

## **SỬ DỤNG TRO XÍ NHIỆT ĐIỆN LÀM VẬT LIỆU SAN LẤP**

**TS. ĐINH QUỐC DÂN, PGS. TS. ĐOÀN THẾ TƯỜNG, KS. ĐỖ NGỌC SƠN**

Viện KHCN Xây dựng

*Tóm tắt: Tiêu thụ và xử lý tro xỉ phát thải từ các nhà máy nhiệt điện là nhiệm vụ cần thiết hiện nay. Trong số các giải pháp khả thi, việc sử dụng tro xỉ làm vật liệu san lấp là giải pháp tiềm năng cho phép tiêu thụ khối lượng lớn tro xỉ. Trong khuôn khổ bài viết nhóm tác giả đã tiến hành nghiên cứu đặc trưng kỹ thuật của tro xỉ tại một số nhà máy nhiệt điện đốt than. Các kết quả nghiên cứu tập trung vào đặc trưng tính chất địa kỹ thuật và giải pháp kỹ thuật nâng cao đặc tính của hỗn hợp tro xỉ. Trên cơ sở đó đánh giá điều kiện kỹ thuật áp dụng tro xỉ vào san lấp.*

*Từ khóa: Sản phẩm đốt than, tro xỉ nhiệt điện, vật liệu san lấp, đặc trưng cơ lý*

*Abstracts: Presently, the consumption and handling with coal ash from thermal power plants are becoming extremely necessary. Whithin the possible solutions, the use of coal ash as a backfill material is a potential solution for consuming the mass volume of coal ash. In this paper, the authors have researched technical features of coal ash from some thermal power plants. The research results concentrate on physical-mechanical, geotechnical characteristic properties and technical solutions to promote properties of coal ash mixture. Based on that to assess technical conditions to apply coal ash to backfill.*

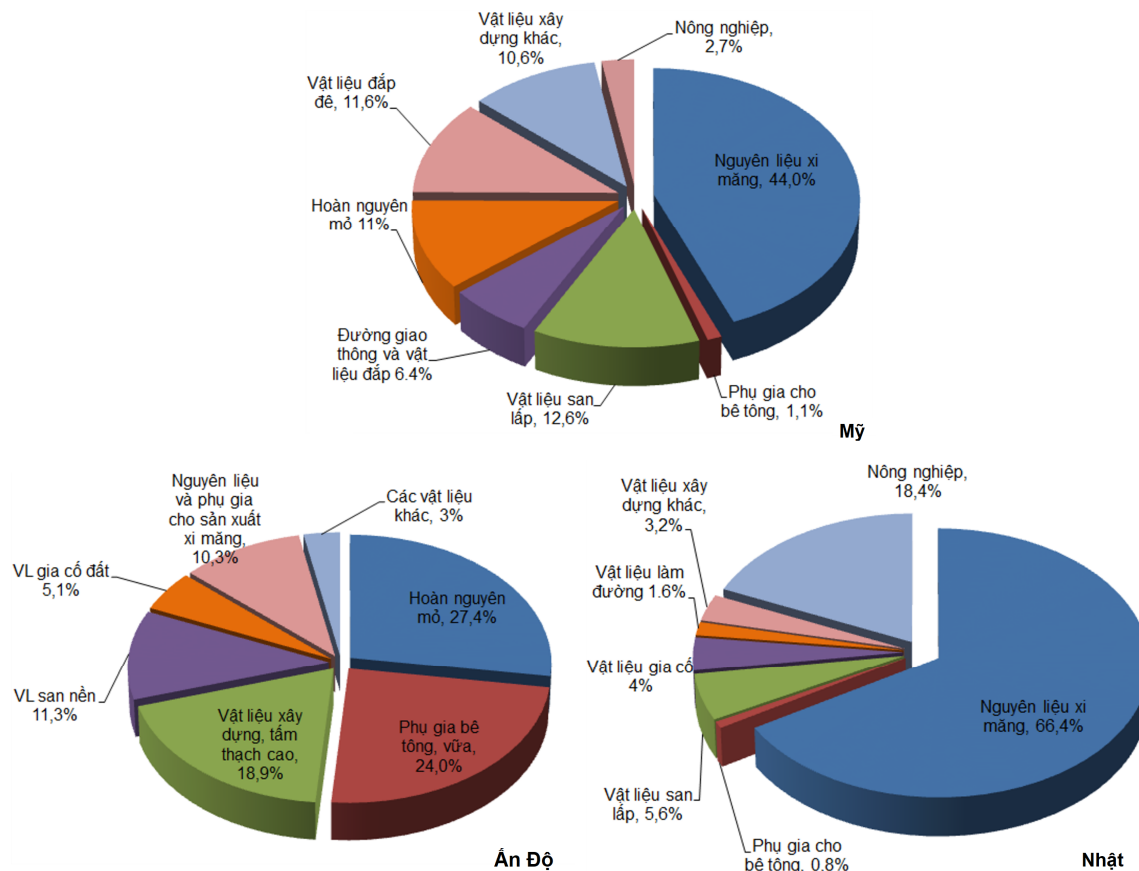
*Keywords: CCPs, coal ash, filling material, mechanical property.*

