

Ảnh hưởng của tỷ lệ phối trộn cellulose vi khuẩn và tỷ lệ xơ sợi dài đến độ chịu bực và độ bền nén vòng của giấy carton

Tăng Thị Kim Hồng^{1*}, Lê Hữu Phước¹, Nguyễn Nhật Quang¹, Trịnh Hiền Mai², Đặng Thị Thanh Nhân¹

¹Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh

²Trường Đại học Lâm nghiệp

Effect of bacterial cellulose and long fiber content on the bursting strength and ring crush resistance of carton paper

Tang Thi Kim Hong^{1*}, Le Huu Phuoc¹, Nguyen Nhat Quang¹, Trinh Hien Mai², Dang Thi Thanh Nhan¹

¹Nong Lam University - Ho Chi Minh City

²Vietnam National University of Forestry

*Corresponding author: tangkimhong@hcmuaf.edu.vn

<https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.14.1.2025.138-145>

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của tỷ lệ phần trăm cellulose vi khuẩn và xơ sợi dài đến độ chịu bực và độ bền nén vòng của giấy carton chứa cellulose vi khuẩn. Cellulose vi khuẩn được tạo thành bằng cách thủy phân bùn giấy với acid sulfuric (H_2SO_4) và lên men bằng *Acetobacter xylinum*, trong khi xơ sợi dài thu được qua việc nghiền bột giấy tái chế từ nhà máy giấy tái chế ở tỉnh Bình Phước, Việt Nam. Giấy carton chứa cellulose vi khuẩn được sản xuất với các tỷ lệ phần trăm cellulose vi khuẩn (8 – 16%) và xơ sợi dài (8 – 20%) khác nhau. Phương pháp đáp ứng bề mặt (RSM) được áp dụng để đánh giá ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến độ chịu bực và độ bền nén vòng của giấy carton chứa cellulose vi khuẩn. Hai mô hình hồi quy bậc hai đã được thiết lập với hệ số tương quan (R^2) cao, cho thấy mức độ tương quan chặt chẽ với dữ liệu thực nghiệm. Độ phù hợp của mô hình tiếp tục được xác nhận thông qua phân tích thống kê, khẳng định độ tin cậy của mô hình trong việc dự đoán các đặc tính cơ học. Kết quả nghiên cứu cho thấy sự cải thiện đáng kể về độ chịu bực và độ bền nén vòng, nhấn mạnh tiềm năng của cellulose vi khuẩn như một vật liệu để tăng cường một số đặc tính cơ học trong sản xuất giấy carton. Ngoài ra, các thông số sản xuất tối ưu đã được xác định, góp phần ứng dụng sản xuất giấy carton chứa cellulose vi khuẩn ở quy mô công nghiệp.

ABSTRACT

This study aims to assess the effects of bacterial cellulose and long fiber content on the bursting strength and ring crush resistance of carton paper containing bacterial cellulose. Bacterial cellulose was synthesized by hydrolyzing paper sludge with sulfuric acid (H_2SO_4) and fermenting it using *Acetobacter xylinum*, while long fibers were obtained by defibrating recycled paper pulp from a paper recycling mill in Binh Phuoc province, Vietnam. Carton paper containing bacterial cellulose was manufactured with varying bacterial cellulose (8 – 16%) and long fiber (8 – 20%) content. The Response Surface Methodology (RSM) was employed to systematically analyze the effects of these variables on bursting strength and ring crush resistance. Two quadratic regression models were established, exhibiting high coefficients of determination (R^2 values), indicating a strong correlation with experimental data. The model adequacy was further validated through statistical analysis, confirming its reliability in predicting mechanical performance. The results demonstrated a significant enhancement in both bursting strength and ring crush resistance with increasing bacterial cellulose and long fiber content, highlighting the potential of bacterial cellulose as a reinforcing material in carton paper production. Additionally, optimal production parameters were identified, contributing to the industrial application of bacterial cellulose-reinforced carton paper.

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 10/12/2024

Ngày phản biện: 13/01/2025

Ngày quyết định đăng: 07/02/2025

Từ khóa:

Bùn giấy, carton, cellulose vi khuẩn, độ chịu bực, độ bền nén vòng.

