

Đo bề dày lớp nhựa đường bộ bằng phương pháp radar xuyên đất

Nguyễn Hữu Tâm *



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

TÓM TẮT

Bề dày và độ ẩm của lớp nhựa bề mặt là hai thông số quan trọng, góp phần đánh giá chất lượng đường bộ. Thông thường, những thông số này được đo đạc bằng cách khoan, đào và lấy mẫu, gây phá hủy cấu trúc, mất thời gian và dữ liệu thu nhận bị gián đoạn, không liên tục. Radar xuyên đất là phương pháp địa vật lý sử dụng sóng điện từ ở dãy tần số cao phát dưới dạng xung xuống đất nên có độ phân giải và độ chính xác tốt. Bằng việc đo đạc bên trên mặt đường, dữ liệu thu nhận được có thể tiết lộ ranh giới các phân lớp tầng nòng mà không gây phá hủy. Nhờ vào các thuật toán đối với xung sóng, có thể tính được giá trị vận tốc sóng đất, đặc trưng cho vận tốc truyền sóng trong phân lớp đầu tiên. Từ đó, người khảo sát có thể xác định chính xác bề dày và độ ẩm lớp nhựa đường trên toàn bộ tuyến đo, việc xác định chính xác bề dày lớp và các khiếm khuyết của lớp nhựa bề mặt góp phần cải thiện, phục hồi chất lượng đường bộ. Bài báo này trình bày các kết quả sử dụng tần số 700 MHz và 1000 MHz tiến hành khảo sát thực tế, thu thập dữ liệu, nhằm mục đích kiểm chứng độ chính xác các thuật toán xử lý, đánh giá sai số của kết quả tính toán ban đầu. Việc sử dụng Radar xuyên đất trong đo bề dày lớp nhựa là phương pháp tiềm năng giúp tăng hiệu quả công tác thẩm định chất lượng đường bộ trong tương lai.

Từ khóa: mặt đường nhựa, radar xuyên đất, đường bộ, không phá hủy

GIỚI THIỆU

Radar xuyên đất (Ground penetrating radar, GPR) hoạt động theo nguyên tắc sóng điện từ phát ra từ một anten phát dưới dạng xung, lan truyền trong vật chất với vận tốc được quyết định chủ yếu bởi tính chất điện của vật liệu. Khi sóng lan truyền vào vật chất bên dưới mặt đất, nếu nó gặp các bất đồng nhất hoặc các mặt ranh giới giữa các môi trường có tính chất điện khác nhau, một phần năng lượng sóng sẽ phản xạ trở lại mặt đất trong khi phần năng lượng còn lại tiếp tục di chuyển xuống dưới. Sóng phản xạ lại được ghi nhận bởi anten thu và lưu trữ trong bộ nhớ của thiết bị. Khi anten di chuyển dọc theo tuyến khảo sát, một loạt các đường ghi được tập hợp ở các thời điểm rời rạc và được sắp xếp cạnh nhau để hình thành mặt cắt trên màn hình, thời gian lan truyền của sóng điện từ từ lúc phát, lan truyền trong môi trường vật chất và phản xạ lại anten thu thay đổi từ vài chục đến vài ngàn nano giây, đòi hỏi thiết bị phải đảm bảo độ chính xác cao để ghi nhận thời gian lan truyền của sóng trong môi trường từ lúc bắt đầu đến khi phản xạ trở lại. Trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng radar xuyên đất để đo bề dày lớp nhựa tại các vị trí từ đó hoàn thiện phương pháp, đánh giá khả năng sử dụng radar xuyên đất cho bề dày lớp nhựa đường bộ.

PHƯƠNG PHÁP

Cơ sở lý thuyết

Theo lý thuyết về trường điện từ¹, gần đúng vận tốc truyền sóng điện từ có thể được tính theo công thức:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

Có thể thấy rằng, vận tốc truyền sóng điện từ phụ thuộc chủ yếu vào độ điện thẩm tương đối của môi trường.

Từ đó, bề dày lớp nhựa có thể tính bằng công thức sau:

$$d_1 = \frac{ct_1}{2\sqrt{\epsilon_{r,1}}} \quad (2)$$

Ở đây t_1 (s) là thời gian đi về của tín hiệu radar xuyên đất trong trong bề mặt phân lớp có thể thu được từ dữ liệu radar xuyên đất. Thời gian t_1 được xác định bằng việc xác định khoảng thời gian giữa biên độ sóng cực đại tại vị trí mặt phản xạ trên và mặt phản xạ dưới².

Hệ thống và phương pháp đo

Hệ thống đo sát mặt đất

Để xác định bề dày lớp nhựa đường bằng Radar có nhiều hệ thống đo bao gồm: đo sát mặt đất, đo gần mặt đất, hệ thống đo CMP và X CMP³... Hệ thống đo sát mặt đất được sử dụng phổ biến, với hệ thống

Phòng Quản lý Công nghệ, Sở Khoa học và Công nghệ Long An

Liên hệ

Nguyễn Hữu Tâm, Phòng Quản lý Công nghệ, Sở Khoa học và Công nghệ Long An

Email: tamnh@longan.gov.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 05-12-2018
- Ngày chấp nhận: 28-5-2019
- Ngày đăng: 30-9-2019

DOI: 10.32508/stdjns.v3i3.593



Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Trích dẫn bài báo này: N H T. Đo bề dày lớp nhựa đường bộ bằng phương pháp radar xuyên đất. Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.; 3(3):150-159.

