

TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT  
KHOA TRẮC ĐỊA - BẢN ĐỒ VÀ QUẢN LÝ ĐẤT ĐAI  
BỘ MÔN ĐO ẢNH VÀ VIỄN THĂM



HỘI NGHỊ KHOA HỌC QUỐC GIA  
CÔNG NGHỆ ĐỊA KHÔNG GIAN VÌ SỰ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG  
(NCGSD 2024)



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC TỰ NHIÊN VÀ CÔNG NGHỆ

## MỤC LỤC

Địa không gian thông minh trong hành trình thực hiện các mục tiêu phát triển bền vững	1
<i>Võ Chí Mỹ*</i>	
Giao dịch bất động sản - Thực trạng và biện pháp hạn chế rủi ro về mặt pháp lý	6
<i>Nguyễn Thị Dung*</i>	
Ảnh hưởng của mật độ điểm đo trực tiếp đến độ chính xác nội suy dị thường trọng lực bước sóng dài khi tính độ sâu từ dị thường trọng lực	12
<i>Nguyễn Văn Sáng*</i>	
Kết hợp đa chỉ số phổ trong chiết tách đất xây dựng ở khu vực Hà Nội từ ảnh vệ tinh Sentinel-2	18
<i>Nguyễn Văn Trung*, Lê Thị Thu Hà, Nguyễn Thành Len, Lê Thị Minh Phương</i>	
Phân tích tự tương quan không gian trong nghiên cứu kiểu mẫu phân bố bệnh sốt xuất huyết Dengue: Thử nghiệm tại Thành phố Hồ Chí Minh	28
<i>Vũ Danh Tuyên*, Vương Thị Hòe, Phạm Thị Thu Hương, Nguyễn Tiến Thành</i>	
Sử dụng dữ liệu vệ tinh Sentinel-2 thành lập bản đồ sinh vật đáy khu vực quần đảo Côn Đảo, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu, Việt Nam	34
<i>Nguyễn Văn Trung*, Lê Thị Thu Hà, Đoàn Thị Nam Phương, Phạm Thị Hương, Nguyễn Quang Minh, Phạm Vọng Thành</i>	
Nghiên cứu giải pháp tự động chiết xuất đối tượng đường giao thông trên ảnh vệ tinh Sentinel- 2 MSI	44
<i>Lê Văn Phú, Trịnh Lê Hùng*, Tô Thị Phương</i>	
Phát hiện cháy rừng đang xảy ra sử dụng dữ liệu vệ tinh Sentinel-3 SLSTR khu vực xã Khánh Bình Tây, huyện Trần Văn Thời, tỉnh Cà Mau	51
<i>Đoàn Thị Nam Phương*, Nguyễn Văn Trung, Lê Thị Thu Hà, Nguyễn Quang Minh</i>	
Công nghệ SBAS xử lý dữ liệu lớn cho xác định biến dạng bề mặt địa hình vùng Thành phố Hồ Chí Minh	59
<i>Nguyễn Minh Hải*</i>	
Nghiên cứu phân bố không gian gió vùng biển vịnh Bắc Bộ giai đoạn 1981 - 2020 từ dữ liệu viễn thám	65
<i>Nguyễn Ngọc Tuấn, Nguyễn Hoàng Minh, Đỗ Thị Phương Thảo*</i>	
Nghiên cứu ứng dụng tư liệu ảnh Sentinel-5P trong giám sát chất lượng không khí tại các đô thị lớn	72
<i>Lê Minh Hằng, Đỗ Thị Hoài*</i>	
Thành lập mô hình lún để chẩn đoán Nhà máy lọc dầu Dung Quất	82
<i>Nguyễn Thị Kim Thanh*, Nguyễn Hà</i>	
Nghiên cứu ứng dụng phương pháp phân loại hướng đối tượng và mô hình học máy trong xây dựng bản đồ lớp phủ từ ảnh viễn thám quang học	90
<i>Khúc Thành Đông*, Trần Đình Trọng, Trần Văn Anh, Đỗ Quang Vinh, Hà Trung Khiên, Đào Duy Toàn, Trương Xuân Quang</i>	
Xác định lún đất khu vực Cà Mau bằng chuỗi ảnh radar trên nền tảng điện toán đám mây Google Colab	97
<i>Hà Trung Khiên, Trần Văn Anh*, Khúc Thành Đông, Nguyễn Đình Huy</i>	
Ứng dụng công nghệ GIS và viễn thám hỗ trợ phân tích, quản lý tài nguyên rừng trong điều kiện biến đổi khí hậu ở tỉnh Đắk Lắk	106
<i>Nguyễn Sách Thành*, Trịnh Lê Hùng, Lê Văn Phú, Nguyễn Văn Trung</i>	

Ứng dụng công nghệ địa tin học trong đánh giá hạn hán ở Quảng Nam	114
<i>Phạm Thị Thanh Hoà*, Trần Hồng Hạnh, Lưu Thị Diệu Chinh</i>	
Nghiên cứu ứng dụng mô hình LSTM (Long Short-Term Memory) trong dự báo độ mặn từ chuỗi dữ liệu đa biến tại trạm Đại Ngãi, Sóc Trăng	122
<i>Bùi Duy Quỳnh*, Hà Thị Hằng, Lưu Thị Diệu Chinh, Trần Xuân Trường</i>	
Kiểm định giả thuyết thống kê trong bình sai lưới quan trắc chuyển dịch ngang đập công trình thủy điện	131
<i>Trần Trung Anh*, Nguyễn Quang Hà</i>	
Phân tích, lọc và hiển thị dữ liệu đám mây điểm LiDAR với thư viện Pandas và Matplotlib của Python	138
<i>Nguyễn Thị Hữu Phương*, Phạm Thị Hải Vân, Đào Thị Hồng Thắm</i>	
Nghiên cứu xác định sự biến động độ sâu ven đảo xa bờ sử dụng dữ liệu viễn thám Sentinel-2 trên nền tảng Google Earth Engine	146
<i>Nguyễn Như Hùng*, Lê Văn Phú, Nguyễn Văn Sơn</i>	
Nghiên cứu một số thuật toán huấn luyện mạng nơron nhân tạo trong dự báo độ lún công trình thủy điện	154
<i>Phạm Quốc Khánh*</i>	
Công nghệ máy bay không người lái và thuật toán bán tự động trong việc xác định hệ thống khe nứt chính trên mô đá ốp lát	163
<i>Phạm Văn Việt*, Nguyễn Anh Tuấn, Trần Trung Anh, Phạm Văn Hoà</i>	
Phương trình LiDAR tính tọa độ điểm đo trong công nghệ bay quét laser hàng không	172
<i>Trần Trung Anh*, Trần Hồng Hạnh, Lưu Hải Âu, Quách Mạnh Tuấn</i>	
Lập bản đồ biến động hệ thực vật vùng đất ven biển khu vực Khánh Hòa bằng ảnh Landsat đa thời gian trên nền tảng Google Earth Engine	179
<i>Trần Thanh Hà*</i>	
Quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực ở tầng khai thác mỏ lộ thiên dựa trên công nghệ GNSS/CORS	188
<i>Phạm Công Khải*, Nguyễn Văn Hải</i>	
Dự báo thay đổi lớp phủ bề mặt bằng thuật toán học máy	199
<i>Trần Thị Hoà*, Trần Thị Ngọc, Trần Đình Trí</i>	
Xây dựng cơ sở dữ liệu GIS phục vụ công tác tìm kiếm và cứu nạn khu vực vịnh Bắc Bộ	207
<i>Nguyễn Quang Minh*, Nguyễn Văn Trung, Bùi Tiến Diệu</i>	
Phân tích lượng mưa tích lũy và nguy cơ trượt lở đất: Nghiên cứu và mô phỏng số tại Km10+950, Quốc lộ 34, tỉnh Hà Giang	221
<i>Đỗ Văn Đăng*, Nguyễn Châu Lân, Hà Thị Hằng, Bùi Duy Quỳnh, Dương Công Hiếu, Lưu Thị Diệu Chinh</i>	
Nghiên cứu một số vấn đề chuyển đổi tọa độ từ WGS-84 về hệ tọa độ trắc địa sử dụng tại Việt Nam	228
<i>Hoàng Ngọc Hà*</i>	

## Quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực ở tầng khai thác mỏ lộ thiên dựa trên công nghệ GNSS/CORS

Phạm Công Khải<sup>1\*</sup>, Nguyễn Văn Hải<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Mở - Địa chất

<sup>2</sup>Trường Đại học Thủy Lợi (Cơ sở 2), Thành phố Hồ Chí Minh

### TÓM TẮT

Quan trắc theo thời gian thực để cảnh báo sớm trượt lở đất đá ở tầng khai thác mỏ lộ thiên là vấn đề rất quan trọng để đảm bảo cho quá trình khai thác mỏ được hiệu quả, kinh tế và an toàn. Ngày nay, có nhiều phương pháp để quan trắc trượt lở đất đá dựa trên những công nghệ và thiết bị khác nhau. Tuy nhiên, việc quan trắc trượt lở đất đá dựa trên công nghệ GNSS/CORS có nhiều ưu điểm như quan trắc được trong mọi điều kiện thời tiết, liên tục và theo thời gian thực trong không gian ba chiều. Mục đích của nghiên cứu này là thiết kế, xây dựng được một hệ thống quan trắc theo thời gian thực dựa trên công nghệ GNSS/CORS để cảnh báo sớm trượt lở đất đá ở tầng khai thác mỏ lộ thiên. Trong nghiên cứu này một hệ thống quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực được thiết kế, xây dựng, bao gồm hệ thống trạm CORS và hệ thống trạm quan trắc. Hệ thống trạm CORS được thiết kế, xây dựng đặt tại thành phố Cẩm Phả, Quảng Ninh với ăng ten Zephyr 2 Geodetic của Trimble và bộ thu GNSS của hãng Stonex. Hệ thống trạm quan trắc được nhóm tác giả tự thiết kế phát triển cả về phần cứng và phần mềm, đảm bảo cho quá trình thu nhận, truyền dẫn, xử lý dữ liệu và cảnh báo diễn ra theo thời gian thực. Dữ liệu quan trắc thu được theo định dạng tiêu chuẩn NMEA0183 được xử lý bằng phương pháp và phần mềm tự thiết kế phát triển đã nâng cao được độ chính xác kết quả quan trắc đến milimet. Một thực nghiệm mô phỏng quan trắc trượt lở đất đá đã được thực hiện ở khu vực thành phố Cẩm Phả, Quảng Ninh và thực nghiệm thực tế ở trên bề mặt tầng khai thác ở mỏ than Cọc Sáu đã khẳng định được tính khả thi của giải pháp trong quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực.

*Từ khóa:* Công nghệ GNSS/CORS, trượt lở đất đá, thời gian thực, mỏ than Cọc Sáu.

### 1. Đặt vấn đề

Từ trước tới nay, việc quan trắc trượt lở, chuyển dịch đất đá ở các mỏ lộ thiên Việt Nam thường được thực hiện bằng các phương pháp truyền thống với việc sử dụng các thiết bị đo đạc như máy thủy chuẩn, máy kinh vĩ, máy toàn đạc điện tử. Từ khi có hệ thống định vị toàn cầu GPS, nó đã được ứng dụng để quan trắc trượt lở đất đá và những tai biến địa chất khác (Z. Abidin H và cộng sự, 2004; M.-B. Su và cộng sự, 2009; J.A. Gili, 2000). Tuy nhiên công nghệ GPS hầu như cũng chỉ được ứng dụng để quan trắc chuyển dịch đất đá theo chu kỳ. Trong những năm gần đây với sự ra đời của nhiều hệ thống vệ tinh như GPS (Mỹ), Glonass (Nga), Galileo (Cộng đồng châu Âu) và Beidou (Trung Quốc) đã hình thành nên hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu (GNSS). Với công nghệ GNSS, các quốc gia trên thế giới đều đã xây mạng lưới các trạm tham chiếu hoạt động liên tục (CORS) làm cơ sở hạ tầng không gian quốc gia, đáp ứng cho các mục đích khác nhau, trong đó có mục đích quan trắc trượt lở đất đá. Do mạng lưới trạm CORS hoạt động liên tục trong mọi điều kiện thời tiết, cung cấp số liệu cải chính trong không gian 3 chiều, vì vậy nó rất phù hợp để ứng dụng trong quan trắc liên tục trượt lở đất đá theo thời gian thực. Hiện nay, việc ứng dụng công nghệ GNSS vào quan trắc trượt lở đất đá chủ yếu áp dụng giải pháp với trạm CORS đơn (Cina, M. Piras, 2015; T. Bellone và cộng sự, 2016; W.Y. Zhao và cộng sự, 2021). Ưu điểm của giải pháp này là khoảng cách từ trạm CORS đến các trạm quan trắc nhỏ nên có thể loại bỏ tốt hơn ảnh hưởng của các sai số khí quyển như độ trễ của tầng điện ly và tầng đối lưu đến kết quả quan trắc (N. Shen và cộng sự, 2021). Tuy nhiên, giải pháp này cũng có nhược điểm là bị giới hạn về khoảng cách giữa trạm CORS và các trạm quan trắc nên số lượng trạm CORS sẽ tăng lên, dẫn đến chi phí quan trắc cao, các trạm CORS cũng có xu hướng bị dịch chuyển cùng với các khối địa chất không ổn định (Y. Du và cộng sự, 2020).

Ngoài việc sử dụng giải pháp trạm CORS đơn để quan trắc liên tục trượt lở đất đá theo thời gian thực, thì giải pháp ứng dụng công nghệ trạm CORS mạng với kỹ thuật trạm tham chiếu ảo VRS cũng đã được sử dụng (Bao Shu và cộng sự, 2023; Pengxu Wang và cộng sự, 2022). Ưu điểm của công nghệ CORS mạng là khoảng cách từ trạm CORS đến các trạm quan trắc lớn nên không cần nhiều trạm CORS, vì vậy chi phí quan trắc sẽ giảm. Nhược điểm của giải pháp trạm tham chiếu ảo là sai số mô hình tầng điện ly và tầng đối lưu ảnh hưởng lớn đến kết quả quan trắc do khoảng cách giữa các trạm CORS quá dài (J. Paziewski, 2016; J. Cui và cộng sự, 2018). Kết quả là độ chính xác và độ ổn định của giải pháp CORS mạng kém hơn so với giải pháp CORS đơn (R. Odolinski và

\* Tác giả liên hệ

Email: phamcongkhai@humg.edu.vn



cộng sự, 2015). Vì vậy, trong quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực ứng dụng giải pháp trạm CORS đơn và máy thu GNSS tự phát triển là hiệu quả nhất, với chi phí thấp (Daniel Janos và cộng sự, 2022; Pengxu Wang và cộng sự, 2022).