Keywords:

Bacterial cellulose, bursting strength, carton, paper sludge, ring crush resistance.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cellulose vi khuẩn (BC) là một dạng cellulose có độ tinh khiết cao và mức độ kết tinh lớn, chủ yếu được tạo ra thông qua quá trình lên men của *Acetobacter xylinum*. Quá trình này hình thành các sợi nano với tỷ lệ cao, tạo nên mạng lưới xốp 3D nhờ sự liên kết của nhiều liên kết hydro, giúp tăng diện tích bề mặt đáng kể. Nhờ đặc điểm này, BC có khả năng giữ nước rất cao, lên đến khoảng 200 lần so với khối lượng khô của nó. Bên cạnh đó, cấu trúc xốp 3D cũng mang lại nhiều tính chất đặc biệt cho cellulose vi khuẩn, bao gồm độ bền cơ học cao và khả năng tương thích sinh học tuyệt vời [1]. Chính vì vậy, BC được xem là một trong những vật liệu sinh học tiềm năng nhất với nhiều ứng dụng đa dạng như trong ngành dệt may, sản xuất giấy, màng lọc và vật liệu hấp thụ [2-4].

Đã có một số công trình nghiên cứu về việc ứng dụng BC trong sản xuất giấy như của nhóm nghiên cứu Nguyễn Đình Quân, Trường Đại học Bách Khoa - Đại học Quốc gia TP. HCM đã tận dụng bùn thải của nhà máy giấy để sản xuất cellulose vi khuẩn trộn vào vật liệu để tăng cường chất lượng giấy [5]. Võ Thị Thanh Hương và cộng sự [6] đã thử nghiệm sản xuất cellulose vi khuẩn (BC) từ bùn giấy ở quy mô pilot và đánh giá ứng dụng của BC như một chất độn tăng cường trong sản xuất giấy. Đúc kết từ những công trình nghiên cứu đã được thực hiện, BC hoàn toàn có thể được ứng dụng để tăng cường chất lượng giấy [4].

Nhằm cung cấp thêm thông tin một các hệ thống cho việc phát triển ứng dụng bột giấy cellulose vi khuẩn cho sản xuất giấy bao bì, nghiên cứu đã thực hiện với mục tiêu đánh giá ảnh hưởng của tỷ lệ phần trăm cellulose vi khuẩn và xơ sợi dài đến độ chịu bụi và độ bền nén vòng của giấy, đồng thời xác định các thông số sản xuất tối ưu để sản xuất giấy carton chứa cellulose vi khuẩn.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu

2.1.1. Cellulose vi khuẩn

Bùn giấy dùng trong nghiên cứu này được thu thập từ Nhà máy giấy tái chế Khôi Nguyên, tỉnh Bình Phước. Chủng vi khuẩn *Acetobacter xylinum* được cung cấp bởi Trung tâm Khoa học Sinh học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - Đại học Quốc gia TP. HCM.

Bùn giấy sau khi thu gom được xử lý sơ bộ bằng cách ngâm trong dung dịch NaOH 1M ở 30°C trong 24 giờ. Sau đó, hỗn hợp này được ép dưới áp suất 1,1 – 1,3 MPa để loại bỏ phần nước dư thừa. Phần chất rắn thu được sẽ được đưa vào thiết bị phản ứng để thực hiện giai đoạn thủy phân.

Quá trình thủy phân diễn ra với acid sulfuric (H_2SO_4) 8% khối lượng, trong đó tỷ lệ giữa khối lượng rắn (khô) và dung dịch duy trì ở mức 1:40. Hệ thống phản ứng được gia nhiệt bằng hơi nước đến 120°C, giữ ổn định nhiệt độ trong 1 giờ. Sau thủy phân, dung dịch được trung hòa bằng NaOH và $Ba(OH)_2$ với tỷ lệ mol 6:4 cho đến khi đạt pH 5 – 5,5.

Trước khi lên men, *A. xylinum* được nuôi cấy trong môi trường gồm: Glucose: 40 g/l, peptone: 5 g/l, yeast extract: 5 g/l, $(NH_4)_2HPO_4$: 2,7 g/l, nước dừa: 1.000 ml. Hỗn hợp nuôi cấy được hấp thanh trùng ở 121°C trong 5 phút, sau đó để nguội đến 30°C trước khi bổ sung 10% con giống vi khuẩn. Vi khuẩn được nuôi duy trì ở 35°C trong 7 ngày trước khi tiến hành lên men bùn giấy.

Dịch đường sau trung hòa được chuyển vào thiết bị phản ứng có dung tích 800 lít, sau đó bổ sung yeast extract, peptone và $(NH_4)_2HPO_4$ để cung cấp dinh dưỡng cho vi sinh vật. Hỗn hợp này được hấp thanh trùng bằng hơi nước ở 100°C trong 10 phút trước khi phân phối vào các khay có kích thước 34,5 × 27 × 8 cm.

