

E-Cam/Epoksi Kompozitlerde Lif Doğrultularının Gerilme Gevşeme Davranışı Üzerindeki Etkisi

Mustafa ÖZEN

Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye.
mustafaozen@harran.edu.tr

(Geliş/Received: 10.01.2017; Kabul/Accepted: 24.02.2017)

Özet

Bu çalışmada, E-cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit plakalarda lif doğrultularının malzemenin gevşeme özellikleri üstündeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Bu kapsamda, Vakum destekli reçine infüzyon yöntemi (VDRİY) kullanılarak imal edilen kompozit plakalardan 0°, 90° ve 45° doğrultularında çekme numuneleri hazırlanmıştır. İlk olarak statik çekme testi sonucunda malzemelerin çekme dayanımları, yüzde uzamaları ve Elastisite Modülleri tespit edilmiştir. Daha sonra yüzde uzama değeri 0.5 seçilerek gevşeme testleri yapılmıştır. Gerilme – gevşeme oranının lif doğrultusuyla ilgili olduğu görülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda maksimum gevşemenin 45° oryantasyonlu numunelerde gerçekleşirken minimum gevşemenin 0° konfigürasyonlu numunelerde gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Cam Elyaf/Epoksi Kompozit, Gerilme-Gevşeme Davranışı, Lif Doğrultusu

The Effect of Fiber Directions on Stress – Relaxation Behavior of E-Glass/Epoxy Composites

Abstract

In this study, the effects of fiber orientations on the stress relaxation behavior of composite plates reinforced with E-glass fiber and epoxy matrix were experimentally investigated. In this scope, tensile samples were prepared in 0°, 90° and 45° directions from the composite plates manufactured by Vacuum Assisted Resin infusion Method (VARIM). Firstly, the ultimate tensile strength, strain and modulus of elasticity of the materials were determined from the results of the static tensile test. After that, the strain value was selected as 0.5 and relaxation tests were performed. It is seen that the stress - relaxation ratio is directly related to the fiber orientation. It has been observed that the maximum stress-relaxation rate takes place at 45° oriented specimens while the minimum stress-relaxation rate takes place at 0° configuration specimens.

Keywords: E-Glass/Epoxy Composite, Stress-Relaxation Behavior, Fiber Direction.

1. Giriş

Kompozit malzemelerin kullanımı, yüksek dayanım/yoğunluk ve yüksek elastisite modülü/yoğunluk oranlarına sahip olmaları nedeniyle hızlı bir şekilde artış göstermektedir. Kompozit malzemelerin %90 a yakın kısmını polimer esaslı matrisler oluşturmaktadır. Polimer malzemeler viskoelastik malzemeler olup mekanik özellikleri zamana bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu nedenle polimer matrisli kompozitlerin uzun dönem mekanik özelliklerinin araştırılması oldukça önemlidir. Polimer matrisli kompozitlerin viskoelastisite davranışı polimer matrislerin uzun moleküler zincirlerinden kaynaklanmaktadır. Sürünme ve

gevşeme testleri kompozitlerin uzun dönem mekanik performanslarının tespiti için en çok kullanılan metotlarıdır. Gevşeme özelliği malzemelerin zamana bağlı olarak davranışını temsil ettiğinden, malzemenin çalışma ömründe oldukça önemli bir role sahiptir [1,2].

Vakum infüzyon işleminin amacı, reçinenin mümkün olan en kısa sürede nihai hedefine ulaşması ve düşük boşluk içeriğine sahip bir parça üretilmesidir. Vakum destekli reçine infüzyon tekniği özellikle çok büyük kompozit yapıların imalatında ve onarımında kullanılan aletlerin maliyetini düşürmesi nedeniyle son yıllarda çok tercih edilen bir imalat teknolojisi haline gelmiştir [3-6].

Yeni geliştirdikleri kauçuk basınç kalıplama yöntemiyle imal edilen cam elyaf takviyeli polyeester kompozitlerin gevşeme davranışları Kar ve diğ. [7] tarafından incelenmiştir. Geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında geliştirdikleri yöntemle imal edilen kompozitlerde gevşeme oranının daha küçük olduğu tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklıklarda ve yüksek yüzde uzama seviyelerinde tek yönlü T800H/3631 karbon/epoksi kompozitlerin gerilme gevşeme davranışları Kawai ve diğ. [8] tarafından araştırılmıştır. Çalışmalarında, lif oryantasyonunun ve uzun süreli yüzde uzamanın etkilerini incelemek için 100°C sıcaklıkta beş farklı oryantasyon ve üç farklı yüzde uzama seviyesi için gevşeme testleri gerçekleştirilmiştir. Kompozitin gerilme gevşeme miktarının lif doğrultusuna bakmaksızın zamanla sıfır olmaya çalıştığını sonucuna varılmıştır.