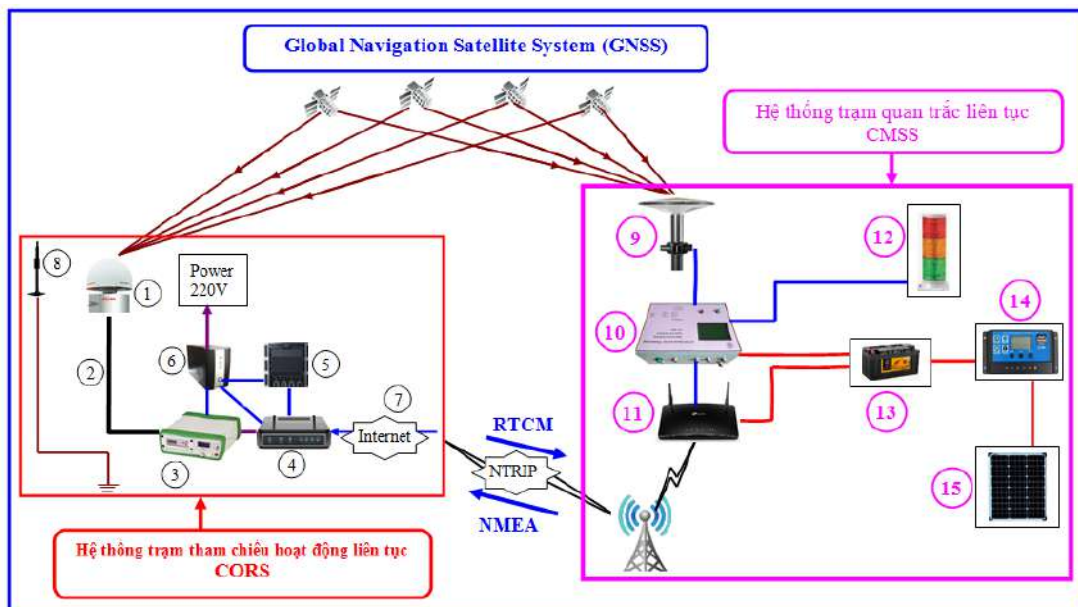
Hiện nay, một số mỏ than lộ thiên lớn của Việt Nam tập trung ở vùng Cẩm Phả tỉnh Quảng Ninh, độ sâu khai thác ngày càng lớn, điều kiện địa chất rất phức tạp, dẫn đến nguy cơ xảy ra trượt lở, dịch chuyển đất đá ở các tầng khai thác là rất cao, đe dọa đến tính mạng con người và thiết bị khai thác làm việc ở trong lòng mỏ. Để có thể cảnh báo sớm hiện tượng trượt lở, dịch chuyển đất đá ở các tầng khai thác ở mỏ lộ thiên, cần thiết phải có một hệ thống quan trắc liên tục cung cấp số liệu theo thời gian thực. Vì vậy, trong nghiên cứu này nhóm tác giả đề xuất giải pháp quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực ở tầng khai thác mỏ lộ thiên Cọc Sáu dựa trên công nghệ trạm CORS đơn. Hệ thống trạm CORS được nhóm tác giả thiết lập ở khu vực thành phố Cẩm Phả, Quảng Ninh vào tháng 6 năm 2023 và cách khu vực khai thác khoảng 5 km. Hệ thống trạm quan trắc sử dụng máy thu GNSS do nhóm tác giả tự thiết kế, phát triển cho phép quan trắc. Việc quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực bờ mỏ than Cọc Sáu ở thành phố Cẩm Phả, tỉnh Quảng Ninh, Việt Nam được thực hiện từ tháng 5 năm 2023. Dữ liệu quan trắc được truyền về máy tính chủ đặt tại Trường Đại học Mỏ - Địa chất ở Hà Nội và được xử lý tức thời bằng phần mềm chuyên dụng.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Thiết kế, xây dựng hệ thống quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực

Hệ thống quan trắc trượt lở, chuyển dịch đất đá theo thời gian thực dựa trên công nghệ GNSS/CORS được thiết kế phải đảm bảo hoạt động ổn định, liên tục từ thu nhận, truyền tải, xử lý dữ liệu và cảnh báo diễn ra theo thời gian thực. Sơ đồ của hệ thống quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực được thiết kế, xây dựng gồm có hai phần chính (Hình 1). Phần thứ nhất là hệ thống trạm tham chiếu hoạt động liên tục (Continuously Operating Reference Station - CORS) và phần thứ hai là hệ thống trạm quan trắc liên tục (Continuously Monitoring Station System - CMSS).

Chức năng của hệ thống trạm CORS là cung cấp thông tin số liệu cải chính vị trí cho trạm quan trắc, xử lý số liệu của mạng lưới đo động xử lý tức thời RTK, hiệu chỉnh số nguyên đa trị của toàn mạng lưới trạm CORS, thiết lập mô hình cải chính sai số tầng đối lưu, tầng điện ly và quỹ đạo vệ tinh. Ngoài ra máy tính chủ của trạm CORS là nơi lưu trữ và xử lý số liệu của trạm quan trắc.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực

Hệ thống trạm quan trắc gồm có các thành phần chính là ăng ten GNSS (9), bộ thu GNSS (10) và bộ định tuyến wifi 4G (11), module cảnh báo bằng âm thanh và ánh sáng (12), ắc quy (13), bộ chuyển đổi nguồn điện (14), tấm pin năng lượng mặt trời (15). Trong các thành phần của hệ thống trạm quan trắc, bộ thu GNSS đã được nhóm tác giả tự thiết kế, phát triển. Bộ thu này sử dụng bo mạch thu nhận và xử lý tín hiệu vệ tinh BD970 của Trimble và được tích hợp vào bo mạch kết nối để tạo thành module thu tín hiệu vệ tinh GNSS BD970 [20]. Module GNSS BD970 thu được 220 kênh của các hệ thống vệ tinh GPS (L1C/A, L2E, L2C, L5), GLONASS (L1C/A, L1P, L2C/A, L2P), SBAS (L1C/A, L5), Galileo (L1BOC, E5A, E5B, E5AltBOC1), BeiDou (B1, B2),

QZSS(L1C/A, L1 SAIF, L2C, L5). Độ chính xác định vị RTK là 8 mm+1ppm về mặt bằng và 15 mm+1 ppm về độ cao với khoảng cách định vị không quá 30 km (<https://oemgnss.trimble.com/>). Module này có một cổng mạng LAN Ethernet qua đó có thể kết nối với modem wifi để truyền dữ liệu quan trắc về máy tính chủ theo địa chỉ IP và cổng nhận dữ liệu đã được mở trên modem ở trạm CORS. Module GNSS BD970 kết hợp với một số module khác được kết nối với nhau tạo thành bộ thu GNSS (Hình 3a) cho hệ thống trạm quan trắc (Hình 3b).



a) Bộ thu GNSS



b) Hệ thống trạm quan trắc

*Hình 2. Bộ thu GNSS và hệ thống trạm quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực*

Bộ thu này có thể nhận số cài chính từ trạm CORS theo các định dạng tiêu chuẩn CMR, CMR+, SCMRX, RTCM và có thể xuất ra dữ liệu ở định dạng tiêu chuẩn NMEA0183.

Để quản lý hoạt động của trạm quan trắc, cài đặt các thông số kỹ thuật cho hệ thống quan trắc, nhận và quản lý dữ liệu từ máy thu GNSS, một phần mềm chuyên dụng đã được thiết kế, xây dựng bằng công cụ lập trình Visual Studio 2019 có tên là Server GNSS CORS WDM (Phạm và nnk., 2023) và được cài đặt ở máy tính chủ của trạm CORS. Phần mềm này được thiết kế với nhiều tính năng như hỗ trợ quản lý nhiều trạm quan trắc cùng một lúc, hỗ trợ truyền số liệu quan trắc qua giao thức NTRIP, hỗ trợ thiết lập hệ thống kết nối với trạm CORS, cung cấp thông tin trạng thái định vị trên màn hình hiển thị, cài đặt chu kỳ đầu tiên cho trạm quan trắc, quản lý và xử lý dữ liệu quan trắc, lập báo cáo kết quả quan trắc.