Dung dịch trong khay được làm nguội xuống 35°C, sau đó bổ sung 10% *A. xylinum* vào mỗi khay. Bề mặt các khay được che phủ bằng giấy báo để hạn chế tạp nhiễm, đồng thời duy trì nhiệt độ ổn định 35°C trong suốt 14 ngày lên men.

Khi kết thúc quá trình lên men, lớp cellulose vi khuẩn nổi trên bề mặt được thu hoạch và

chuyển vào bể chứa dung dịch xút để tẩy trắng và làm sạch sản phẩm.

2.1.2. Xơ sợi dài

Bột giấy tái chế được thu gom tại nhà máy giấy tái chế Khôi Nguyên, tỉnh Bình Phước. Sau đó bột giấy tái chế được nghiền và sàng lọc tách các xơ sợi dài ra khỏi các loại xơ sợi còn lại.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp đáp ứng bề mặt và phương án cấu trúc có tâm

Trong nghiên cứu này, phương án cấu trúc có tâm (CCD) trong phương pháp đáp ứng bề mặt (RSM) được sử dụng để phân tích ảnh hưởng

của hai thông số đầu vào, bao gồm tỷ lệ phần trăm cellulose vi khuẩn (%) và tỷ lệ phần trăm xơ sợi dài (%), đến độ chịu bụi và độ bền nén vòng của giấy carton. Ma trận thí nghiệm gồm 11 nghiệm thức được thiết kế bằng phần mềm Minitab phiên bản 21.2, trong đó có 3 nghiệm thức lặp tại tâm. Mức và khoảng biến thiên của các thông số đầu vào được trình bày trong Bảng 1, trong đó tỷ lệ phần trăm cellulose vi khuẩn dao động từ 6% đến 18% và tỷ lệ phần trăm xơ sợi dài từ 6% đến 22%. Các nghiệm thức khảo nghiệm được xác định bằng phương pháp RSM kết hợp CCD được tóm tắt trong Bảng 2.

Bảng 1. Mức và khoảng biến thiên của các thông số đầu vào

Các thông số đầu vào	Dạng mã hóa và dạng thực				
	- α	-1	0	1	α
Tỷ lệ phần trăm cellulose vi khuẩn (%)	6	8	12	16	18
Tỷ lệ phần trăm xơ sợi dài (%)	6	8	14	20	22

Bảng 2. Ma trận thí nghiệm với các nghiệm thức khảo nghiệm

NT	Tỷ lệ phần trăm cellulose vi khuẩn	Tỷ lệ phần trăm xơ sợi dài
	BC%	LF%
NT1	8	8
NT2	16	8
NT3	8	20
NT4	16	20
NT5	6	14
NT6	18	14
NT7	12	6
NT8	12	22
NT9	12	14
NT10	12	14
NT11	12	14

2.2.2. Quy trình sản xuất giấy carton chứa cellulose vi khuẩn

Cellulose vi khuẩn sau khi tẩy trắng sẽ được nghiền nhỏ và trộn với xơ sợi dài và các loại xơ sợi còn lại với tỷ lệ phần trăm theo các nghiệm thức khảo nghiệm. Sau đó hỗn hợp phối trộn được cho thêm phụ gia và khuấy đều, cuối cùng là xeo và sấy giấy.

2.2.3. Phương pháp xác định độ chịu bụi, độ bền nén vòng của giấy carton

Độ chịu bụi được xác định theo Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 3228-2:2000 về Giấy và các tông - Xác định độ chịu bụi [7]. Độ bền nén

vòng được xác định theo Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 6896:2015 về Giấy và các tông - Xác định độ bền nén - Phương pháp nén vòng - 15 [8].

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Kết quả xác định độ chịu bụi và độ bền nén vòng của giấy carton thí nghiệm được tổng hợp ở Bảng 3.

Trong nghiên cứu này, mô hình đa thức bậc hai đã được xây dựng bằng phương án cấu trúc có tâm (CCD) để đánh giá các ảnh hưởng tuyến tính, bậc hai và tương tác của các thông số đầu vào đối với độ chịu bụi và độ bền nén vòng của giấy carton. Phương pháp phân tích phương sai

(ANOVA) được sử dụng để xác định các yếu tố có ý nghĩa thống kê trong mô hình đối với độ

chịu bực (BS) và độ bền nén vòng (RCR), như được trình bày chi tiết ở Bảng 4 và Bảng 5.