Tek eksenli testlerle, PTFE kaplanmış membran malzemelerinin farklı sıcaklıklardaki gerilme gevşeme davranışları Zhang ve diğ. [9] tarafından incelenmiş ve daha sonra mevcut viskoelastik modellerin birkaçı basit şekilde sunulmuştur. Sıcaklıktaki artışın, membran malzemenin gevşeme miktarını düşürdüğü ve nihai denge değerini artırdığını tespit edilmiştir.

Safroui ve diğ. [10], kısa cam elyaf ile takviye edilmiş polipropilen termoplastik kompozitlerin viskoelastik davranışını incelemiştir. Kalıp sıcaklığındaki artış ve elyaf yüzeyindeki boyutlandırma işleminin malzemenin gerilme gevşeme davranışında iyileştirmeye yol açacağı belirtilmiştir.

Sreekala ve diğ. [11] kısa palmiye lifleri ile takviye edilmiş fenol-formaldehit kompozitlerinin gerilme gevşemelerini elyaf yükleme, elyaf iyileştirme, fiziksel yaşlandırma ve şekil değiştirme seviyelerine bağlı olarak incelemiştir. Muz lifleri ile takviye edilmiş polyeester kompozitlerin gerilme gevşeme davranışları Pothan ve diğ. [12] tarafından incelenmiştir. Çalışmaları sonucunda Poliyester matrise lif eklemenin gevşeme oranını düşürdüğünü tespit edilmiştir. Ayrıca muz liflerinin cam lifleriyle hibritlenmesinde

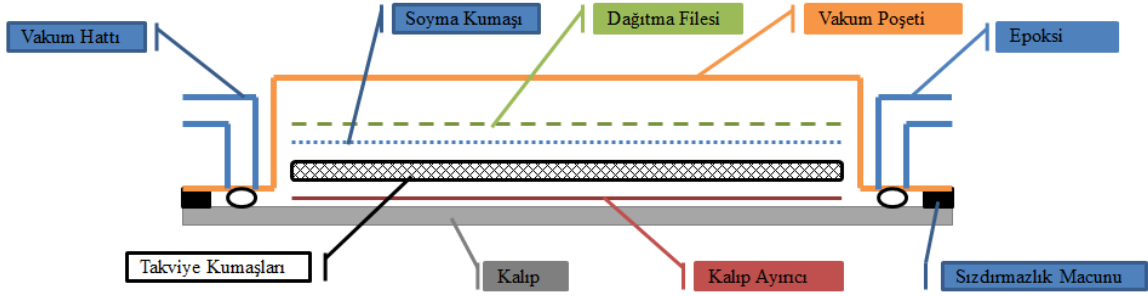
gerilme gevşeme miktarını düşürdüğünü gözlemlenmiştir.

Tang ve Felicelli [13], polimer kompozitlerin gevşeme rijitliğini karakterize etmek için mikromekanik bir model geliştirmiştir. Geliştirdikleri model ile diğer sonlu eleman çözümlerinde kullanılan birçok yükleme ve sınır şartlarına gerek kalmadan tüm gevşeme rijitlik katsayıları eş zamanlı olarak hesaplanabilmektedir. Abadi [14], çalışmasında lif takviyeli polimerlerin gevşeme davranışını mikromekanik olarak analiz etmiştir. Geliştirdiği analitik yöntem ile grafit/epoksi kompozitlerin gevşeme davranışını hesaplamış ve sonuçları mikromekanik bir sonlu eleman modeli ile karşılaştırmıştır. Kompozit malzemelerin lineer anizotropik viskoelastik davranışı için analitik ve nümerik sonuçlar arasında çok iyi bir korelasyon olduğu belirtilmiştir.