### **1. Yêu cầu tiêu thụ tro xỉ nhiệt điện đốt than**

Cùng với sự phát triển kinh tế của đất nước, nhu cầu tiêu thụ điện ngày một tăng dẫn đến khối lượng tro xỉ trong hồ chứa tại các nhà máy nhiệt điện đang ngày một tăng thêm, tạo ra sức ép lớn về

diện tích tồn chứa cũng như đối với môi trường. Khối lượng tro xỉ phát thải hiện nay của cả nước khoảng 14 triệu tấn/năm [1] và con số này còn tăng theo thời gian. Tổng lượng tro xỉ nhiệt điện phát thải trên phạm vi toàn cầu vào khoảng 780 triệu tấn vào năm 2011. Mức độ tái sử dụng hiệu quả tro xỉ là 415 triệu tấn (53 % tổng sản lượng) và ở mức độ khác nhau tại mỗi quốc gia [2]. Tỷ lệ sử dụng hiệu quả lớn nhất là 96,4 % và tỷ lệ thấp nhất là khoảng 10,6 %. Sản lượng tro xỉ cũng được dự báo sẽ tăng trong những năm tới do ngành năng lượng của thế giới còn phụ thuộc nhiều vào sản lượng điện được sản xuất bằng việc đốt than. Tại Mỹ và liên Minh châu Âu EU tổng sản lượng tro xỉ hàng năm ước tính vào khoảng 115 triệu tấn, Ấn Độ khoảng 140 triệu tấn năm. Sản lượng tro xỉ tại Trung Quốc cũng tăng nhanh hàng năm và dự báo đạt 580 triệu tấn vào năm 2015 [3].

Tại một số quốc gia có nền kinh tế phát triển hay có mức độ phát thải tro xỉ nhiệt điện lớn thì tro xỉ nhiệt điện được tái sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực để tận thu tài nguyên như làm phụ gia cho xi măng, bê tông, làm vật liệu cho gạch, vữa xây không nung, cải tạo đất nông nghiệp và phần lớn phục vụ làm vật liệu xử lý nền, san lấp công trình hoặc hoàn nguyên mỏ... Theo số liệu từ hội thảo tro than thế giới năm 2013 đưa ra [4] trong hình 1, đối với lĩnh vực san lấp mức độ sử dụng ở mức khá như ở châu Âu với 18,98 %, ở Ấn Độ với 6,4 % cho đắp đường giao thông và 12,6 % cho san nền. Ở Hoa Kỳ chỉ hơn 11% được sử dụng để san lấp và thấp nhất là Nhật Bản với 5,6 %. Tuy nhiên ở một mức độ nhất định, có thể chắc chắn rằng tro xỉ nhiệt điện sử dụng với khối lượng không hề nhỏ trong san lấp ở các nước trên.



**Hình 1. Tái sử dụng tro xỉ nhiệt điện tại một số quốc gia [4]**

Việc thúc đẩy tiêu thụ và xử lý tro xỉ đã được đặt ra, trong khuôn khổ bài báo nhóm tác giả trình bày các nghiên cứu sử dụng tro xỉ nhiệt điện trong san lấp trên cơ sở nghiên cứu xác định các đặc trưng cơ lý của tro xỉ để đánh giá khả năng sử dụng loại tro xỉ nhiệt điện trong san lấp, đánh giá độ bền của hỗn hợp tro xỉ và xi măng với các tỷ lệ xi măng khác nhau trên các mẫu tro xỉ, mẫu tro, mẫu xỉ được lấy tại nhà máy nhiệt điện tại Việt Nam.

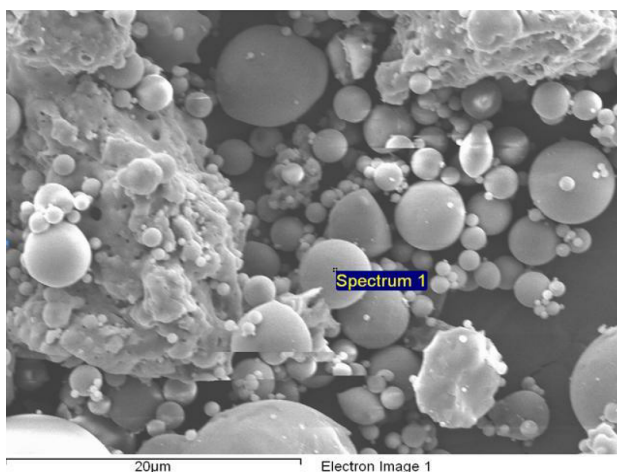
**2. Đặc trưng tính chất địa kỹ thuật của tro xỉ nhiệt điện**

Quá trình vận hành các nhà máy nhiệt điện đốt than đã thải ra các sản phẩm cháy từ than bao gồm tro bay và xỉ đáy. Về thành phần vật chất, tro bay là các chất vô cơ không cháy được có sẵn trong than, sau quá trình đốt biến thành vật chất cấu trúc dạng

thủy tinh và vô định hình và các dạng vô định hình có ý nghĩa lớn trong đánh giá hoạt tính của vật liệu.

Tro bay thường có dạng hạt hình cầu kích thước từ 0.5  $\mu\text{m}$  đến 300  $\mu\text{m}$ , khối lượng thể tích ở trạng thái khô xấp xỉ 450  $\text{kg}/\text{m}^3$  đến 700  $\text{kg}/\text{m}^3$  và trọng lượng riêng 1.800  $\text{kg}/\text{m}^3$  đến 2.300  $\text{kg}/\text{m}^3$  có thể lẫn các hạt than chưa cháy hết có hình dạng không xác định. Diện tích bề mặt của tro bay thay đổi từ 2.000  $\text{cm}^2/\text{gram}$  đến 6.800  $\text{cm}^2/\text{gram}$ .