Bảng 3. Kết quả độ chịu bực và độ bền nén vòng của giấy carton thí nghiệm

NT	Tỷ lệ phần trăm cellulose vi khuẩn BC%	Tỷ lệ phần trăm xơ sợi dài LF%	Độ chịu bực BS (KPa)	Độ bền nén vòng RCR (KN/m)
NT1	8	8	146	11,25
NT2	16	8	155	12,31
NT3	8	20	156	11,32
NT4	16	20	183	12,75
NT5	6	14	149	10,90
NT6	18	14	172	12,44
NT7	12	6	154	12,21
NT8	12	22	174	12,45
NT9	12	14	165	12,89
NT10	12	14	167	12,86
NT11	12	14	166	12,92
ĐC	-	-	135	9,80

Bảng 4. Kết quả phân tích phương sai đối với độ chịu bực

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	1281,78	256,356	51,38	0,000
Linear	2	1138,21	569,103	114,06	0,000
BC%	1	584,74	584,735	117,20	0,000
LF%	1	553,47	553,471	110,93	0,000
Square	2	62,57	31,287	6,27	0,043
BC%*BC%	1	58,93	58,932	11,81	0,018
LF%*LF%	1	16,73	16,727	3,35	0,127
2-Way Interaction	1	81,00	81,000	16,23	0,010
BC%*LF%	1	81,00	81,000	16,23	0,010
Error	5	24,95	4,989		
Lack-of-Fit	3	22,95	7,649	7,65	0,118
Pure Error	2	2,00	1,000		
Total	10	1306,73			

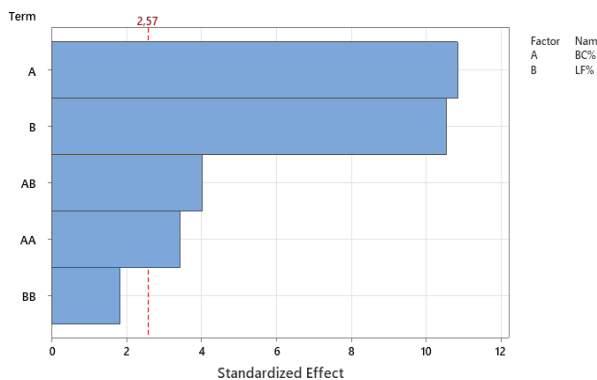
Bảng 5. Kết quả phân tích phương sai đối với độ bền nén vòng

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	5,17025	1,03405	85,26	0,000
Linear	2	2,80177	1,40088	115,51	0,000
BC%	1	2,71059	2,71059	223,50	0,000
LF%	1	0,09118	0,09118	7,52	0,041
Square	2	2,33426	1,16713	96,23	0,000
BC%*BC%	1	2,21677	2,21677	182,78	0,000
LF%*LF%	1	0,58837	0,58837	48,51	0,001
2-Way Interaction	1	0,03422	0,03422	2,82	0,154
BC%*LF%	1	0,03422	0,03422	2,82	0,154
Error	5	0,06064	0,01213		
Lack-of-Fit	3	0,05884	0,01961	21,79	0,044
Pure Error	2	0,00180	0,00090		
Total	10	5,23089			

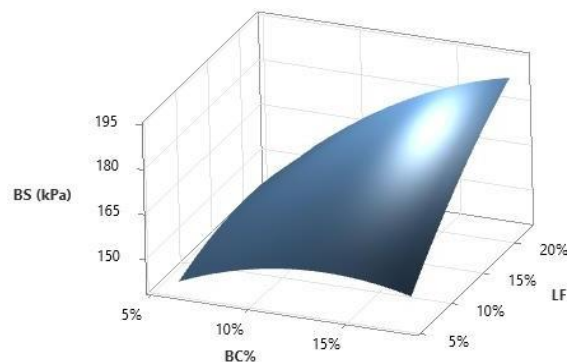
3.1. Ảnh hưởng của tỷ lệ phối trộn cellulose vi khuẩn và tỷ lệ xơ sợi dài đến độ chịu bực của giấy carton

Các thông số đầu vào và tương tác của chúng với độ chịu bực được phân tích qua biểu đồ Pareto (Hình 1), trong đó đường nét đứt biểu thị ngưỡng ý nghĩa thống kê ở mức tin cậy 95%. Phân tích phương sai ANOVA và biểu đồ Pareto cho thấy tỷ lệ phối trộn cellulose vi khuẩn (BC) và