## 2.2. Xử lý dữ liệu quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực dựa trên công nghệ GNSS/CORS

### 2.2.1. Định dạng dữ liệu

Có nhiều định dạng dữ liệu được phát triển trong định vị vệ tinh cho các mục đích khác nhau, chẳng hạn như để truyền vị trí định vị GPS giữa các thiết bị điện tử hoặc giữa các máy thu GNSS, truyền số hiệu chỉnh vị trí từ trạm tham chiếu đến các máy thu Rover. Hiện nay, Hiệp hội Điện tử Hàng hải Quốc gia của Mỹ (National Marine Electronics Association - NMEA) có đề xuất một tiêu chuẩn lấy tên là NMEA để định dạng thông tin hệ thống định vị toàn cầu GPS hoặc hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu GNSS (<http://www.nmea.org>). Tiêu chuẩn NMEA có nhiều phiên bản khác nhau nhưng tiêu chuẩn NMEA-0183 được sử dụng rộng rãi nhất. NMEA sử dụng mã tiêu chuẩn ASCII, mỗi tin nhắn theo chuẩn định dạng NMEA bắt đầu với ký tự "\$" và kết thúc bằng ký tự "\*", số ký tự trong một tin nhắn không lớn hơn 80. Thông tin trong một tin nhắn với những kiểu khác nhau và được ngăn cách bởi dấu phẩy (,), sau đó đến thông tin về thời gian, tọa độ mặt bằng, độ cao, trạng thái định vị.

Tiêu chuẩn NMEA gồm có nhiều tin nhắn, chẳng hạn như GNGGA, GPGST, GNGLL GNGSA, GNGSV, GNRMC, GNVTG, GNZDA,... Một số tin nhắn NMEA có thể chứa các trường dữ liệu giống nhau hoặc có thể chứa dữ liệu thông báo khác nhưng có kích thước nhỏ hơn. Trong các loại tin nhắn theo tiêu chuẩn NMEA, có hai tin nhắn quan trọng nhất khi định vị đó là GGA và GST.

Tin nhắn GGA là tin nhắn được sử dụng phổ biến nhất, nó bao gồm các thông tin về thời gian UTC (1), vĩ độ (2), Bắc hoặc Nam (3), kinh độ (4), Đông hoặc Tây (5), chỉ số chất lượng định vị (6), số lượng vệ tinh được sử dụng (7), độ suy giảm độ chính xác mặt bằng (8), cao độ ăng ten so với mặt Geoid (9), đơn vị độ cao ăng ten (10), khoảng cách giữa mặt ellipsoid Trái đất WGS-84 và mặt Geoid (11), đơn vị khoảng cách (12), mã kiểm tra chuỗi tin nhắn gửi về (13). Cấu trúc của tin nhắn GGA và các thông tin chi tiết của nó được thể hiện như ở (Bảng 1).

Bảng 1. Cấu trúc của tin nhắn trị đo GGA và các thông tin chi tiết của nó

GGA-Thông tin về hệ thống định vị, thời gian, vị trí mặt bằng và độ cao máy thu nhận được												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
\$GNGGA,hhmmss.ss,llll.ll,a,yyyyy.yy,a,x,xx,x.x,x.x,M,x.x,M*hh												
↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Tin nhắn trị đo GST chứa các thông tin về thời gian hiệu chỉnh vị trí (1), phần dư của khoảng cách giả (2), giá trị bán trục lớn của elip sai số (3), giá trị bán trục nhỏ của elip sai số (4), góc định hướng của bán trục lớn của elip sai số (5), giá trị sai số theo trục Y (6), giá trị sai số theo trục X (7), sai số độ cao (8), mã kiểm tra chuỗi tin nhắn gửi về (9). Cấu trúc của tin nhắn trị đo GST và các thông tin chi tiết của nó được thể hiện như ở (Bảng 2).

Bảng 2. Cấu trúc của tin nhắn trị đo GST và các thông tin chi tiết của nó

GST – Thống kê về sai số định vị								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
\$GNGST,hhmmss.ss,a,a,b,b,c,c,d,d,e,e,f,f,g,g*hh								
↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Chỉ số chất lượng định vị RTK theo công nghệ CORS có 6 mức độ khác nhau từ mức 0 đến mức 5. Nếu chỉ số này ở mức 4 thì có nghĩa là trị đo này đã được hiệu chỉnh từ trạm CORS và người đo sẽ lấy giá trị tọa độ này trong chuỗi trị đo GGA. Kết hợp với sai số định vị thể hiện trong chuỗi tin nhắn GST, sẽ chọn được những tọa độ định vị tốt nhất.

### 2.2.2. Phương pháp xử lý dữ liệu quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực

Dữ liệu quan trắc trượt lở đất đá dựa trên công nghệ GNSS/CORS nhận được theo định dạng tiêu chuẩn NMEA0183 cần được xử lý để nâng cao độ chính xác của kết quả quan trắc. Trong dữ liệu quan trắc trượt lở đất đá có nhiều loại tin nhắn khác nhau nhưng có hai loại tin nhắn là GGA và GST có chứa các thông tin về tọa độ và độ cao cũng như sai số của nó. Dựa trên các thông tin này sẽ lọc được những trị đo tốt nhất.

Quá trình xử lý dữ liệu quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực được tiến hành qua các bước sau:

1) Kiểm tra tính toàn vẹn của các thông tin trong chuỗi tin nhắn trị đo

Các dòng tin nhắn trị đo theo định dạng NMEA0183 được truyền từ trạm quan trắc về máy tính chủ qua giao thức NTRIP có thể bị lỗi dẫn tới thông tin không đầy đủ. Để loại bỏ những dòng tin nhắn này cần phải kiểm tra tính toàn vẹn của nó. Nếu trong các tin nhắn này không đầy đủ các thông tin thì sẽ loại bỏ các dòng tin nhắn trị đo này. Để kiểm tra tính toàn vẹn của các thông tin trong chuỗi tin nhắn trị đo cần phân tích tất cả các ký tự trong chuỗi từ ký tự "\$" đến ký tự "\*", sau đó áp dụng thuật toán thao tác bit bắt đầu từ ký tự đầu tiên đến ký tự tiếp theo cho đến khi kết thúc chuỗi để nhận được mã phân tích chuỗi mới. Mã phân tích chuỗi này đem so sánh với mã kiểm tra (checksum) gửi kèm trong tin nhắn. Nếu hai mã này giống nhau, thì dòng tin nhắn trị đo này sẽ được chấp nhận.

2) Lọc những tin nhắn có tọa độ và độ cao đã được hiệu chỉnh từ trạm CORS.

Trị số tọa độ và độ cao nhận được trong chuỗi tin nhắn GGA có chỉ số báo chất lượng phép đo GNSS khác nhau và được đánh số từ 0 đến 5. Khi chỉ số báo chất lượng ở mức 4 thì trị đo này đã được hiệu chỉnh vị trí từ trạm CORS và cho chất lượng tốt nhất. Khi đó các giá trị tọa độ và độ cao trong dòng tin nhắn này được tách ra để sử dụng cho việc tính độ trượt lở đất đá.

3) Lọc những tin nhắn trị đo có sai số vị trí nhỏ nhất.

Để đảm bảo yêu cầu độ chính xác trong quan trắc trượt lở đất đá thì chỉ những tin nhắn có tọa độ và độ cao đã được hiệu chỉnh nhưng từ trạm CORS và có sai số nhỏ nhất mới được giữ lại. Để lọc ra những tin nhắn có tọa độ và độ cao có sai số nhỏ nhất cần tiến hành phân tích chuỗi tin nhắn GST. Chuỗi tin nhắn này có chứa các thông

tin về elip sai số và sai số vị trí điểm. Trong nghiên cứu này những tin nhắn có sai số mặt bằng nhỏ hơn 5 mm và sai số độ cao nhỏ hơn 8 mm sẽ được giữ lại.