Xỉ đáy là những hạt thô và to hơn tro bay, là thành phần không cháy thu được ở phần đáy lò thường ở dạng cục hoặc hạt có kích thước từ 0.125 mm đến 2 mm, khối lượng thể tích ở trạng thái khô xấp xỉ 700  $\text{kg}/\text{m}^3$  đến 900  $\text{kg}/\text{m}^3$  và trọng lượng riêng 2.000  $\text{kg}/\text{m}^3$  đến 2.600  $\text{kg}/\text{m}^3$ . Thông thường lượng tro bay chiếm khoảng 80% - 90%, còn xỉ chỉ chiếm khoảng 10% - 20%.



**Hình 2.** Tro bay Quảng Ninh chụp qua kính hiển vi điện tử [5]

Tro xỉ nhiệt điện làm vật liệu san lấp trước tiên phải được phân định là chất thải không nguy hại và đáp ứng yêu cầu của TCVN 12249:2018 [6], đồng thời khi sử dụng vào bãi san lấp cần thỏa mãn các điều kiện vật liệu an toàn môi trường khác, đặc biệt là kiểm tra thỏa mãn nồng độ khí radon tại bãi san lấp theo quy định.

Bài viết này tập trung vào các đặc trưng tính chất địa kỹ thuật sẽ đánh giá khả năng về yêu cầu kỹ thuật sử dụng tro xỉ nhiệt điện làm vật liệu san lấp được xét trên cơ sở các đặc trưng tính chất vật lý, các đặc trưng tính chất cơ học và các đặc trưng về khả năng đầm chặt.

**2.1 Các đặc trưng tính chất vật lý**

Kết quả thí nghiệm trong phòng xác định các đặc trưng vật lý theo các tiêu chuẩn hiện hành trên các mẫu tro, xỉ và tro xỉ hỗn hợp được lấy từ các nhà máy nhiệt điện được tổng hợp với giá trị các đặc trưng vật lý của vật liệu tro xỉ hỗn hợp là giá trị trung bình của các kết quả thí nghiệm các mẫu lấy được từ các bãi lưu giữ tro xỉ của các nhà máy nhiệt điện Duyên Hải, Quảng Ninh, Sơn Động, Cẩm Phả, Uông Bí, Na Dương, Mông Dương, Vĩnh Tân. Các giá trị trong ngoặc đơn là khoảng biến đổi của các giá trị tương ứng. Riêng các giá trị các đặc trưng vật lý của vật liệu tro và xỉ là từ nhà máy nhiệt điện Quảng Ninh (bảng 1).

**Bảng 1.** Đặc trưng vật lý của một số hỗn hợp tro xỉ nhiệt điện

STT	Đặc trưng vật lý	Tro	Xỉ	Tro xỉ
1	Thành phần hạt, %			
	+ Hạt sét < 0,005	2,2	-	4 (1,80 - 9,80)
	+ Hạt bụi 0,005-0,05	53,9	28,1	51,6 (32,1 - 70,3)
	+ Mịn 0,005-0,01	14,6	6,8	11,2 (3,8 - 17,6)
	+ Thô 0,01-0,05	39,3	21,3	39,6 (28,3 - 53,3)
	+ Hạt cát 0,05-2	43,9	56,8	48,7 (26,6 - 71,6)
	- Mịn 0,05-0,1	42,8	16,4	30,1 (4,1 - 46,5)
	- Nhỏ 0,1-0,25	0,6	13,1	6,3 (1,1 - 16,5)
	- Trung 0,25-0,5	0,3	8,3	5,5 (0,3 - 18,8)
	- To 0,5-1	0,1	7,7	4,3 (0,1 - 18,3)
- Thô 1-2	0,1	11,3	4,7 (0,2 - 26,4)	
2	Đặc trưng cấp phối hạt			
	+Hệ số đồng nhất, Cu +Hệ số cấp phối, Cs	7,2 0,8	20 0,7	8,1 (3,8 - 13,1) 0,9 (0,7 - 1,0)
3	Khối lượng thể tích hạt, g/cm <sup>3</sup>	2,42	2,01	2,53 (2,35 - 2,69)
4	Khối lượng thể tích khô, g/cm <sup>3</sup>			
	+Trạng thái chặt nhất +Trạng thái xốp nhất	1,44 0,95	1,44 1,01	1,27 (1,06 - 1,81) 1,01 (0,65 - 1,41)
5	Hệ số rỗng			
	+Trạng thái chặt nhất +Trạng thái xốp nhất	0,40 1,12	0,68 1,40	0,84 (0,46 - 1,34) 1,66 (0,82 - 2,62)
6	Hệ số thấm, 10 <sup>-3</sup> cm/s			2,19 - 3,18

Từ kết quả thí nghiệm các đặc trưng tính chất vật lý trên các mẫu tro xỉ, có thể thấy:

- Giá trị các đặc trưng vật lý khá phân tán giữa các nhà máy nhiệt điện, các giá trị này là hợp lý nằm trong khoảng thường thấy đã được công bố trên các nghiên cứu trong, ngoài nước và thống nhất với nhau theo các quy luật đã biết;

- Theo thành phần hạt, vật liệu tro xỉ có thể xếp vào nhóm đất bụi thô nhiều cát mịn;

- Theo giá trị khối lượng thể tích hạt, có thể thấy tro xỉ thuộc loại vật liệu nhẹ, nhẹ hơn nhiều so với vật liệu cát ( $2,53 \text{ g/cm}^3$  so với  $2,65 - 2,69 \text{ g/cm}^3$  của vật liệu cát). Đây là ưu điểm của vật liệu tro xỉ khi sử dụng làm vật liệu san lấp vì có trọng lượng bản thân nhẹ hơn so với các vật liệu san lấp truyền thống;