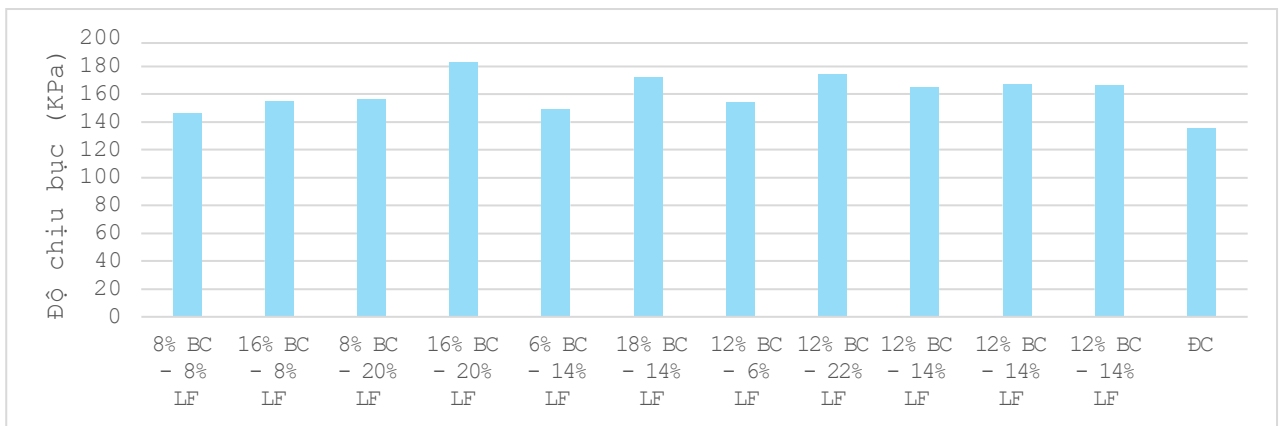
tỷ lệ phối trộn xơ sợi dài có ảnh hưởng đáng kể đến độ chịu bực (Bảng 4 và Hình 1). Khi tỷ lệ BC và tỷ lệ xơ sợi dài tăng, độ chịu bực giấy carton thí nghiệm cũng tăng, đạt cực đại 183 KPa tại 16% BC và 20% xơ sợi dài (Hình 2 và 3). Sự cải thiện này có thể do BC tăng cường độ bám dính giữa các sợi, lấp đầy khoảng trống trên bề mặt giấy, qua đó nâng cao độ bền tổng thể [9, 10].



Hình 1. Biểu đồ Pareto cho độ chịu bực (BS)



Hình 2. Đồ thị biểu hiện sự ảnh hưởng của tỷ lệ phần trăm BC và xơ sợi dài đến BS



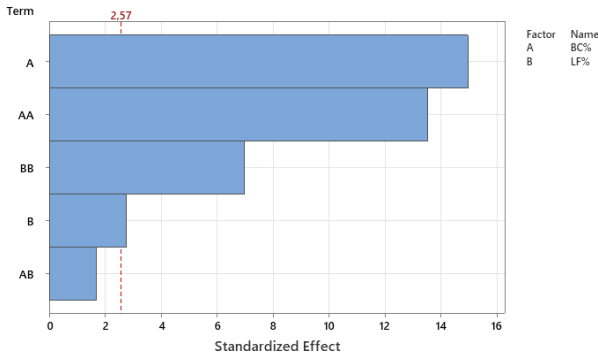
Hình 3. Độ chịu bực qua các nghiệm thức khảo nghiệm

3.2. Ảnh hưởng của tỷ lệ phối trộn cellulose vi khuẩn và tỷ lệ xơ sợi dài đến độ bền nén vòng của giấy carton

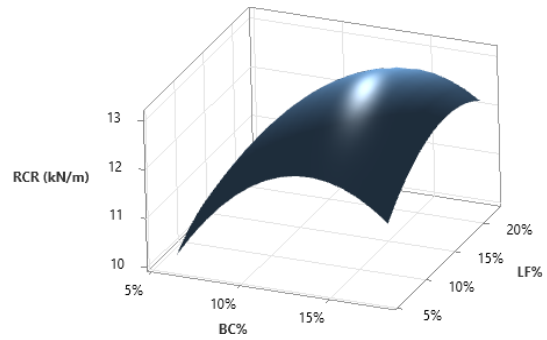
Tương tự thông số đầu vào và các tương tác của chúng đối với độ bền nén vòng cũng được phân tích bằng biểu đồ Pareto (Hình 4).

Tỷ lệ phối trộn cellulose vi khuẩn và tỷ lệ xơ sợi dài có ảnh hưởng có ý nghĩa đến độ bền nén vòng, thể hiện qua kết quả phân tích phương sai ANOVA trong Bảng 5 và biểu đồ Pareto (Hình 4).