đo sát mặt đất ăngten nằm gần với cấu trúc khảo sát nên việc tính hằng số điện môi dựa trên số liệu khảo sát tương đối khó khăn và cần phải xác định hằng số điện môi bằng hiệu chuẩn lõi khoan hoặc sử dụng giá trị chuẩn sẵn có trong tài liệu, kinh nghiệm và phòng thí nghiệm. Tốc độ khảo sát tương đối chậm đối với hệ thống sát mặt đất tuy nhiên ưu điểm của phương pháp là giảm nhiễu và dữ liệu thu được có độ chính xác cao. Hệ thống đo gần mặt đất sử dụng cặp ăngten đứng đặt cách mặt đất một khoảng cách nhất định, việc sử dụng hệ thống đo gần mặt đất thuận lợi cho khảo sát mặt đường do tốc độ đo tương đối nhanh, hệ thống gắn trực tiếp lên phương tiện di chuyển với tốc độ nhất định. Hằng số điện môi có thể được tính từ dữ liệu phản xạ mặt đất, tuy nhiên phương pháp đo trên bị hạn chế bởi nhiễu và độ phân giải thấp hơn do hệ thống ăngten đặt cách mặt đất một khoảng nhất định.

Trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng 02 hệ thống Radar tần số 700 MHz đo sát mặt đất và tần số 1000 MHz đo cách mặt đất một khoảng 1m. Với giá trị hằng số điện môi chuẩn bằng 4¹. Sơ đồ tuyến đo Radar được trình bày theo **Hình 1**.

Sai số do sóng không khí

Đối với việc khảo sát GPR bằng hệ thống đo sát mặt đất do sóng không khí và sóng phản xạ mặt trên của lớp nhựa gần như chồng chập vào nhau nên việc sử dụng bộ lọc nền để xác định vị trí lớp nhựa trên cho kết quả không chính xác thậm chí có thể làm sai lệch, ảnh hưởng dữ liệu lớp phản xạ của lớp nhựa bên dưới. Do khoảng thời gian ghi-nhận sóng chênh lệch giữa sóng phản xạ trên và sóng không khí là không lớn, nên đối với việc sử dụng radar có tần số 700 MHz chúng ta có thể căn chỉnh đỉnh sóng để xác định giá trị sai số do ảnh hưởng của sóng không khí⁴.

Vận tốc của sóng GPR trong không khí $v_0 = 3 \times 10^8$ m/s với hằng số điện môi là 1. Quãng đường đi của sóng phản xạ của lớp nhựa trên được tính theo công thức :

$$S = 2\sqrt{h^2 + \left(\frac{\Delta x}{2}\right)^2} \quad (3)$$

Từ sơ đồ thu nhận sóng (**Hình 2**) ta tính được thời gian truyền sóng của sóng phản xạ trên là :

$$t_1 = \frac{s}{v} \quad (4)$$

Đồng thời ta cũng tính được thời gian truyền của sóng không khí :

$$t_0 = \frac{\Delta x}{v_0} \quad (5)$$

Sự chênh lệch thời gian ghi nhận giữa 2 sóng :

$$\Delta t_e = t_1 - t_0 \quad (6)$$

Sai số :

$$E = \frac{\Delta t_e}{\Delta t} \times 100\% \quad (7)$$

Trường hợp đo sát mặt đất bằng GPR sóng không khí và sóng phản xạ của lớp nhựa trên tạo nên sự chồng chập sóng. Ta có :

$$|A_1| > |A_3| > |A_2|$$

Do sóng không khí sẽ đến máy ghi trước nên vị trí đỉnh sóng chồng chập sẽ nằm giữa vị trí sóng không khí và sóng phản xạ, đồng thời do giá trị biên độ sóng không khí tương đối lớn so với sóng tổng hợp và sóng phản xạ nên vị trí biên độ của sóng tổng hợp sẽ lệch về vị trí của sóng không khí nhiều hơn. Từ đó ta tính được sai số tương đối của việc xác định vị trí lớp nhựa trên do ảnh hưởng của sóng không khí.

$$0 \leq e \leq \frac{E}{2} \quad (8)$$

Như vậy việc đo bằng hệ thống đo sát mặt đất đồng nghĩa với sự chồng chập của sóng không khí và sóng phản xạ lớp trên gây ra sai số e ảnh hưởng đến kết quả tính toán bề dày lớp nhựa. Để hạn chế sai số này chúng ta sử dụng hệ thống đo gần mặt đất bằng việc sử dụng ăngten radar đo cách mặt đất một khoảng nhất định.