- Theo các đặc trưng cấp phối hạt, các đặc trưng vật lý ở trạng thái xốp nhất và chặt nhất, có thể đánh giá vật liệu tro xỉ có khả năng nén chặt tốt vì cấp phối hạt bất đồng nhất, cấu trúc cốt hạt dạng tinh thể cầu sẽ dễ sắp xếp khi đầm;

- Riêng đối với tro bay, diện tích bề mặt lớn có thể dẫn đến những khó khăn nhất định khi phối trộn tro bay với vật liệu khác, đặc biệt với chất kết dính là xi măng. Các hạt tro bay khô có độ phân tán lớn, mức độ hoạt động bề mặt cao khi trộn với nước thường có xu hướng hút nước tạo thành các cục, hòn phân tách khỏi xi măng đã phối trộn. Đây là đặc điểm cần lưu ý khi phải xử lý hỗn hợp tro xỉ phối trộn, thường hỗn hợp phối trộn nên được là ẩm và ủ trong khoảng thời gian nhất định để đạt độ ẩm tối ưu thay vì trộn trực tiếp với nước.

Như vậy, theo các đặc trưng vật lý lưu ý về độ hút ẩm, tro xỉ về cơ bản ứng xử như là vật liệu đất bụi thô nhiều cát mịn, nhẹ và có khả năng đầm nén.

**2.2 Các đặc trưng tính chất cơ học**

Các đặc trưng cơ học bao gồm các đặc trưng về biến dạng và độ bền được sử dụng để đánh giá chất lượng thể đắp với vật liệu tro xỉ. Kết quả nghiên cứu được tiến hành cùng với vật liệu tro xỉ được gia cường bằng xi măng với các tỷ lệ phối trộn khác nhau. Các mẫu tro xỉ thí nghiệm các đặc trưng cơ học được lấy tại 2 nhà máy nhiệt điện Quảng Ninh và Duyên Hải. Ngoài ra, các đặc trưng cơ học còn được thí nghiệm tại hiện trường san đắp bãi thi công thử tại Quảng Ninh và Duyên Hải bằng thí nghiệm bàn nén.

**a) Đặc trưng biến dạng**

Tính nén lún của vật liệu tro xỉ được đặc trưng bằng thông số hệ số nén lún  $a_{1-2}$  ( $\text{cm}^2/\text{kg}$ ) xác định bằng thí nghiệm nén không nở hông ở trong phòng với các trạng thái độ chặt khác nhau ( $K = 0,85; 0,90$  và  $0,95$  so với độ chặt tiêu chuẩn) và được phối trộn với xi măng ở các tỷ lệ khác nhau ( $5 - 10 - 15 - 20$  % xi măng theo trọng lượng vật liệu tro xỉ khô) cũng như với điều kiện bảo dưỡng mẫu thí nghiệm (thí nghiệm ngay sau khi chế bị mẫu, bảo dưỡng sau 7 ngày và mẫu được bão hòa nước). Kết quả thí nghiệm được trình bày trong bảng 2.

Tính nén lún của vật liệu tro xỉ cũng được nghiên cứu xác định bằng thí nghiệm nén bàn nén hiện trường trên khối đắp vật liệu tro xỉ đầm nén. Thí nghiệm nén bàn nén tại khối đắp vật liệu tro xỉ tại nhà máy nhiệt điện Duyên Hải, cho kết quả giá trị mô đun biến dạng E trong khoảng 7,8 MPa đến 9,4 MPa ở độ chặt  $K = 0,95$ . Tải trọng nén thí nghiệm lên tới 500 kPa với độ lún bàn nén trong khoảng 1,29 cm đến 1,51 cm.

**Bảng 2.** Giá trị hệ số nén lún  $a_{1-2}$  của vật liệu tro xỉ tại Quảng Ninh

Loại mẫu thí nghiệm		Hệ số nén lún $a_{1-2}$ ở độ chặt của mẫu		
		K = 0,85	K = 0,90	K = 0,95
Tro xỉ 100 %	Nén ngay	0,082	0,059	0,029
	7 ngày	0,033	0,024	0,022
	Bão hòa	0,039	0,036	0,034
Tro xỉ + 5 % XM	Nén ngay	0,088	0,061	0,024
	7 ngày	0,015	0,008	0,008
	Bão hòa	0,013	0,010	0,010
Tro xỉ + 10 % XM	Nén ngay	0,037	0,031	0,019
	7 ngày	0,009	0,008	0,006

Loại mẫu thí nghiệm		Hệ số nén lún $a_{1-2}$ ở độ chặt của mẫu		
		K = 0,85	K = 0,90	K = 0,95
	Bão hòa	0,014	0,011	0,005
Tro xỉ + 15 % XM	Nén ngay	0,023	0,016	0,011
	7 ngày	0,006	0,005	0,003
Tro xỉ + 20 % XM	Nén ngay	0,020	0,014	0,008
	7 ngày	0,006	0,005	0,006

**b) Đặc trưng độ bền**

Độ bền của vật liệu tro xỉ được nghiên cứu xác định bằng các thí nghiệm cắt trong phòng theo mặt phẳng định trước xác định lực dính c (Pa) và góc ma sát trong  $\varphi$  (độ) trên các mẫu được xử lý với xi măng ở các tỷ lệ khác nhau (5 - 10 - 15 - 20 % xi măng của trọng lượng vật liệu tro xỉ khô) ở trạng thái độ chặt khác nhau (K = 0,85; 0,90 và 0,95 so với độ chặt tiêu chuẩn).

Các mẫu thí nghiệm cắt cũng được tiến hành với 3 điều kiện bảo dưỡng (thí nghiệm ngay sau khi chế bị mẫu, bảo dưỡng sau 7 ngày và mẫu được bão hòa nước). Đối với thí nghiệm nén nở hông trong phòng xác định sức kháng nén nở hông, thí nghiệm được tiến hành với 3 điều kiện bảo dưỡng (bảo dưỡng ở 7, 14 và 28 ngày). Các kết quả thí nghiệm được trình bày lần lượt trong bảng 3 và 4.