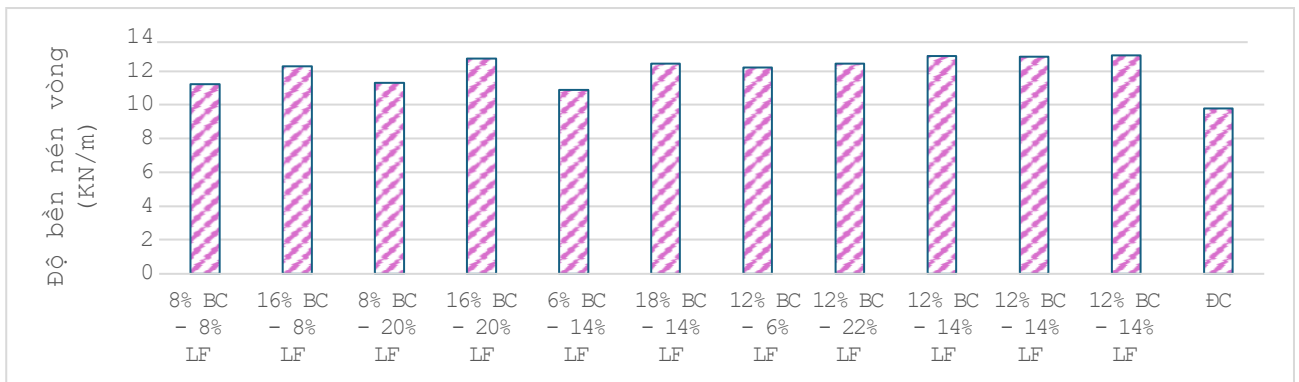
Khi tỷ lệ phối trộn cellulose vi khuẩn và tỷ lệ xơ sợi dài tăng, độ bền nén vòng của giấy carton thí nghiệm tăng, đạt giá trị cao nhất là 12,92 KN/m tại 12% cellulose vi khuẩn và 14% xơ sợi dài. Tuy nhiên, sau ngưỡng này, độ bền nén vòng giảm nhẹ (Hình 5 và Hình 6). Nguyên nhân có thể do sợi BC có kích thước micro và nano với chiều dài ngắn, dẫn đến sự suy giảm liên kết ngang khi hàm lượng BC vượt quá 12%, làm giảm độ bền nén vòng của giấy [11].



Hình 4. Biểu đồ Pareto cho độ bền nén vòng (RCR)



Hình 5. Đồ thị biểu hiện sự ảnh hưởng của tỷ lệ phần trăm BC và xơ sợi dài đến RCR



Hình 6. Độ bền nén vòng qua các nghiệm thức khảo nghiệm

3.3. Phân tích hồi quy và độ phù hợp của mô hình

Độ phù hợp của mô hình được đánh giá thông qua hệ số tương quan (R^2), một tham số thống kê toàn cục nhằm đo lường mức độ tương thích của mô hình với dữ liệu thực nghiệm. Các giá trị R^2 đối với độ chịu bức và độ bền nén vòng lần lượt là 98,09% và 98,84%, cho thấy sự phù hợp chặt chẽ với dữ liệu thực nghiệm. Điều này chứng tỏ mô hình giải thích được phần lớn sự biến thiên của dữ liệu, với mức sai số còn lại dưới 2%.

Để kiểm tra sâu hơn về độ phù hợp của mô hình, hệ số tương quan đã điều chỉnh (R^2 điều chỉnh) cũng được tính toán, với các giá trị lần lượt là 96,18% và 97,68% đối với độ chịu bức và độ bền nén vòng. Những kết quả này xác nhận tính vững chắc của mô hình, đồng thời cho thấy

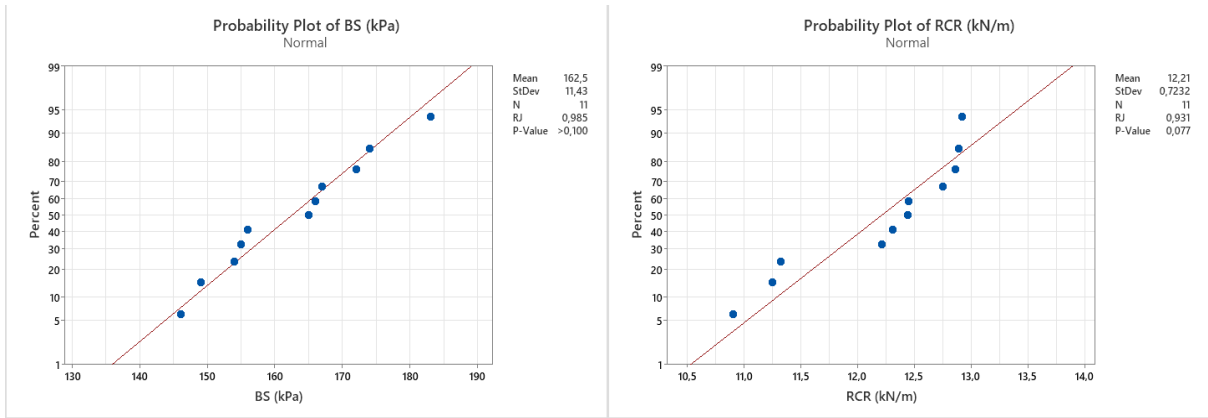
mô hình có thể áp dụng hiệu quả trong thực tế sản xuất.