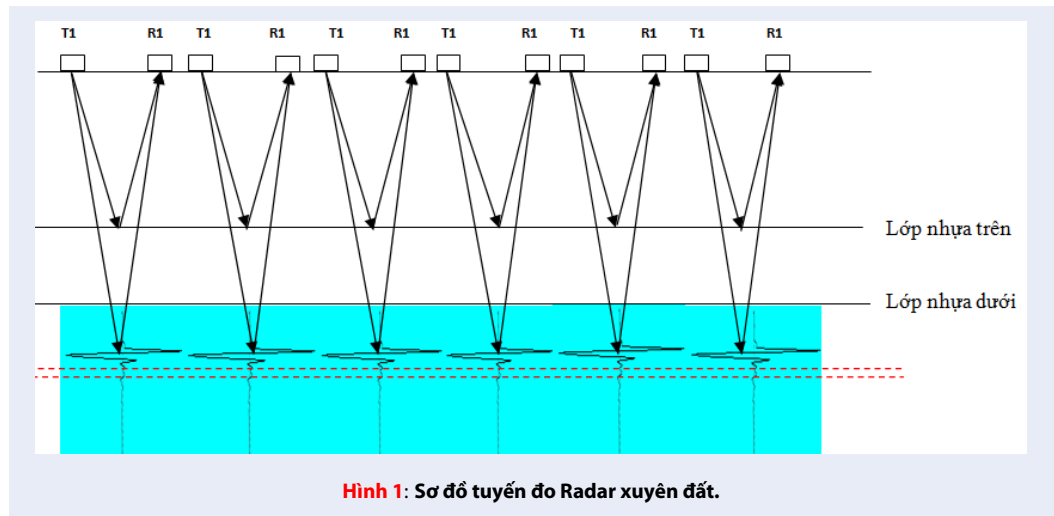
Hệ thống đo gần mặt đất và phương pháp đo

Hình 3 trình bày sơ đồ hệ thống đo gần mặt đất. Khi sử dụng hệ thống đo gần mặt đất sẽ có sự phân biệt rõ nét giữa sóng không khí và sóng phản xạ lớp trên, từ đó sử dụng bộ lọc nền có thể loại bỏ gần như hoàn toàn ảnh hưởng của sóng không khí trong lát cắt. Tuy nhiên việc xác định ranh giới lớp nhựa dưới sẽ khó khăn do sự chồng chập với tín hiệu sóng đất. Tín hiệu sóng phản xạ dưới và sóng đất có biên độ khác nhau khi chồng chập vào nhau tạo dạng sóng đặc trưng và có thể phân biệt bằng trực quan trên lát cắt sau lọc.

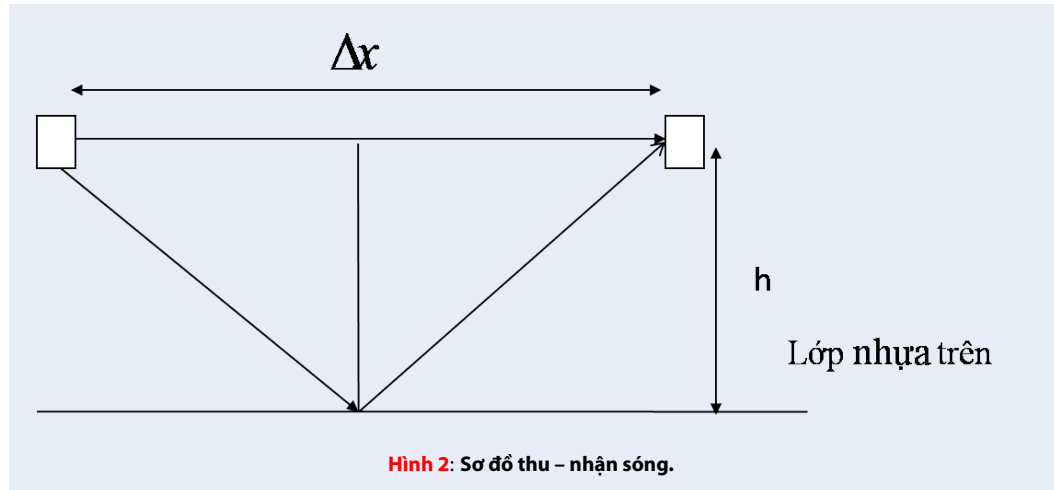
Phương pháp đo

Các bước để tiến hành thu thập dữ liệu Radar xuyên đất:

- Sử dụng hệ thống đo thu thập dữ liệu GPR.
- Hiệu chỉnh giá trị t_0 .
- Loại bỏ ảnh hưởng của sóng không khí bằng căn chỉnh sai số đối với hệ thống đo sát mặt đất hoặc sử dụng bộ lọc nền đối với hệ thống đo gần mặt đất.
- Xác định giá trị vị trí lớp phản xạ trên và lớp phản xạ dưới.
- Xác định sai số.



Hình 1: Sơ đồ tuyến đo Radar xuyên đất.



Hình 2: Sơ đồ thu - nhận sóng.