4) Tính chuyển đổi hệ tọa độ WGS- 84 sang VN-2000

Tọa độ của các trạm quan trắc trượt lở đất đá được xác định trong hệ tọa độ WGS84, để thuận tiện trong việc xác định độ trượt lở đất đá cần được tính chuyển sang hệ tọa độ VN-2000 theo công thức (1) (Đăng Nam Chính và Đỗ Ngọc Đường, 2012).

$$\left. \begin{aligned} X &= \Delta X_0 + k(X' + \varepsilon_0 Y' - \psi_0 Z') \\ Y &= \Delta Y_0 + k(-\varepsilon_0 X' + Y' + \varpi_0 Z') \\ Z &= \Delta Z_0 + k(\psi_0 - \varpi_0 Y' + Z') \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

trong đó:

X, Y, Z là tọa độ vuông góc không gian trong hệ tọa độ VN-2000, (m)

X', Y', Z' là tọa độ vuông góc không gian trong hệ tọa độ WGS-84, (m)

$\Delta X_0, \Delta Y_0, \Delta Z_0$  là các tham số dịch chuyển gốc tọa độ (m)

$\omega_0, \psi_0, \varepsilon_0$  là 3 góc xoay trục tọa độ tương ứng với các trục X, Y, Z, (radian)

k là hệ số tỷ lệ chiều dài giữa 2 hệ tọa độ.

Các tham số dịch chuyển tọa độ từ hệ tọa độ WGS84 sang hệ tọa độ VN-2000 do Bộ Tài nguyên và Môi trường công bố.

5) Đánh mức độ phân tán của chuỗi tọa độ và độ cao

Độ phân tán của chuỗi trị đo tọa độ và độ cao được xác định bằng đại lượng độ lệch chuẩn của một dãy trị đo được xác định theo các công thức (2) (Hoàng Ngọc Hà và Trương Quang Hiếu, 2003).

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}, \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}, \quad \sigma_h = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})^2} \quad (2)$$

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i, \quad \bar{H} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i$$

trong đó:

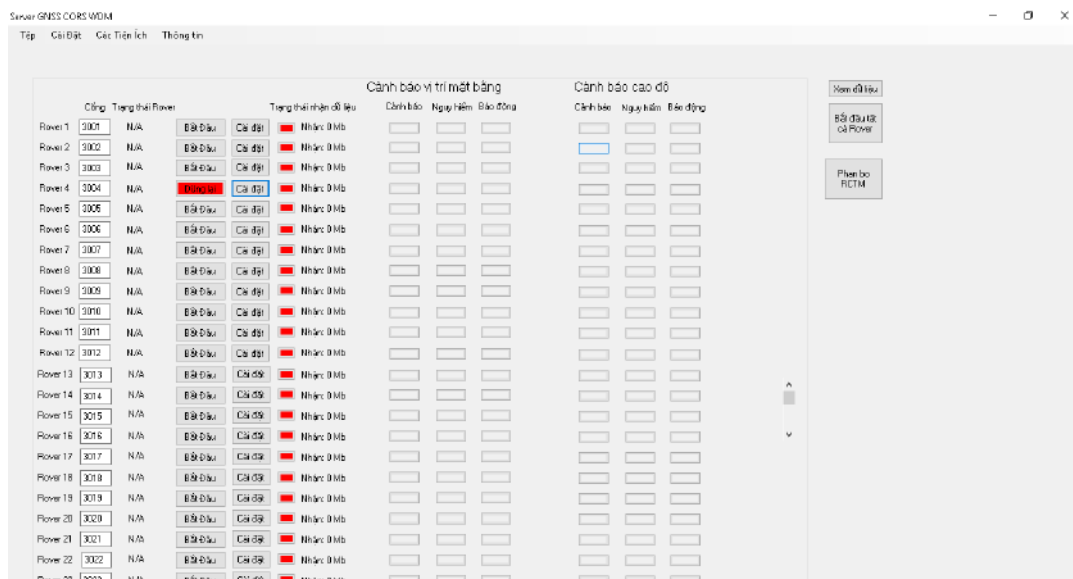
$X_i, Y_i, H_i$  là tọa độ và độ cao xác định lần thứ i (m);

$\bar{X}, \bar{Y}, \bar{H}$  là tọa độ và độ cao trung bình trong chuỗi trị đo (m).

6) Xác định các đại lượng chuyển dịch, trượt lở đất đá theo các trục tọa độ xác định theo các công thức (3):

$$\left. \begin{aligned} \text{- Dịch chuyển theo trục X:} \quad Dx &= X_i(t+1) - X_i(t) \\ \text{- Dịch chuyển theo trục Y:} \quad Dy &= Y_i(t+1) - Y_i(t) \\ \text{- Dịch chuyển ngang:} \quad Dp &= \sqrt{Dx^2 + Dy^2} \\ \text{- Đại lượng dịch chuyển đứng:} \quad S &= H_i(t+1) - H_i(t) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Quá trình xử lý dữ liệu quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực được xử lý tức thời dựa trên phần mềm có tên là Server GNSS CORS WDM (Phạm Công Khải và nnk, 2023) (Hình 3)



Hình 3. Giao diện phần mềm xử lý dữ liệu quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực

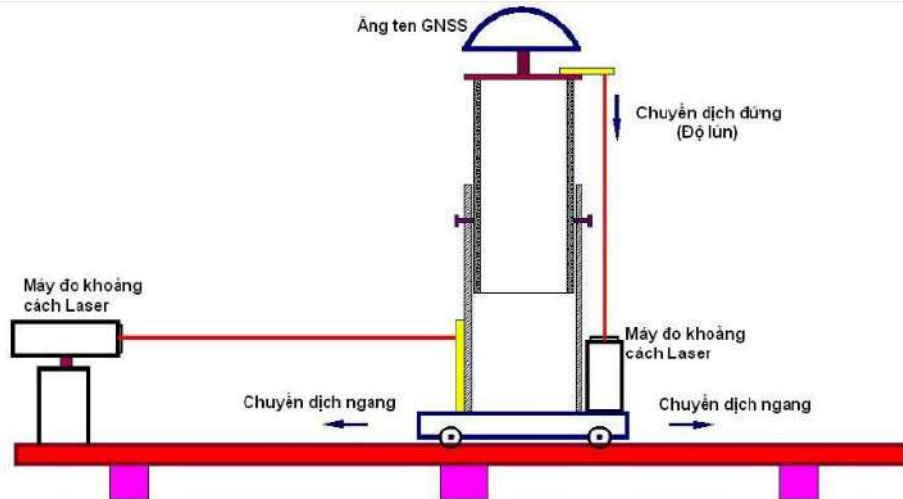


### 3. Thực nghiệm và kết quả quan trắc trượt lở đất đá dựa trên công nghệ GNSS/CORS

#### 3.1. Thực nghiệm mô phỏng quan trắc trượt lở đất đá

##### 3.1.1. Nguyên lý thực nghiệm mô phỏng

Để kiểm chứng, đánh giá độ chính xác của hệ thống quan trắc trượt lở đất đá dựa trên công nghệ GNSS/CORS, một thực nghiệm mô phỏng đã được tiến hành ở khu vực thành phố Cẩm Phả, Quảng Ninh, ở đó nhóm nghiên cứu đã thiết lập một trạm CORS có số hiệu CORS-CAMPHA. Nguyên lý của thực nghiệm mô phỏng trượt lở đất đá là dựa trên sự thay đổi vị trí của ăng ten GNSS theo phương nằm ngang và phương thẳng đứng (Hình 4).