Kiểm định chuẩn Ryan-Joiner được thực hiện để đánh giá tính chuẩn của phần dư trong mô hình hồi quy đối với độ chịu bức và độ bền nén vòng. Kết quả kiểm định thu được giá trị p-value > 0,05, cho thấy không có sự sai lệch đáng kể so với phân phối chuẩn. Kết quả này xác nhận rằng các phần dư trong mô hình hồi quy tuân theo phân phối chuẩn, đảm bảo tính hợp lệ của các giả định ANOVA và độ tin cậy của mô hình dự đoán (Hình 7).

Sau khi đã loại bỏ các hệ số hồi quy không có ý nghĩa thống kê, phương trình tương quan biểu diễn sự ảnh hưởng của tỷ lệ phần trăm cellulose vi khuẩn BC% (%), tỷ lệ phần trăm xơ sợi dài LF% (%) đến độ chịu bức BS (KPa) và độ bền nén vòng RCR (KN/m) như sau:

$$BS = 128,8 + 314 BC\% - 82,4 LF\% - 1539 BC\%^2 + 1875 BC\% \times LF\% \quad (1)$$

$$RCR = 3,909 + 99,15 BC\% + 29,40 LF\% - 354,3 BC\%^2 - 98,4 LF\%^2 \quad (2)$$

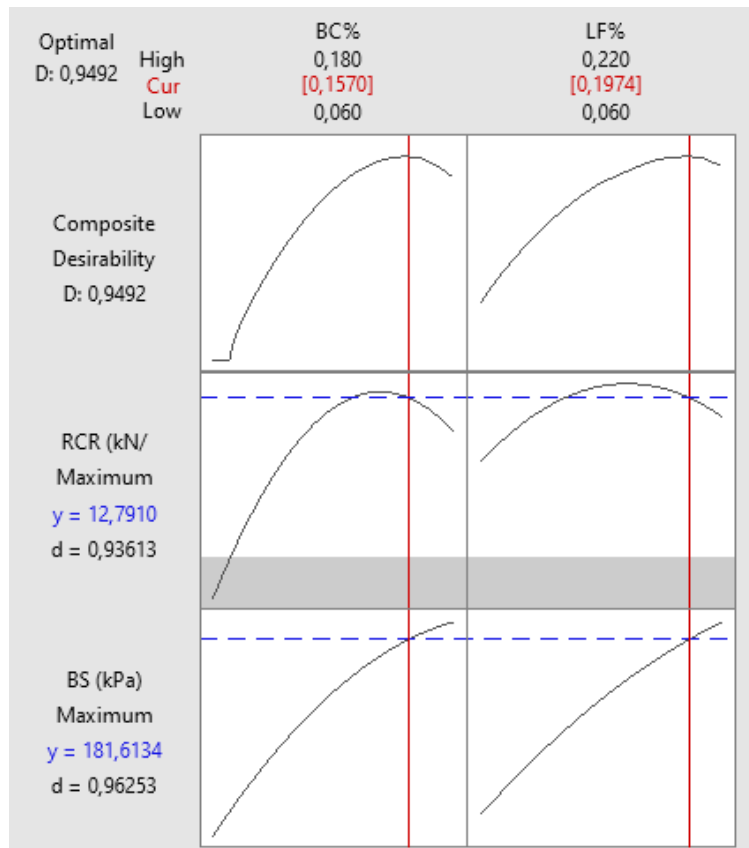


Hình 7. Kiểm định chuẩn Ryan-Joiner đối với độ chịu bực và độ bền nén vòng

3.4. Điều kiện xử lý tối ưu

Điều kiện xử lý tối ưu được xác định với tổng mức độ mong muốn cao (composite desirability = 0,9492). Tỷ lệ cellulose vi khuẩn

tối ưu là 16%, với tỷ lệ xơ sợi dài là 20%. Dưới các điều kiện này, độ chịu bực đạt 182 KPa và độ bền nén vòng đạt 12,79 KN/m (Hình 8).