**Bảng 3.** Các thông số sức kháng cắt của vật liệu tro xỉ tại nhà máy nhiệt điện Quảng Ninh

Loại mẫu thí nghiệm		Sức kháng nén nở hông ( $\text{kN/m}^2$ ) ở độ chặt		
		K = 0,85	K = 0,90	K = 0,95
Tro xỉ 100 %	7 ngày	3,97	6,04	8,81
	14 ngày	4,13	6,55	9,13
Tro xỉ + 5 % XM	7 ngày	53,59	64,29	82,13
	28 ngày	59,93	71,97	97,16
Tro xỉ + 10 % XM	7 ngày	63,09	138,79	175,99
	28 ngày	78,09	170,86	214,15
Tro xỉ + 15 % XM	7 ngày	88,24	178,93	249,39
	28 ngày	122,91	248,02	359,92
Tro xỉ + 20 % XM	7 ngày	149,56	190,80	296,61
	28 ngày	280,99	367,46	512,48

**Bảng 4.** Sức kháng nén nở hông của vật liệu tro xỉ tại nhà máy nhiệt điện Quảng Ninh

Loại mẫu thí nghiệm		Lực dính c và góc ma sát trong $\varphi$ của vật liệu tro xỉ ở độ chặt					
		K = 0,85		K = 0,90		K = 0,95	
		C $10^5$ Pa	$\varphi$ độ	C $10^5$ Pa	$\varphi$ độ	C $10^5$ Pa	$\varphi$ độ
Tro xỉ 100 %	Cắt ngay	0,145	11°02'	0,148	12°02'	0,173	16°21'
	7 ngày	0,149	11°40'	0,155	12°34'	0,180	16°50'
	Bão hòa	Tan rã		Tan rã		Tan rã	
Tro xỉ + 5 % XM	Cắt ngay	0,168	12°49'	0,172	13°05'	0,191	17°24'
	7 ngày	0,239	26°01'	0,260	35°28'	0,328	39°15'
Tro xỉ + 10 % XM	Cắt ngay	0,202	18°36'	0,221	19°01'	0,254	19°45'
Tro xỉ + 15 % XM	Cắt ngay	0,210	19°33'	0,252	20°11'	0,292	22°17'
Tro xỉ + 20 % XM	Cắt ngay	0,223	20°09'	0,267	22°32'	0,321	23°35'

Từ các số liệu đặc trưng tính chất vật lý và kết quả tính chất cơ học thể hiện trong bảng 1, 2, 3 và 4 của vật liệu tro xỉ có thể có các nhận xét như sau:

- Tro xỉ, khi không được nén chặt đầy đủ, là loại vật liệu rời, có tính chất cơ học yếu: lún nhiều với hệ số nén lún  $a_{1-2}$  lớn hơn  $0,050 \text{ cm}^2/\text{kg}$ , góc ma sát trong nhỏ, dưới  $12^\circ$ , sức kháng nén nở hông thấp, dưới  $10 \text{ kN/m}^2$ . Giá trị sức kháng cắt và hệ số nén lún khi đầm chặt tại độ chặt yêu cầu thường thấp hơn so với các vật liệu khác.

- Tro xỉ có tính chất cơ học phụ thuộc khả năng hoạt tính và khả năng tự tăng cứng của thành phần tro bay.

- Tro xỉ tan rã trong nước dù được nén chặt ở bất cứ mức độ nào;

- Vật liệu tro xỉ, khi được nén chặt tới độ chặt  $K = 0,95$  so với độ chặt tiêu chuẩn, có tính chất cơ học được cải thiện nhiều: lún ít với  $a_{1-2}$  nhỏ hơn  $0,025 \text{ cm}^2/\text{kg}$ , góc ma sát trong lớn hơn  $16^\circ$ , nhưng sức kháng nén nở hông tăng không đáng kể;

- Tính chất cơ học của vật liệu tro xỉ được cải thiện đáng kể khi gia cường bằng trộn thêm các chất liên kết vô cơ. Trong nghiên cứu này, chỉ với 5 % xi măng trộn thêm, hệ số nén lún đã giảm mạnh, chỉ còn  $0,015 \text{ cm}^2/\text{kg}$  sau 7 ngày bảo dưỡng ở độ chặt  $K = 0,85$  và  $0,08$  ở độ chặt  $0,95$ ; góc ma sát trong tăng đến  $26^\circ$  ở độ chặt  $K = 0,85$  và là  $39^\circ$  ở độ chặt  $K = 0,95$ ; lực dính tăng thêm gấp 2 lần và sức kháng nén nở hông tăng thêm gấp 10 lần;

- Với mục đích sử dụng vật liệu tro xỉ như là vật liệu san lấp, để đảm bảo ổn định lún, thể đắp vật liệu tro xỉ cần được nén chặt ít nhất tới độ chặt  $K = 0,95$  còn để đảm bảo ổn định về cường độ, cần gia cường bằng chất liên kết, ví dụ với chất liên kết vô cơ như xi măng với hàm lượng xi măng tối thiểu là 5 %, sự khác biệt lớn của đặc trưng biến dạng khi sử dụng tỷ lệ xi măng từ 10 % trở lên. Tính chất cơ học của vật liệu tro xỉ được cải thiện rõ rệt hơn bằng cách gia cường với chất liên kết hơn là theo sự tăng độ đầm chặt của vật liệu.