KẾT QUẢ

Số liệu trên tuyến Quốc lộ 1 bằng hệ thống đo sát mặt đất

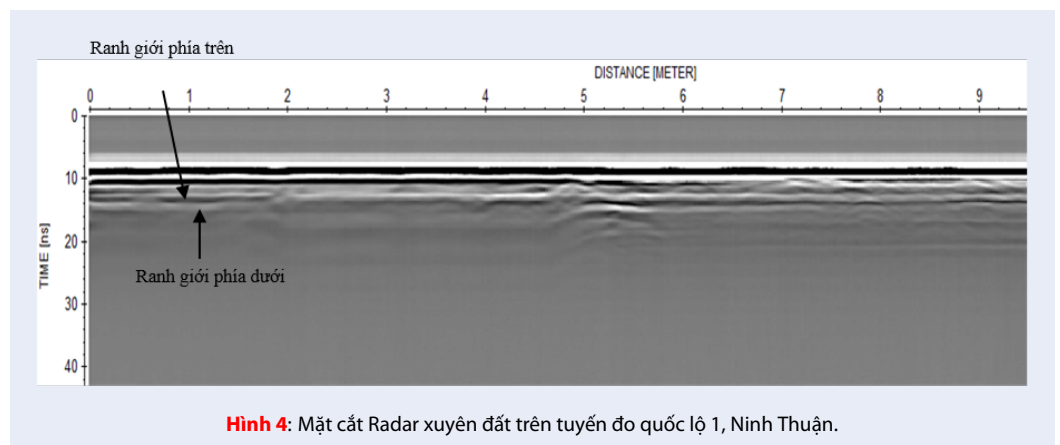
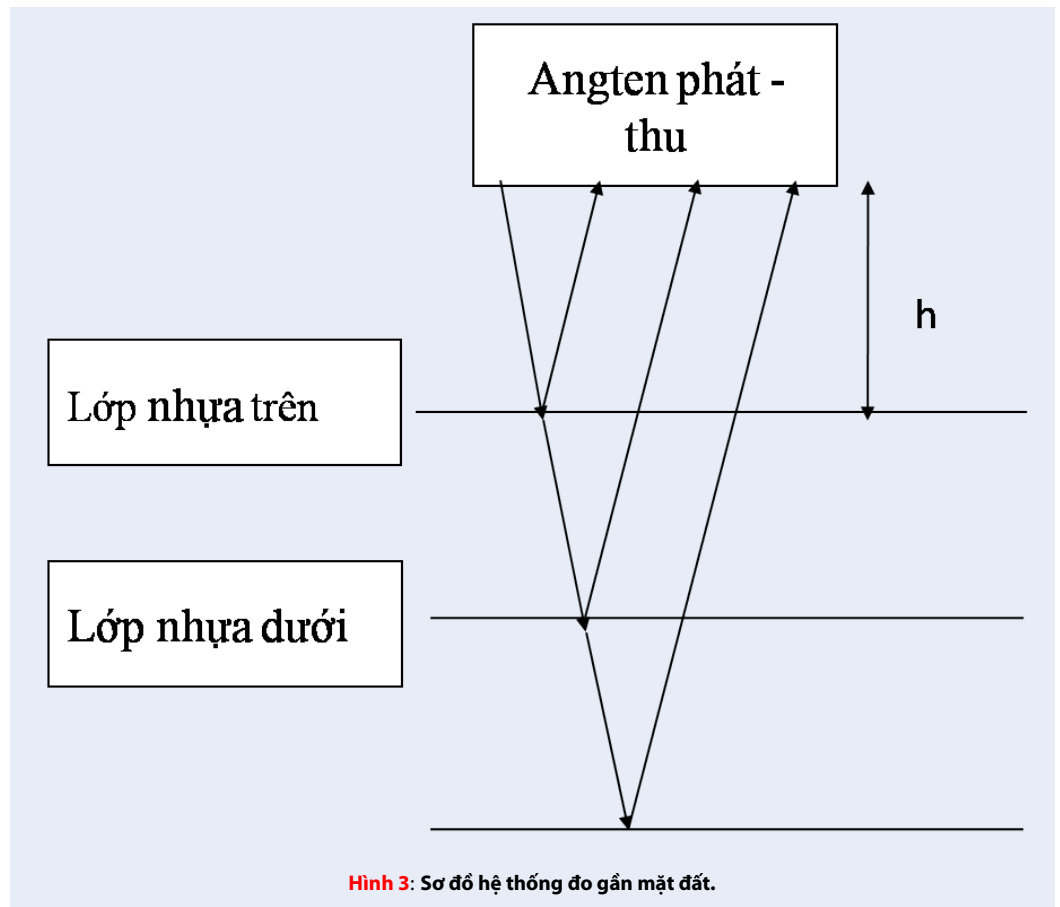
Hình 4 là sơ đồ tuyến đo đoạn Quốc lộ 1, Ninh Thuận sử dụng máy Detector Duo (hãng IDS – Ý) (tần số 700 MHz) tiến hành đo sát mặt đất. Độ dài tuyến đo là 32 m khoảng cách thu nhận sóng là 0,027 m, khoảng thời gian ghi nhận sóng là 0,25 ns. Dữ liệu được đo bằng hệ thống đo sát mặt đất. Từ hai giá trị đỉnh sóng của lớp nhựa bên trên và lớp nhựa bên dưới giá trị thời gian đi-về được xác định, từ đó ta tính được bề dày của lớp. Giá trị cực đại biên độ sóng phản xạ, sự phân bố theo phương ngang của mặt phản xạ tại lớp nhựa trên và lớp nhựa dưới thể hiện rõ nét trong mặt cắt Radar xuyên đất.