Hình 8. Mặt cắt của bề mặt đáp ứng tại điểm tối ưu cho độ chịu bực và độ bền nén vòng của giấy carton

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này cho thấy cellulose vi khuẩn hoàn toàn có thể sử dụng để tăng cường chất lượng giấy carton, thể hiện qua sự gia tăng độ chịu bực và độ bền nén vòng của giấy. Càng tăng

tỷ lệ phần trăm cellulose vi khuẩn và tỷ lệ phần trăm xơ sợi dài thì độ chịu bực và độ bền nén vòng của giấy càng tăng. Tuy nhiên, độ bền nén vòng bắt đầu giảm nhẹ khi tỷ lệ phần trăm cellulose vi khuẩn lớn hơn 12%. Điều kiện xử lý

tối ưu đã được xác định với tỷ lệ cellulose vi khuẩn tối ưu là 16% và tỷ lệ xơ sợi dài là 20%. Dưới các điều kiện này, độ chịu bụi đạt 182 KPa và độ bền nén vòng đạt 12,79 KN/m.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Zeng A., Yang R., Tong Y. & Zhao W. (2023). Functional bacterial cellulose nanofibrils with silver nanoparticles and its antibacterial application. *International Journal of Biological Macromolecules*. 235: 123739. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.123739.
- [2]. Zeng X., Small D. P. & Wan W. (2011). Statistical optimization of culture conditions for bacterial cellulose production by *Acetobacter xylinum* BPR 2001 from maple syrup. *Carbohydrate Polymers*. 85(3): 506-513. DOI: 10.1016/j.carbpol.2011.02.034.
- [3]. Nguyen Quoc Duy, Nguyen Thi Van Linh, Nguyen Thi Thuy Dung & Nguyen Nhu Ngoc (2022). Effects of different hydrocolloids on the production of bacterial cellulose by *Acetobacter xylinum* using Hestrin-Schramm medium under anaerobic condition. *Bioresource Technology Reports*. 17: 100878. DOI: 10.1016/j.biteb.2021.100878.
- [4]. Cruz M. A., Flor-Unda O., Avila A., Garcia M. D. & Cerda-Mejía L. (2024). Advances in Bacterial Cellulose Production: A Scoping Review. *Coatings*. 14(11): 1401. DOI: 10.3390/coatings14111401.
- [5]. Như Quỳnh (2024). Nhà khoa học Việt biến bùn thải giấy thành vật liệu có ích. Báo điện tử VnExpress. Truy cập từ <https://vnexpress.net/nha-khoa-hoc-viet-bien-bun-thai-giay-thanh-vat-lieu-co-ich-4745636.html>
- ngày 15/09/2024.
- [6]. Võ Thị Thanh Hương, Lê Tấn Nhân Từ, Nguyễn Phạm Tú Uyên, Huỳnh Lê Tuyết Thư, Ngô Thục Tri Nguyễn, Lê Nguyễn Phúc Thiên, Lê Hữu Phước, Huỳnh Quyền & Nguyễn Đình Quân (2023). Thử nghiệm sản xuất cellulose vi khuẩn (BC) từ bùn giấy với quy mô pilot và ứng dụng làm phụ liệu tăng cường chất lượng giấy. *Tạp chí Môi trường*. 9: 11-15. Truy cập từ <https://nsti.vista.gov.vn/publication/download/hE/qFIDhEbGsUeTyq.html> ngày 15/09/2024.
- [7]. Tiêu chuẩn quốc gia Việt Nam (2015). TCVN 6896:2015 về Giấy và các tông - Xác định độ bền nén - Phương pháp nén vòng.
- [8]. Tiêu chuẩn quốc gia Việt Nam (2000). TCVN 3228-2:2000 về Giấy và các tông - Xác định độ chịu bụi.
- [9]. Boufi S., González I., Delgado-Aguilar M., Tarrès Q., Pèlach M. À. & Mutjé P. (2016). Nanofibrillated cellulose as an additive in papermaking process: A review. *Carbohydrate Polymers*. 154: 151-166. DOI: 10.1016/j.carbpol.2016.07.117.
- [10]. Bharimalla A. K., Deshmukh S. P., Patil P. G. & Vigneshwaran N. (2017). Micro/nano-fibrillated cellulose from cotton linters as strength additive in unbleached kraft paper: Experimental, semi-empirical, and mechanistic studies. *BioResources*. 12(3): 5682-5696. DOI: 10.15376/biores.12.3.5682-5696.
- [11]. Li A., Xu D., Luo L., Zhou Y., Yan W., Leng X., Dai D., Zhou Y., Ahmad H., Rao J. & Fan M. (2021). Overview of nanocellulose as additives in paper processing and paper products. *Nanotechnology Reviews*. 10(1): 264-281. DOI: 10.1515/ntrev-2021-0023.