**2.3 Các đặc trưng tính chất đầm nén của vật liệu tro xỉ**

Các đặc trưng tính chất đầm nén của vật liệu tro xỉ được nghiên cứu xác định bằng thí nghiệm đầm nén tiêu chuẩn ở trong phòng. Các thông số đặc trưng của nó bao gồm khối lượng thể tích khô lớn nhất ( $\gamma_{\text{max}}$ ,  $\text{g/cm}^3$ ) và độ ẩm tốt nhất ( $\omega_{\text{tu}}$ , %) tương ứng với nó. Thí nghiệm đầm chặt tiêu chuẩn trong phòng được tiến hành với 2 loại thiết bị có công đầm nén khác nhau: Proctor tiêu chuẩn và Proctor cải tiến với mục đích xem xét khả năng chịu đầm nén của vật liệu ở các công đầm nén khác nhau. Vật liệu thí nghiệm là vật liệu tro, xỉ, hỗn hợp tro và xỉ ở tỷ lệ trộn khác nhau và vật liệu tro xỉ lấy tại bể lưu trữ của nhà máy được gia cường thêm với chất liên kết xi măng ở các tỷ lệ xi măng khác nhau (5 - 10 - 15 - 20 %).

Các bảng 5, 6 dưới đây cho các kết quả thí nghiệm nói trên với các vật liệu tro xỉ lấy tại bể chứa của nhà máy nhiệt điện Quảng Ninh.

**Bảng 5. Đặc trưng đầm nén của tro xỉ Quảng Ninh**

Loại mẫu thí nghiệm	Kết quả thí nghiệm đầm chặt theo phương pháp			
	Tiêu chuẩn		Cải tiến	
	$\gamma_{\text{max}}$ $\text{g/cm}^3$	$\omega_{\text{tu}}$ %	$\gamma_{\text{max}}$ $\text{g/cm}^3$	$\omega_{\text{tu}}$ %
Tro xỉ 100 %	1,412	20,8	1,442	18,7
Tro xỉ + 5 % XM	1,423	18,9	1,457	18,0
Tro xỉ + 10 % XM	1,433	17,9	1,487	17,1
Tro xỉ + 15 % XM	1,455	17,3	1,521	16,5
Tro xỉ + 20 % XM	1,488	16,7	1,547	15,4

**Bảng 6. Đặc trưng đầm nén của tro xỉ Quảng Ninh**

Đặc trưng đầm chặt	Tỉ lệ tro xỉ					
	100 % tro	100 % xỉ	90 % tro + 10 % xỉ	80 % tro + 20 % xỉ	70 % tro + 30 % xỉ	50 % tro + 50 % xỉ
$\gamma_{max}$ , g/cm <sup>3</sup>	1,456	1,275	1,476	1,470	1,462	1,448
$W_{tu}$ , %	18,8	14,6	17,6	17,3	17,0	16,4

Từ các số liệu trong bảng 5, 6 cho thấy:

- Vật liệu hỗn hợp tro xỉ cho hiệu quả đầm nén tốt hơn vật liệu tro hoặc xỉ riêng rẽ, hỗn hợp tro-xỉ tốt nhất là 90 % tro và 10% xỉ và đây cũng là tỷ lệ phổ biến về phát thải tro xỉ của các nhà máy nhiệt điện;

- Hiệu quả đầm nén cao hơn khi áp dụng công đầm nén lớn hơn so với việc tăng tỷ lệ gia cường bằng chất liên kết xi măng.

Thí nghiệm CBR được tiến hành kiểm chứng hiệu quả nén chặt của vật liệu tro xỉ với phương

pháp đầm theo Proctor cải tiến - phương pháp II-B trên mẫu ở hai trạng thái khi khô và khi được bão hòa lấy tại nhà máy nhiệt điện Quảng Ninh và nhà máy nhiệt điện Duyên Hải. Bảng 7 cho kết quả thí nghiệm xác định CBR nói trên.

Giá trị CBR của vật liệu tro xỉ tại hai trạng thái trước và sau bão hòa không chênh nhau nhiều do độ chặt sau khi bão hòa không thấp hơn nhiều so với độ chặt trước khi bão hòa. Giá trị CBR của vật liệu tro xỉ thí nghiệm so với vật liệu cát san lấp thấp hơn (cát san lấp có giá trị CBR tại 0,98  $\gamma_{max}$   $\geq$  10).

**Bảng 7. Giá trị CBR của tro xỉ**

Điều kiện thí nghiệm	CBR tại các độ chặt		
	$\gamma_{max}$	0,98 $\gamma_{max}$	0,95 $\gamma_{max}$
Chưa bão hòa	11,6	8,8	4,5
Bão hòa	9,3	7,2	4,2

**2.4 Các đặc trưng cơ học của hỗn hợp vật liệu tro xỉ - xi măng theo thời gian**

Đánh giá sự phát triển theo thời gian của các tính chất cơ học với mục đích nâng cao hiệu quả và mở rộng phạm vi ứng dụng của vật liệu tro xỉ trong san lấp. Tro xỉ Quảng Ninh lấy từ bãi thải của nhà máy được xử lý phối trộn với chất kết dính là xi măng theo các tỉ lệ khác nhau để theo dõi các đặc trưng cơ học theo thời gian. Các mẫu thí nghiệm được chế bị và tạo mẫu tương tự như công nghệ bê tông đầm lăn điều này được xem là tương đồng với

phương pháp thi công khối vật liệu san lấp sử dụng thiết bị san gạt, lu lèn, lu rung truyền thống.