Giá trị sai số do sự chống chập của sóng không khí và lớp phản xạ trên tính được từ công thức Equation (8) là $e \approx 3\%$. Như vậy ảnh hưởng do sóng không khí đến

việc xác định bề dày lớp nhựa tương đối nhỏ. Việc tính toán độ dày lớp phụ thuộc rất nhiều vào hằng số điện môi, với một giá trị hằng số điện môi biết trước, ta có thể tính được giá trị độ dày, điều này đồng nghĩa với việc thừa nhận một giá trị độ điện thẩm trung bình cho toàn phân lớp. Tần số 700 MHz cho thời gian thu-phát sóng là 0,25 ns, thời gian này chưa thể cho một kết quả chính xác cao trong việc xác định bề dày lớp nhựa. Sai số do thời gian thu-phát khi dùng tần số 700 MHz có thể lên đến 13 %, sai số này tương đối cao.

Dựa vào giá trị biên độ đỉnh ta có thể tính được thời gian đi về giữa 2 lớp (Hình 5) vào khoảng 1,25 ns từ đó bề dày của lớp được xác định vào khoảng 9,375 cm. Bề dày lớp phân bố theo phương ngang như nhau do việc sử dụng hằng số điện môi trung bình.

Bảng 1 thể hiện sai số của độ dày phụ thuộc vào sự thay đổi sai số hằng số điện môi, theo đó với việc sử dụng hằng số điện môi chuẩn, việc sai lệch 0,1 đơn vị





Hình 5: Thời gian đi-về của sóng trên một đường ghi.

Bảng 1: Sai số của độ dày phụ thuộc vào sự thay đổi sai số hằng số điện môi

STT	ϵ	d	Sai số (%)
1	4	13,125	0
2	4,1	12,963	1,234
3	4,2	12,808	2,415
4	4,3	12,658	3,555
5	4,4	12,514	4,655
6	4,5	12,374	5,721
7	4,6	12,239	6,750
8	4,7	12,108	7,748
9	4,8	11,981	8,716
10	4,9	11,858	9,653
11	5	11,739	10,560

giá trị hằng số điện môi sẽ dẫn đến sai số vào khoảng 1,181 %. **Hình 6** biểu diễn sự phụ thuộc độ dày lớp nhựa vào sai số gây ra bởi hằng số điện môi, nếu điện môi của lớp nhựa không chính xác giá trị sai số khi tính toán bề dày lớp sẽ rất lớn.

