở.

2. Hiện nay trong thực tế sản xuất, số lượng chu kỳ quan trắc lún tại các đập thủy điện không giống nhau. Do vậy, để có cơ sở phân tích độ lún nhằm hỗ trợ hiệu quả cho công tác đánh giá an toàn tuyến đập thì chu kỳ quan trắc cần được thực hiện theo biến động của độ cao mực nước hồ chứa, tối thiểu 4 chu kỳ một năm.

**CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ ĐÃ CÔNG BỐ
LIÊN QUAN ĐẾN NỘI DUNG LUẬN ÁN**

1. Lê Đức Tình, Tạ Thị Thu Hương, Nguyễn Thị Kim Thanh (2018), “Ứng dụng phương pháp bình sai hiệu trị đo để xử lý lưới quan trắc độ lún công trình”, *Hội nghị toàn quốc Khoa học trái đất và Tài nguyên với Phát triển bền vững (ERSD), Hà Nội*, p43-48.
2. Phạm Quốc Khánh, Nguyễn Thị Kim Thanh (2018), “Application of artificial neural networks for landslide forecasting models in the mountainous areas of Xin Man district, Ha Giang province”, *Proceedings of the 4th international conference Vietgeo 2018 on geological and geotechnical engineering in response to climate change and sustainable development of infrastructure, Quang Binh, Vietnam, 21-22 September*, p477-483.
3. Lê Đức Tình, Trần Khánh, Nguyễn Thị Kim Thanh (2019), “Forecasting structural displacement based on geodetic monitoring data”, *Journal of Mining and Earth Sciences*, Vol.60, Issue 3, p40-44.
4. Nguyễn Thị Kim Thanh, Diêm Công Trang, Trần Thùy Linh (2019), “Nghiên cứu hoàn thiện quy trình phân tích độ ổn định các mốc độ cao cơ sở trong quan trắc lún công trình thủy điện”, *Hội nghị Khoa học cán bộ trẻ lần thứ XV, 11/2019, Viện Khoa học công nghệ xây dựng*.
5. Trần Khánh, Lê Đức Tình, Nguyễn Thị Kim Thanh (2020), “Assessment of the influence of water-level elevation in the reservoir on settlement of the hydroelectric dam”, *Journal of Mining and Earth Sciences*, vol 62 (6).
6. Trần Khánh, Lê Đức Tình, Nguyễn Thị Kim Thanh (2020), “ Ứng dụng phương pháp lọc Kalman dự báo độ lún tuyến đập công trình thủy điện”, *Hội nghị toàn quốc Khoa học trái đất và tài nguyên với phát triển bền vững ERSD*.