Hình 4. Nguyên lý quan trắc thực nghiệm mô phỏng trượt lở đất đá bằng công nghệ GNSS/CORS

Hệ thống thiết bị mô phỏng có thể đánh giá được cả chuyển dịch ngang và chuyển dịch đứng. Để tiến hành thực nghiệm mô phỏng một hệ thống thiết bị đã được thiết kế chế tạo gồm có hai ống thép hình trụ lồng vào nhau. Ống thép ngoài cố định và ống thép trong có thể di chuyển theo phương thẳng đứng bên trong lòng ống thép ngoài, phía trên ống thép trong có gắn một đĩa thép tròn, tâm của đĩa thép này có khoét một lỗ để lắp ăng ten thu tín hiệu vệ tinh GNSS. Toàn bộ trụ móc này được gắn cố định với 4 bánh xe. Các bánh xe này có thể di chuyển ngang trên một đường ray nằm ngang dùng để xác định chuyển dịch ngang. Sử dụng máy đo khoảng cách Laser cầm tay SD-120C của hãng SINCON để đo khoảng dịch chuyển theo phương ngang và theo phương thẳng đứng từ điểm tham chiếu cố định đến trụ móc có lắp ăng ten GNSS. Sau khi thu tín hiệu vệ tinh trong khoảng thời gian khoảng 30' thì thay đổi vị trí ăng ten theo phương ngang và phương thẳng đứng, rồi lại đo khoảng cách từ điểm tham chiếu đến trụ móc có lắp ăng ten và lại thu tín hiệu vệ tinh ở vị trí mới. Hiệu khoảng cách đo được giữa hai lần đo theo phương nằm ngang và phương thẳng đứng chính là độ chuyển dịch ngang và chuyển dịch đứng. Dữ liệu thu được ở trạm quan trắc sẽ được xử lý qua 6 bước như đã trình bày ở trên, từ đó xác định được độ chuyển dịch đất đá dựa trên công nghệ GNSS/CORS theo công thức (3). So sánh, đối chứng độ chuyển dịch xác định bằng hai phương pháp này sẽ đánh giá được độ tin cậy, độ chính xác của công nghệ GNSS/CORS.

##### 3.1.2. Tiến hành thực nghiệm mô phỏng

Việc quan trắc thực nghiệm mô phỏng được tiến hành vào ngày 15 tháng 7 năm 2023 ở thành phố Cẩm Phả, Quảng Ninh với 6 lần thay đổi vị trí của ăng ten GNSS. Sau mỗi lần thay đổi vị trí ăng ten GNSS theo phương nằm ngang và thẳng đứng một cách chủ động để tạo ra độ chuyển dịch ngang và chuyển dịch đứng. Vị trí đặt trạm quan trắc thực nghiệm mô phỏng nằm bên lề đường bao biển Cẩm Phả - Hạ Long cách trạm CORS-CAMPHA khoảng 3,40 km (Hình 5).

Trạm quan trắc được kết nối với trạm CORS-CAMPHA thông qua địa chỉ IP của máy tính chủ là 118.70.171.179 và cổng nhận dữ liệu là 3004. Dữ liệu quan trắc theo định dạng tiêu chuẩn NMEA được gửi về máy tính chủ đặt ở Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội. Trong thực nghiệm mô phỏng này, nhóm nghiên cứu đã tiến hành thực hiện 6 lần chuyển dịch chủ động, mỗi lần lần đo với thời gian thu tín hiệu vệ tinh là 30 phút với tần suất thu tín hiệu là 1 giây. Dữ liệu của mỗi lần quan trắc được lưu vào một tệp riêng biệt với hai loại tin nhắn trị đo thu được là GGA và GST.



a) Trạm quan trắc thực nghiệm mô phỏng      b) Trạm CORS- CAMPHA

Hình 5. Khu vực bố trí trạm quan trắc thực nghiệm mô phỏng

### 3.1.3. Dữ liệu và kết quả quan trắc thực nghiệm mô phỏng

Dữ liệu quan trắc nhận được theo định dạng tiêu chuẩn NMEA với hai loại tin nhắn là GGA và GST. Ở (Bảng 3) là một đoạn dữ liệu quan trắc thực nghiệm mô phỏng ở lần quan trắc thứ nhất.

Bảng 3. Một đoạn dữ liệu quan trắc mô phỏng ở lần quan trắc thứ nhất.

```
$GNGGA,045915.00,2059.77350765,N,10716.19035748,E,1,10,0.9,21.233,M,-23.050,M,*,*66
$GNGST,045917.00,8.083,2.096,1.647,1.6,2.096,1.648,4.100*49
$GNGGA,045922.00,2059.77299225,N,10716.18966106,E,1,11,0.8,15.804,M,-23.050,M,*,*6C
$GNGST,045922.00,8.005,1.893,1.497,177.9,1.893,1.498,3.565*4E
$GNGGA,045927.00,2059.77228694,N,10716.18956554,E,1,20,0.6,14.195,M,-23.050,M,*,*61
$GNGST,045927.00,9.950,1.409,1.262,155.7,1.385,1.289,2.801*4A
$GNGGA,045932.00,2059.77212546,N,10716.18967398,E,1,22,0.6,13.296,M,-23.050,M,*,*61
$GNGST,045932.00,9.242,1.373,1.171,165.9,1.362,1.184,2.646*4A
$GNGGA,045937.00,2059.76848666,N,10716.18868776,E,4,19,0.6,4.153,M,-23.050,M,1.0,0000*75
$GNGST,045937.00,0.031,0.004,0.003,163.7,0.004,0.003,0.010*45
$GNGGA,045927.00,2059.77228694,N,10716.18956554,E,1,20,0.6,14.195,M,-23.050,M,*,*61
$GNGST,045927.00,9.950,1.409,1.262,155.7,1.385,1.289,2.801*4A
$GNGGA,045932.00,2059.77212546,N,10716.18967398,E,1,22,0.6,13.296,M,-23.050,M,*,*61
$GNGST,045932.00,9.242,1.373,1.171,165.9,1.362,1.184,2.646*4A
$GNGGA,045937.00,2059.76848666,N,10716.18868776,E,4,19,0.6,4.153,M,-23.050,M,1.0,0000*75
.....
```

Dữ liệu quan trắc được xử lý bằng phần mềm Server GNSS CORS WDM theo 6 bước đã trình bày ở Mục 2.2.2 và xác định được tọa độ và độ cao trạm quan trắc cũng như độ phân tán của nó. Ở (Bảng 4) thể hiện kết quả xử lý dữ liệu quan trắc độ lún ở chu kỳ thứ nhất.

Dữ liệu quan trắc thực nghiệm mô phỏng được xử lý qua 6 bước như đã trình bày ở trên bằng phần mềm Server GNSS CORS WDM được kết quả như ở (Bảng 4).

Bảng 4. Kết quả xử lý dữ liệu ở lần quan trắc thứ nhất

TT	Tọa độ trắc địa			Tọa độ VN-2000			Độ lệch chuẩn (mm)		
	B (°, ', ")	L (°, ', ")	H (m)	X(m)	Y(m)	h(m)	Vx	Vy	Vh
1	20 59 46,10905	107 16 11,32120	4,176	2323503,981	735754,164	4,176	-0,5	-3,8	7,3
2	20 59 46,10905	107 16 11,32116	4,189	2323503,981	735754,163	4,189	-0,5	-2,6	-5,7
3	20 59 46,10909	107 16 11,32120	4,184	2323503,983	735754,164	4,184	-1,9	-3,7	-0,7
4	20 59 46,10903	107 16 11,32124	4,182	2323503,981	735754,165	4,182	0,0	-5,0	1,3
5	20 59 46,10913	107 16 11,32117	4,179	2323503,984	735754,163	4,179	-3,0	-2,8	4,3
6	20 59 46,10903	107 16 11,32122	4,187	2323503,981	735754,164	4,187	0,0	-4,3	-3,7
7	20 59 46,10908	107 16 11,32122	4,182	2323503,982	735754,164	4,182	-1,5	-4,4	1,3
8	20 59 46,10913	107 16 11,32120	4,189	2323503,984	735754,164	4,189	-2,9	-3,9	-5,7
9	20 59 46,10911	107 16 11,32120	4,179	2323503,983	735754,164	4,179	-2,3	-3,7	4,3
10	20 59 46,10893	107 16 11,32113	4,182	2323503,978	735754,162	4,182	3,2	-1,7	1,3
...	.....	.....	.....	.....	.....	...	....	....	....
190	20 59 46,10892	107 16 11,32099	4,189	2323503,977	735754,158	4,189	3,5	2,1	-5,7
191	20 59 46,10895	107 16 11,32099	4,189	2323503,978	735754,158	4,189	2,5	2,3	-5,7
192	20 59 46,10890	107 16 11,32105	4,185	2323503,977	735754,160	4,185	4,0	0,4	-1,7
193	20 59 46,10889	107 16 11,32109	4,188	2323503,976	735754,161	4,188	4,4	-0,8	-4,7
194	20 59 46,10888	107 16 11,32110	4,184	2323503,976	735754,161	4,184	4,6	-0,9	-0,7
195	20 59 46,10890	107 16 11,32109	4,189	2323503,977	735754,161	4,189	4,2	-0,8	-5,7
196	20 59 46,10887	107 16 11,32108	4,188	2323503,976	735754,160	4,188	4,9	-0,3	-4,7
197	20 59 46,10894	107 16 11,32106	4,188	2323503,978	735754,160	4,188	2,9	0,1	-4,7
198	20 59 46,10890	107 16 11,32108	4,188	2323503,977	735754,160	4,188	4,1	-0,3	-4,7
199	20 59 46,10889	107 16 11,32105	4,184	2323503,977	735754,159	4,184	4,2	0,6	-0,7
TB	20 59 46,10903	107 16 11,32107	4,183	2323503,981	735754,160	4,183	0,0	0,2	-0,9