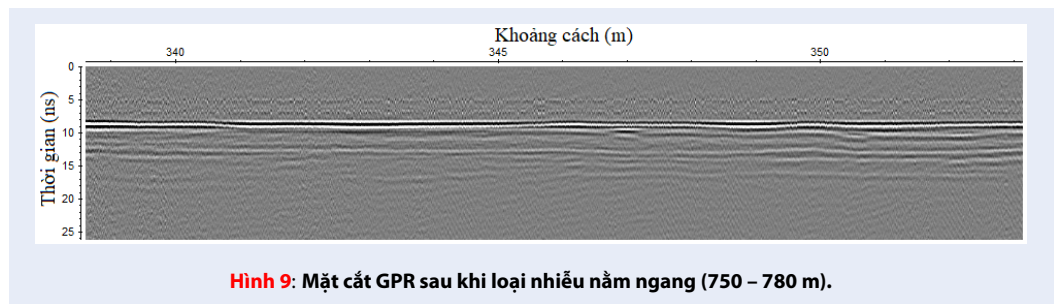
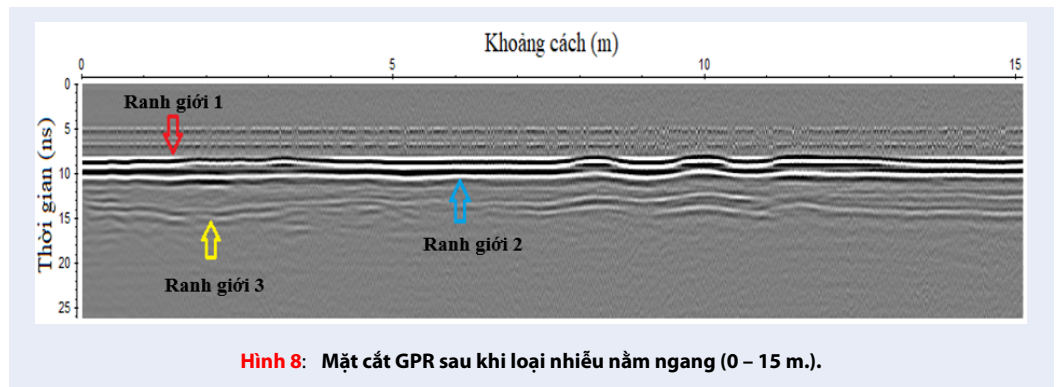
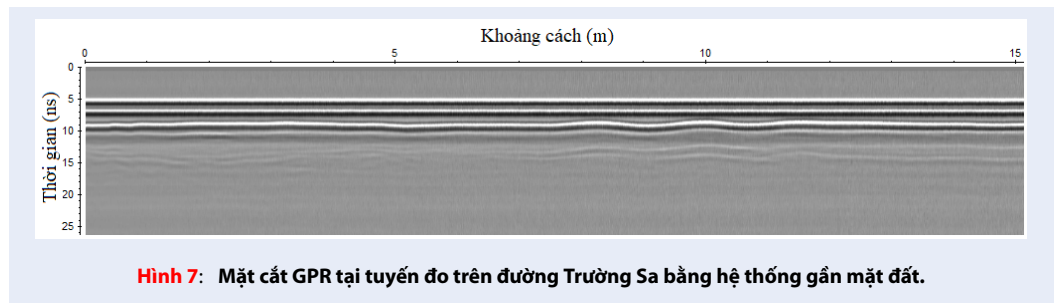
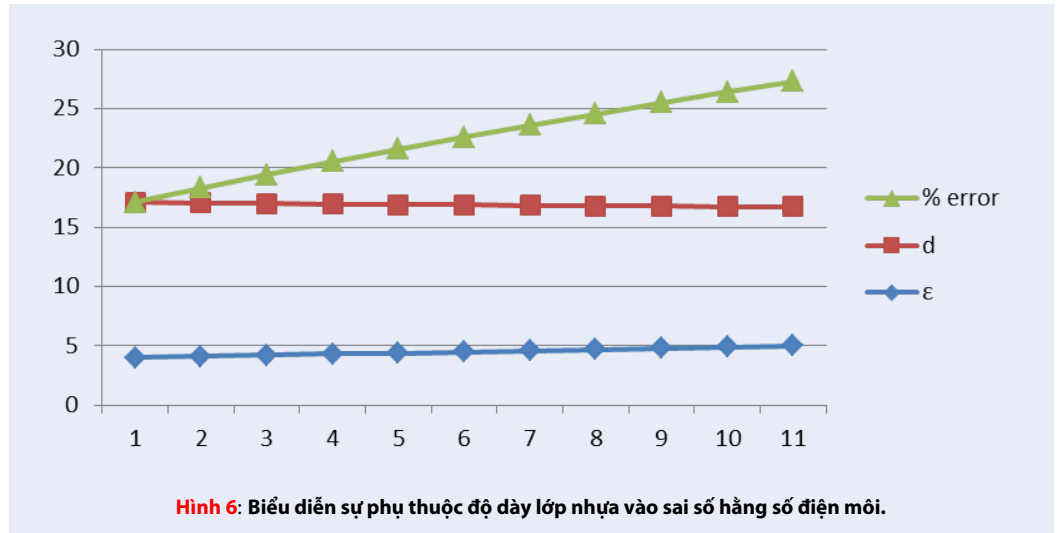
Số liệu thực tế tại đường Trường Sa, Quận Bình Thạnh, TP.HCM bằng hệ thống đo gần mặt đất

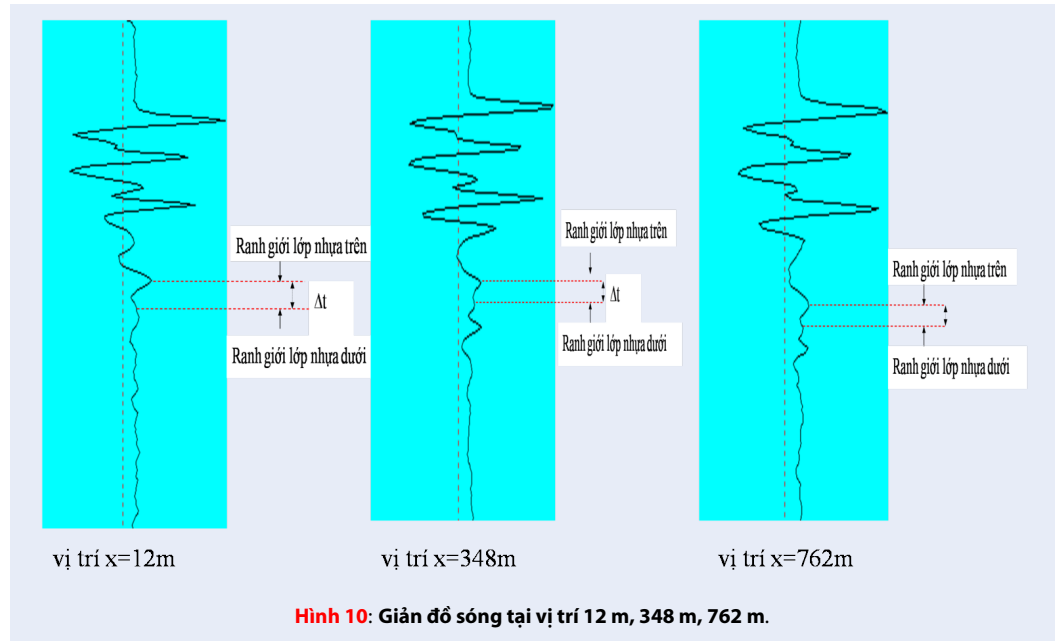
Thiết bị sử dụng là RIS Hi-Pave (hãng IDS – Ý), với anten tần số 1000 MHz. Tuyến đo được thực hiện bằng xe, kéo dài 1 km trên đường Trường Sa, TP.HCM.