Đánh giá độ bền của bê tông tro xỉ thông qua chỉ tiêu cường độ chịu nén và cường độ chịu uốn của mẫu tiêu chuẩn. Kết quả thí nghiệm sự phát triển cường độ uốn và nén theo thời gian của mẫu tro xỉ với xi măng ở các tỉ lệ khác nhau được thể hiện trong bảng 8. Độ ẩm tối ưu của hỗn hợp tro xỉ - xi măng thay đổi tăng dần từ 16,7 % lên đến 18,9 % theo hàm lượng tro xỉ trong hỗn hợp từ 80 % lên 95 %.

**Bảng 8. Sự phát triển cường độ uốn và nén theo thời gian ở các tỉ lệ phối trộn**

STT	Tỷ lệ tro xỉ với XM	Độ ẩm (%)	N/X	Cường độ uốn (MPa)				Cường độ nén (MPa)			
				7 ngày	28 ngày	60 ngày	180 ngày	7 ngày	28 ngày	60 ngày	180 ngày
1	80:20	16,7	0,199	1,20	1,64	2,06	2,21	6,07	8,31	9,87	11,28
2	85:15	17,3	0,209	0,94	1,45	1,72	1,90	3,80	6,10	7,53	9,49
3	90:10	17,9	0,204	0,83	1,08	1,34	1,36	2,48	4,52	4,56	5,64
4	95:5	18,9	0,199	0,27	0,32	0,34	0,34	0,71	0,74	0,94	1,24

Kết quả cho thấy, hỗn hợp tro xỉ khi phối trộn với xi măng từ 5 % đến 20 % thì cường độ sau 28 ngày tăng từ 0,7 MPa lên 8,3 MPa và các giá trị này vẫn tiếp tục tăng ở các tuổi đến 180 ngày từ 1,2 MPa đến 11,3 MPa. Cường độ uốn của hỗn hợp tro xỉ kết hợp với xi măng cũng tăng theo tỉ lệ xi măng có trong hỗn hợp và thường bằng 20 % đến 40 % giá trị cường độ nén.

Có thể thấy, do quá trình thí nghiệm sử dụng hỗn hợp tro xỉ ở dạng tự nhiên lấy trực tiếp tại bãi

phế thải của nhà máy nên trong thành phần tro xỉ có nhiều cục tro bị vón cục làm cho hỗn hợp tro xỉ - xi măng không hoàn toàn đồng nhất, điều này làm ảnh hưởng lớn đến các kết quả khi uốn và nén mẫu, dẫn đến các kết quả bị dao động khá lớn.

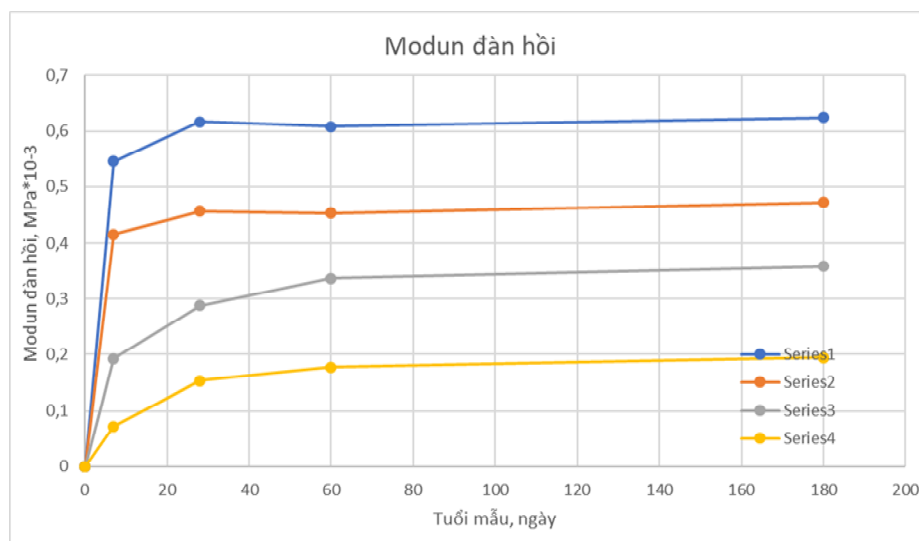
Kết quả thí nghiệm mô đun đàn hồi của bê tông tro xỉ ở các tỉ lệ phối trộn xi măng khác nhau được trình bày trong bảng 9. Giá trị mô đun đàn hồi của bê tông này rất thấp và ở các tuổi 60 ngày và 180 ngày gần như không còn tăng so với tuổi 28 ngày.

**Bảng 9.** Sự phát triển mô đun đàn hồi của bê tông tro xỉ theo thời gian

STT	Tỷ lệ tro xỉ với XM	N/X	Modun đàn hồi (MPa*10 <sup>-3</sup> )			
			7 ngày	28 ngày	60 ngày	180 ngày
1	80:20	0,199	0,55	0,62	0,61	0,62
2	85:15	0,209	0,42	0,46	0,45	4,47
3	90:10	0,204	0,19	0,29	0,34	0,36
4	95:5	0,199	0,07	0,15	0,18	0,19

Kết quả thí nghiệm modun đàn hồi của bê tông tro xỉ ở các tỉ lệ cấp phối khác nhau được trình bày trong hình 3. Độ co của bê tông tro xỉ ở tuổi 28 ngày giảm từ 0,13 mm/m xuống 0,05 mm/m theo tỉ lệ xi măng giảm từ 20 % xuống còn

5 %. Độ co của bê tông tro xỉ diễn ra tương đối dài và ở tuổi 180 ngày độ co của hỗn hợp có tỉ lệ phối trộn với xi măng ở mức 20 %, 15 %, 10 % và 5 % tương ứng là 0,47 mm/m; 0,39 mm/m; 0,19 mm/m và 0,15 mm/m.