Độ lệch chuẩn của các thành phần tọa độ:

$$\sigma_x = 1,96 \text{ mm}$$

$$\sigma_y = 1,36 \text{ mm}$$

$$\sigma_h = 3,92 \text{ mm}$$

Dữ liệu quan trắc thực nghiệm mô phỏng ở các lần tiếp theo cũng được xử lý tương tự như ở lần thứ nhất. Từ kết quả xử lý dữ liệu quan trắc thực nghiệm mô phỏng của sáu lần đo, dựa vào tọa độ và độ cao của ăng ten xác định được, sẽ tính được độ chuyển dịch ngang, chuyển dịch đứng và chuyển dịch toàn phần. Các đại lượng chuyển dịch này được so sánh với giá trị chuyển dịch đo trực tiếp bằng thiết bị đo Laser. Các đại lượng chuyển dịch dựa và kết quả quan trắc và đại lượng chuyển dịch đo trực tiếp cũng như độ chênh lệch của nó được thể hiện như ở Bảng 5.

Bảng 5. Kết quả quan trắc thực nghiệm mô phỏng

TT	Chuyển dịch xác định bằng công nghệ GNSS/CORS				Chuyển dịch đo trực tiếp		Độ chênh lệch chuyển dịch	
	Q <sub>x</sub> (m)	Q <sub>y</sub> (m)	S (m)	Q <sub>p</sub> (m)	Q <sub>p</sub> (đo) (m)	S (đo) (m)	ΔQ <sub>p</sub> (m)	ΔS (m)
1	0,032	-0,012	-0,068	0,034	0,030	-0,057	0,004	0,011
2	0,057	-0,007	-0,009	0,057	0,060	-0,015	0,003	0,006
3	0,064	0,006	-0,056	0,064	0,073	-0,040	0,009	0,016
4	0,105	0,003	-0,064	0,105	0,109	0,049	0,004	0,015
5	0,182	0,013	-0,074	0,182	0,188	-0,088	0,007	0,014

Từ kết quả quan trắc thực nghiệm mô phỏng như ở Bảng 3, nhận thấy rằng chênh lệch về chuyển dịch ngang lớn nhất là 9 mm và chuyển dịch đứng lớn nhất là 16 mm.

### 3.2. Thực nghiệm thực tế

Thực nghiệm được tiến hành trên một khu vực bờ mỏ phía Bắc của mỏ than Cọc Sáu thuộc địa phận thành phố Cẩm Phả, tỉnh Quảng Ninh (Hình 6). Thời gian bắt đầu quan trắc từ ngày 16 tháng 7 năm 2023 và quan trắc liên tục trong thời gian dài. Độ cao trung bình bờ mỏ đặt trạm quan trắc khoảng +250 m, độ cao đáy mỏ đến thời điểm hiện tại là -300 m. Như vậy độ chênh cao từ bề mặt bờ mỏ quan trắc đến đáy mỏ khoảng 550 m. Với độ chênh cao lớn như vậy, cộng thêm với các hoạt động khai thác làm cho bề mặt bờ mỏ chuyển dịch, trượt lở rất nhanh. Để tiến hành quan trắc thực nghiệm ngoài thực địa, có 5 mốc đã được thiết kế gia công bằng thép không gỉ dễ lắp được ăng ten GNSS theo hình thức định tâm bắt buộc.





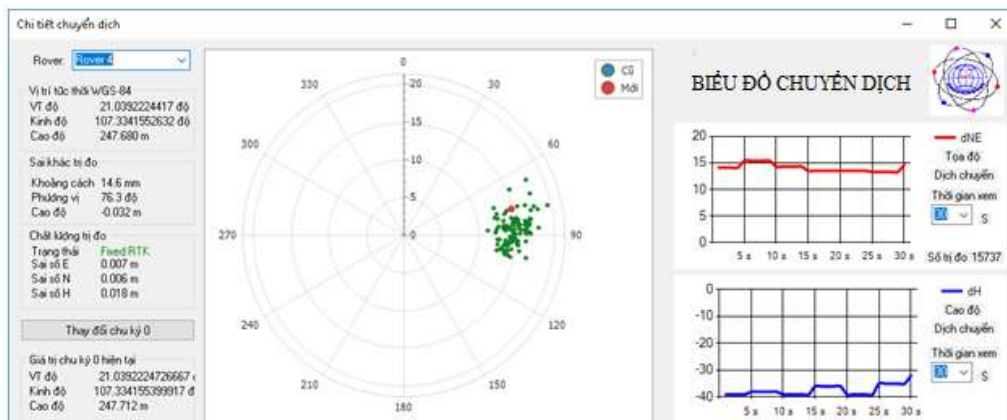
*Hình 6. Vị trí khu vực quan trắc thực nghiệm (mỏ than Cốc Sáu, thành phố Cẩm Phả, tỉnh Quảng Ninh)*

Các mốc được thi công và gắn lên bề mặt bờ mỏ bằng vữa xi măng ở những vị trí đã được thiết kế, lựa chọn và được đánh số từ P1 đến P5. Sau khi xi măng đông cứng, các mốc đã được gắn chắc chắn vào bề mặt bờ tầng thì tiến hành lắp đặt thiết bị cho trạm quan trắc. Ở (Hình 7) thể hiện một trạm quan trắc trượt lở đã được lắp đặt hoàn chỉnh trên bề mặt bờ mỏ Cốc Sáu.



*Hình 7. Trạm quan trắc trượt lở bờ mỏ đã được lắp đặt*

Các thao tác thực hiện tại trạm quan trắc trên bề mặt bờ mỏ cũng tương tự như thực nghiệm mô phỏng. Dữ liệu quan trắc theo định dạng tiêu chuẩn NMEA được tự động truyền về máy tính chủ của trạm CORS và được xử lý để xác định tọa độ và độ cao cho các mốc quan trắc. Quá trình xử lý dữ liệu quan trắc chuyển dịch bề mặt bờ mỏ cũng thực hiện tương tự như xử lý dữ liệu quan trắc mô phỏng, được thực hiện bằng phần mềm Server GNSS CORS WDM. Các thông tin về tọa độ, độ cao, cũng như sai số định vị và biểu đồ chuyển dịch được xử lý tức thời và hiển thị trên giao diện phần mềm được cài đặt trên máy tính chủ (Hình 8).