Hình 7 thể hiện mặt cắt GPR đo bằng hệ thống đo gần mặt đất, sóng không khí được nhận diện rõ nét trên mặt cắt, **Hình 8** cho thấy vị trí ranh giới 1 và ranh

giới 2 chịu ảnh hưởng mạnh của sóng không khí, vị trí ranh giới 3 lớp nhựa dưới bị ảnh hưởng của sự chồng chập giữa sóng đất và sóng phản xạ. Sau khi sử dụng bộ nền, sóng không khí gần như bị loại bỏ (**Hình 9**).

Hình 10 trình bày giản đồ sóng tại các vị trí 12 m, 348 m, 762 m. Các giá trị bề dày tính được tương ứng là 7,12 cm, 8,3 cm và 8,1 cm. Các bề dày ở từng vị trí có khác nhau tuy nhiên độ chênh lệch giữa các giá trị là không lớn, trên thực tế bề dày lớp nhựa có thể khác ở mỗi vị trí do do nhiều yếu tố⁵, một số vị trí có thể được lát dày hơn hoặc mỏng hơn do tính chất của bề mặt bên dưới lớp nhựa. **Bảng 2** trình bày chi tiết hơn mối liên hệ giữa bề dày lớp nhựa theo vị trí đo, bề dày lớp cao nhất đo được vào khoảng 9,51 cm và nhỏ nhất vào khoảng 7,08 cm.





Hình 10: Giản đồ sóng tại vị trí 12 m, 348 m, 762 m.

Bề dày trung bình lớp nhựa đo bằng hệ thống gắn mặt đất với các vị trí đo trên thu được là 8 cm. Tại một số vị trí sự chồng chập giữa sóng không khí và sóng đất rất mạnh nên rất khó xác định ranh giới lớp nhựa dưới bằng trực quan.

THẢO LUẬN

Bề dày trung bình của lớp nhựa khi sử dụng hệ thống đo sát mặt đất được xác định vào khoảng 9,375 cm. Bề dày trung bình lớp nhựa đo bằng hệ thống gắn mặt đất với các vị trí đo trên thu được là 8 cm. Ở cả hai tuyến đo thông tin tiên nghiệm bề dày lớp nhựa đều là 7,5 cm. Như vậy trong trường hợp này việc sử dụng hệ thống đo sát mặt đất cho sai số lên đến 25%, sai số lớn này chủ yếu đến từ việc sử dụng tần số 700 MHz có độ phân giải thấp. và ảnh hưởng của sóng không khí. Đối với hệ thống đo gắn mặt đất sử dụng tần số 1 GHz kết quả đo cho sai số vào khoảng 7% (5 mm), sai số chủ yếu từ việc chọn hằng số điện môi trung bình, trên thực tế giá trị hằng số điện môi của lớp nhựa có thể dao động từ 4-6 tùy thuộc vào nhiều yếu tố.

KẾT LUẬN

Qua những kết quả sơ khởi, có thể thấy rằng, sử dụng hệ thống đo GPR sát mặt đất (kiểu khoảng cách chung), áp dụng bằng vận tốc chuẩn, ta có thể xác định được giá trị bề dày lớp nhựa trong một giới hạn sai số cho phép. Sử dụng hai hệ thống đo sát mặt đất và hệ thống đo gắn mặt đất, ta thu được giá trị bề dày trung bình tương ứng là 9,375 cm và 8 cm. Hệ thống đo sát mặt đất cho sai số tương đối cao do sự chồng chập của sóng

không khí và lớp phản xạ trên và do tần số 700 MHz có độ phân giải thấp. Hệ thống đo gắn mặt đất, sử dụng tần số cao 1000 MHz cho kết quả phù hợp hơn rất nhiều. Vì vậy, hệ thống đo gắn mặt đất có thể phù hợp hơn đối với nhu cầu khảo sát trên.

Tuy nhiên hệ thống đo sát mặt đất vẫn có thể cho kết quả với sai số thấp hơn, nếu có được phương pháp hoặc thuật toán cụ thể để tách biệt sóng không khí và sóng phản xạ từ lớp bề mặt, và sử dụng anten có tần số cao. Cả hai phương pháp đều có sai số do việc sử dụng giá trị vận tốc chuẩn. Do đó, cần có những nghiên cứu sâu hơn hoặc phương pháp xác định giá trị điện môi theo phân lớp ngang để kết quả có sai số thấp nhất.