**Hình 3.** Modun đàn hồi của hỗn hợp tro xỉ theo thời gian

Các kết quả đặc trưng cơ học của hỗn hợp tro xỉ phối trộn cho thấy quy luật chung khi sử dụng tro xỉ với tỉ lệ phối trộn xi măng khác nhau như sau:

- Khi sử dụng xi măng làm vật liệu để gia cường hỗn hợp tro xỉ, với tỉ lệ xi măng từ 5 % đến 20 % phối trộn tro xỉ thì cường độ sau 28 ngày tăng từ 0,7 MPa

lên 8,3 MPa và các giá trị này vẫn tiếp tục tăng ở các tuổi đến 180 ngày từ 1,2 MPa đến 11,3 MPa;

- Cường độ uốn của hỗn hợp tro xỉ kết hợp với xi măng cũng tăng theo tỉ lệ xi măng có trong hỗn hợp và thường bằng 20 % đến 40 % giá trị cường độ nén;

- Mô đun đàn hồi của hỗn hợp tro xỉ gia cường bằng xi măng tăng theo tỉ lệ phối trộn xi măng và ở các tuổi 60 ngày và 180 ngày gần như không còn tăng so với tuổi 28 ngày. Ở 20 % hàm lượng xi măng mô đun đàn hồi đạt  $0,62 \cdot 10^{-3}$  MPa;

- Độ co của hỗn hợp tro xỉ gia cường bằng xi măng giảm theo tỉ lệ phối trộn xi măng và thời gian co của hỗn hợp càng dài khi tăng tỉ lệ xi măng;

- Tro xỉ khi có chất kết dính xi măng được cải thiện rõ rệt cả về cường độ, độ chặt, sức kháng cắt, độ biến dạng giảm với hàm lượng phần trăm xi măng càng cao thì càng được cải thiện tuy nhiên để đảm bảo về mặt kinh tế cho sử dụng thực tế nhóm nghiên cứu kiến nghị sử dụng hàm lượng xi măng từ 10%.

### 3. Nhận xét và kết luận

Từ kết quả nghiên cứu trên cơ sở các số liệu thí nghiệm thực tế về đặc trưng địa kỹ thuật của tro xỉ nhiệt điện, cho thấy:

a) Tro xỉ có thể được xếp vào vật liệu rời thuộc loại từ bụi thô nhiều cát mịn đến cát mịn nhiều bụi thô, nhẹ và có khả năng nén chặt. Khi không được nén chặt đầy đủ, tro xỉ có tính chất cơ học yếu, lún nhiều, độ bền thấp, nhưng khi được nén chặt đủ (hệ số đầm chặt tối thiểu  $K \geq 0,95$ ) hoặc được gia cường bằng chất liên kết (như xi măng), tính chất cơ học được cải thiện đáng kể đáp ứng với yêu cầu sử dụng như là vật liệu san lấp.

b) Khả năng đầm chặt của hỗn hợp tro xỉ khá dễ dàng. Ở độ ẩm tối ưu tro xỉ có độ chặt tương đối tốt nhưng lại dễ hóa lỏng do hàm lượng hạt mịn cao và lực dính mất đi tro xỉ trở lên nhão mất tính liên kết, mất độ bền. Do đó, cần có những nghiên cứu sâu hơn về ảnh hưởng của độ ẩm, cũng như tính chất hóa lỏng của vật liệu khi sử dụng tro xỉ làm vật liệu san lấp và cần biện pháp tránh hiện tượng vật liệu san lấp bị bão hòa.

c) Giá trị sức kháng cắt và hệ số nén lún khi đầm chặt tại các độ chặt yêu cầu là thấp hơn so với các vật liệu khác.

d) Khi được phối trộn thêm chất kết dính xi măng, hỗn hợp tro xỉ được cải thiện rõ rệt cả về cường độ, độ chặt, sức kháng cắt, biến dạng giảm với hàm lượng phần trăm xi măng càng cao thì càng được cải thiện, khuyến cáo sử dụng hàm lượng không ít hơn 10 % trọng lượng.

e) Tro xỉ nhiệt điện có đủ các đặc trưng địa kỹ thuật thỏa mãn làm vật liệu san lấp có thể thay thế vật liệu san lấp truyền thống.

f) Bãi san lấp sử dụng tro xỉ nhiệt điện phải đáp ứng các điều kiện an toàn môi trường và nồng độ khí radon theo quy định.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Viện Vật liệu xây dựng (2016), Điều tra, khảo sát đánh giá và đề xuất giải pháp sử dụng triệt để nguồn tro xỉ nhiệt điện trong sản xuất vật liệu xây dựng.
- [2] Barnes, I. (2010), Ash Utilisation- Impact of recent changes in power generation practices. *London England: International Energy Agency Clean Coal Center.*
- [3] Heidrich, C. (2005), Summary of Technical Options for Coal Combustion Products Utilisation in Australia. *Ed. 1 ed. Ash Development Association of Australia.*
- [4] World of Coal Ash (2013), World of Coal Ash Conference in Kentucky.
- [5] Viện Vật liệu xây dựng (2018), Nghiên cứu sử dụng phế thải công nghiệp chế tạo vật liệu gia cố nền đất yếu theo công nghệ CDM cho khu vực ven biển ở miền Bắc.
- [6] TCVN 12249:2018 (2018), Tro xỉ nhiệt điện đốt than làm vật liệu san lấp - Yêu cầu chung.

**Ngày nhận bài:** 12/4/2019.

**Ngày nhận bài sửa lần cuối:** 18/4/2019.