*Hình 8. Thông tin chi tiết quan trắc dịch chuyển, trượt lở đất đá theo thời gian thực*

Việc theo dõi quá trình chuyển dịch, trượt lở đất đá có thể được thực hiện bằng cách đăng nhập vào máy tính chủ theo địa chỉ IP và cổng kết nối đã được mở bằng điện thoại thông minh, do đó có thể theo dõi quá trình dịch chuyển, trượt lở đất đá theo thời gian thực ở mọi lúc, mọi nơi.



#### 4. Kết luận

Nghiên cứu này đã ứng dụng thành công công nghệ GNSS/CORS trong quan trắc chuyển dịch, trượt lở bờ mố lộ thiên. Hệ thống quan trắc dựa trên công nghệ GNSS/CORS đã được thiết kế bao gồm hệ thống trạm CORS và hệ thống trạm quan trắc. Một đóng góp của nghiên cứu này là thiết kế phát triển được bộ thu GNSS cho hệ thống trạm quan trắc dựa trên nền tảng công nghệ của hãng Trimble. Bộ thu GNSS được phát triển thu được tín hiệu vệ tinh trong hệ thống GNSS, nhận được số liệu cải chính từ trạm CORS, giải mã tín hiệu vệ tinh GNSS để chuyển về dữ liệu theo định dạng tiêu chuẩn NMEA-0183. Dữ liệu quan trắc được phân tích và xử lý qua 6 bước và được thực hiện bằng phần mềm tự phát triển đã nâng cao được độ chính xác kết quả quan trắc đến milimet.

Để đánh giá độ chính xác của hệ thống quan trắc, một thực nghiệm quan trắc mô phỏng chuyển dịch, trượt lở đất đá được tiến hành ở khu vực thành phố Cẩm Phả, Quảng Ninh. Qua thực nghiệm mô phỏng cho thấy độ chênh lệch lớn nhất về chuyển dịch ngang là 9 mm và chuyển dịch đứng là 16 mm. Thực nghiệm với số liệu thực tế được thực hiện trên bờ mố của mỏ than Cọc Sáu với 5 trạm quan trắc thực hiện trong một thời gian dài. Dữ liệu quan trắc được xử lý và xác định được tọa độ mặt bằng và độ cao của các mốc quan trắc với độ lệch chuẩn nhỏ hơn 4 mm. Các thông tin chi tiết của trạm quan trắc cũng như biểu đồ chuyển dịch được hiển thị trực quan trên màn hình máy tính chủ theo thời gian thực.

#### Tài liệu tham khảo

- Z. Abidin H, Andreas H, Gamal M, Surono S, Hendrasto M (2004). Studying Landslide Displacements in Megamendung (Indonesia) Using GPS Survey Method. *Itbj.Eng.Sci* 36(2):109-123.
- M.-B. Su, I.-H. Chen, C.-H. Liao (2009). Using TDR Cables and GPS for landslide monitoring in high mountain area. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 135(8), pp. 1113-1121.
- J.A. Gili, J. Corominas, J. Rius. (2000). Using global positioning system techniques in landslide monitoring. *Eng. Geol.*, 55(3), pp. 167-192.
- Cina, M. Piras (2015). Performance of low-cost GNSS receiver for landslides monitoring: test and results. *Geomat. Nat. Haz. Risk*, 6(5-7), pp. 497-514.
- T. Bellone, P. Dabove, A.M. Manzano, C. Taglioretti (2016). Real-time monitoring for fast deformations using GNSS low-cost receivers. *Geomat. Nat. Haz. Risk*, 7(2), pp. 458-470.
- W.Y. Zhao, M.Z. Zhang, J. Ma, B. Han, S.Q. Ye, Z. Huang (2021). Application of CORS in landslide monitoring. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 861(4), Article 042049.
- N. Shen, L. Chen, L. Wang, H. Hu, X. Lu, C. Qian, J. Liu, S. Jin, R. Chen. (2021). Short-term landslide displacement detection based on GNSS real-time kinematic positioning *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 70, pp.1-14.
- Y. Du, G. Huang, Q. Zhang, Y. Gao, Y. Gao. (2020). Asynchronous RTK Method for detecting the stability of the reference station in GNSS deformation monitoring. *Sensors*, 20(5), p. 1320.
- Bao Shu, Yuanhao He, Li Wang, Qin Zhang, Xinrui Li, Xuanyu Qu, Guanwen Huang, Wei Qu. Real-time high-precision landslide displacement monitoring based on a GNSS CORS network. *Measurement*, Volume 217, August 2023, 113056.
- Pengxu Wang, Hui Liu, Guigen Nie, Zhixin Yang, Jiaji Wu, Chuang Qian, Bao Shu (2022). Performance evaluation of a real-time high-precision landslide displacement detection algorithm based on GNSS virtual reference station technology. *Measurement*, Volume 199, August 2022, 111457.
- J. Paziewski (2016). Study on desirable ionospheric corrections accuracy for network-RTK positioning and its impact on time-to-fix and probability of successful single-epoch ambiguity resolution, *Adv. Space Res.* 57(4), 1098-1111.
- J. Cui, W. Tang, L. Jin, C. Deng, X. Zou, S. Gu (2018). An improved ionosphere interpolation algorithm for network RTK in low-latitude regions, *GPS Solut.* 22(4), 109.
- R. Odolinski, P.J.G. Teunissen, D. Odijk. Combined GPS+ BDS for short to long baseline RTK positioning, *Meas. Sci. Technol.* 26(4) (2015), 045801.
- Daniel Janos, Przemysław Kuras, Łukasz Ortyl (2022). Evaluation of low-cost RTK GNSS receiver in motion under demanding conditions. *Measurement*, Vol. 201, 30 September, 111647.
- Đặng Nam Chính, Đỗ Ngọc Đường (2012). Giáo trình định vị vệ tinh. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- Hoàng Ngọc Hà, Trương Quang Hiếu (2003). Cơ sở toán học xử lý số liệu trắc địa. Nhà xuất bản Giao thông vận tải, Hà Nội.
- Phạm Công Khải và nnk., (2023). Nghiên cứu thiết kế, chế tạo hệ thống quan trắc chuyển dịch công trình theo thời gian thực trên địa bàn thành phố Hà Nội. Báo cáo tổng hợp kết quả nghiên cứu đề tài cấp thành phố, mã số 01C-01/02-2020-3. Sở Khoa học và Công nghệ Hà Nội.

## ABSTRACT

### Real-time landslide monitoring at open-pit mining slope based on GNSS/CORS technology

Pham Cong Khai<sup>1\*</sup>, Nguyen Van Hai<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Hanoi University of Mining and Geology*

<sup>2</sup>*Thuy Loi University (Second campus), Ho Chi Minh City*

Real-time monitoring for early warning of landslides at open-pit mining slope is a very important issue to ensure the mining process is effective, economical and safe. Nowadays, there are many methods for landslide monitoring based on different technologies and equipment. However, landslide monitoring based on GNSS/CORS technology has many advantages such as monitoring in all weather conditions, continuously and in real time in three-dimensional space. The purpose of this study is to design and build a real-time monitoring system based on GNSS/CORS technology for early warning of landslides at open-pit mining levels. In this study, a real-time landslide monitoring system is designed and built, including a CORS station system and a monitoring station system. The CORS station system was designed and built in Cam Pha city, Quang Ninh with Trimble's Zephyr 2 Geodetic antenna and Stonex's GNSS receiver. The monitoring station system was self-designed and developed in both hardware and software, ensuring the process of data collection, transmission, processing and warning in real time. The monitoring data collected in standard NMEA0183 format is processed by self-designed and developed methods and software, improving the accuracy of monitoring results to mm. A simulated landslide monitoring experiment was conducted in Cam Pha city, Quang Ninh and a real experiment at Coc Sau coal mine slope confirmed the feasibility of the solution in real-time landslide monitoring.

**Keywords:** GNSS/CORS Technology, Landslide, Real-time, Coc Sau coal mine.