Nghiên cứu trên cho thấy, Radar xuyên đất là phương pháp tiềm năng để xác định bề dày lớp nhựa. Tuy nhiên, để hoàn thiện kỹ thuật đo này, ta cần tiếp tục nghiên cứu về việc tính toán sự phân bố vận tốc (dẫn đến sự phân bố độ điện thẩm tương đối) theo phương ngang. Đồng thời, cần tiếp cận những phương pháp tốt hơn nhằm loại bỏ ảnh hưởng của sóng không khí trong trường hợp đo bề dày lớp nhựa bằng hệ thống đo sát mặt đất, khi bộ lọc nền không còn hữu dụng, nhằm giảm sai số đến mức tối thiểu. Đối với hệ thống đo gắn mặt đất, cần nghiên cứu sử dụng các phương pháp đo hoặc thuật toán để tách biệt sóng đất và sóng phản xạ tại ranh giới phía dưới của lớp nhựa.

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

- GPR: Radar xuyên đất
- CMP: Điểm giữa chung

Bảng 2: Sự phân bố bề dày lớp theo vị trí tuyến đo

Vị trí trên tuyến đo (m)	Thời gian giữa 2 lớp Δt (ns)	Bề dày lớp nhựa (cm)
10	1,101	8,257
50	1,143	8,572
90	1,149	8,617
130	1,148	8,610
170	1,150	8,625
210	1,149	8,617
250	1,268	9,510
290	0,951	7,132
330	0,957	7,177
370	1,110	8,325
410	0,945	7,087
450	1,109	8,317
490	1,111	8,332
530	1,095	8,212
570	1,090	8,175
610	0,951	7,132
650	0,957	7,177
690	0,951	7,132
730	1,101	8,257
770	1,109	8,317
810	1,109	8,317
850	0,951	7,132
890	1,110	8,325
930	0,951	7,132
970	0,949	7,117

XCMP: Điểm giữa chung mở rộng

IDS: Hệ thống kỹ thuật

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Tác giả cam đoan không có xung đột lợi ích trong công bố bài báo “đo bề dày lớp nhựa đường bộ bằng phương pháp Radar xuyên đất”.

ĐÓNG GÓP CỦA TÁC GIẢ

Tác giả Nguyễn Hữu Tâm phân tích giải thích dữ liệu và viết bản thảo, khảo sát, thu thập số liệu thực địa.

LỜI CẢM ƠN

Tác giả xin chân thành cảm ơn trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM đã tạo điều kiện về chuyên môn và trong khảo sát số liệu để thực hiện bài báo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Thành Vãn, Nguyễn Văn Giảng. Radar xuyên đất – Phương pháp và ứng dụng. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia TPHCM. 2013;p. 222.
2. Al-Qadi IL, Lahouar S. Measuring layer thicknesses with GPR-Theory to practice. Construction and Building Materials Journal. 2005;p. 763–772.
3. Plati C, Loizos A. Estimation of in-situ density and moisture content in HMA pavements based on GPR trace reflection amplitude using different frequencies. Journal of Applied Geophysics. 2013;97:3–10.

4. Harry MJ. Ground Penetrating Radar: Theory and Applications. Oxford, UK; 2009. các hố ngầm và một số công trình ngầm trên địa bàn thành phố HCM. Đề tài Sở Khoa học & Công nghệ TPHCM. 2011;.
5. Nguyễn Thành Vấn và nnk. Xây dựng qui trình vận hành thiết bị, thu thập, xử lý, minh giải số liệu radar xuyên đất để xác định

Measurement of asphalt pavement layer thickness of road using ground penetrating radar

Nguyen Huu Tam*



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

ABSTRACT

Thickness and moisture content of the asphalt surface are two important parameters, contributing to the assessment of road quality. Typically, these parameters are measured by drilling and sampling, causing structural damage, time loss and intermittent data acquisition. Ground Penetrating Radar is a geophysical method that uses electromagnetic waves at high frequency ranges to form pulses into the ground, so it has good resolution and accuracy. By measuring above the road surface, the data obtained can reveal the boundaries of shallow layers without causing destruction. Relying upon algorithms for wave impulse, we can calculate the value of earth wave velocity, characteristic of the wave propagation velocity in the first subclass. Therefore, the surveyor can accurately determine the thickness and moisture content of asphalt on the entire route, the accurate determination of layer thickness and defects of surface layer of plastic contributes to improving and restoring road quality. This paper presents the results of using 700 MHz and 1000 MHz frequencies to conduct field surveys and collect data, in order to verify the accuracy of processing algorithms, and evaluate the errors of initial calculation results. The use of Ground Penetrating Radar to measure the thickness of the plastic layer is a potential method to increase the effectiveness of road quality appraisal in the future.

Key words: asphalt pavement, Ground Penetrating Radar, road, nondestructive

Technology Management Division,
Department of Science and Technology
of Long An Province

Correspondence

Nguyen Huu Tam, Technology
Management Division, Department of
Science and Technology of Long An
Province

Email: tamnh@longan.gov.vn

History

- Received: 05-12-2018
- Accepted: 28-5-2019
- Published: 30-9-2019

DOI : 10.32508/stdjns.v3i3.593



Copyright

© VNU-HCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Cite this article: Huu Tam N. Measurement of asphalt pavement layer thickness of road using ground penetrating radar. *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.*; 3(3):150-159.