Bu çalışmada Vakum Destekli Reçine İnfüzyon Yöntemi (VDRIY) kullanılarak üretilen cam elyaf takviyeli Epoksi matrisli kompozit plaklarda elyaf doğrultusunun malzemenin gevşeme özellikleri üstündeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

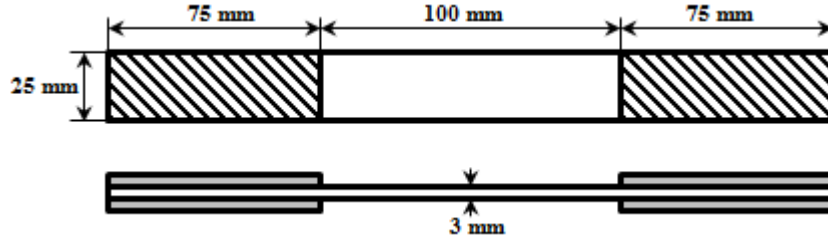
Bu çalışmada takviye malzemesi olarak yoğunluğu 320 g/m² olan tek yönlü cam elyaf kumaş seçilmiştir. Termoset polimer matris malzemesi olarak çift bileşenli Araldite LY 564 epoksi ile Aradur 3487 BD sertleştirici seçilmiştir. Kompozit plakada takviye malzemesi için 10 kat 60x80 cm boyutlarında 1536 gr tek yönlü cam elyaf kumaş hazırlanmıştır. Matris malzemesi için 1145 gr epoksi ve 390 gr sertleştiriciden hazırlanan karışım kullanılmıştır. Hazırlanan takviye kumaşları Şekil 1'de gösterildiği gibi 1 bar basınçla vakum ortamına alınmıştır. Vakum sızdırmazlığının sağlanmasından sonra epoksi karışımının takviye kumaşlarına infüzyonu sağlanmıştır. Reçinelerin tüm takviye kumaşlarına infüzyonundan sonra vakum ortamında sistem 2 saat boyunca 100 °C sıcaklıkta kurlenmeye bırakılmıştır.



Şekil 1. Vakum destekli reçine infüzyon yönteminin şematik resmi

Hazırlanan kompozit plakalardan 0°, 90° ve 45° doğrultularında çekme numuneleri Şekil 2’de gösterilen boyutlarda kesilmiştir. Numunelere ek olarak çekme numunelerinin uç noktalarının

güçlendirilmesi için kompozit plakadan 25x75 mm boyutlarında parçalar kesilmiş ve deney numunelerine Şekil 2’de gösterildiği gibi yapıştırılmıştır.



Şekil 2. Numune boyutları

Hazırlanan numunelerin çekme dayanımı ve maksimum yüzde uzama değerlerinin belirlenmesi için 0°, 90° ve 45° doğrultularındaki numunelerden üçer adet alınarak tek eksenli çekme deneyine tabi tutulmuştur. Tüm deneyler Shimadzu AGS-X Plus marka çekme cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Numuneler sabit bir deplasman oranı olarak 1 mm/dak hızla çekilmiş

ve yüzde uzamaların tespiti için temassız dijital video ekstansiyometre cihazı kullanılmıştır. Bu deneyler esnasında 0°, 90° ve 45° doğrultusundaki numuneler için elastisite modülleri, çekme dayanımları ve maksimum yüzde uzama değerleri hesaplanmıştır. Tek eksenli çekme deneyine ait ortalama sonuçlar Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. Tek eksenli çekme deney sonuçları

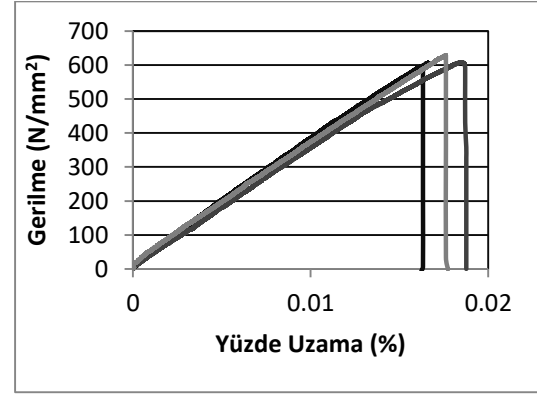
	Elastisite Modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Maksimum Yüzde Uzama (%)
0° numuneler	36.7	605.11	2.21
90° numuneler	13.5	88.68	2.02
45° numuneler	5.9	71.74	5.33

Bu çalışmada gevşeme testi için sabit yüzde uzama değeri olarak; tüm konfigürasyonların gerilme şekil değiştirme diyagramları incelenmiş olup bu konfigürasyonlarda hasara neden olmayacak bir değer olan % 0.5 sabit yüzde uzama değeri seçilmiştir. Numuneler belirlenen sabit yüzde uzama değerine ulaşana kadar 1 mm/dak sabit hızla çekilmiş ve istenen yüzde uzama değerine ulaşıldıktan sonra gerilme gevşeme davranışının incelenmesi için deformasyon kontrolü kullanılmış ve numuneler 3 saat

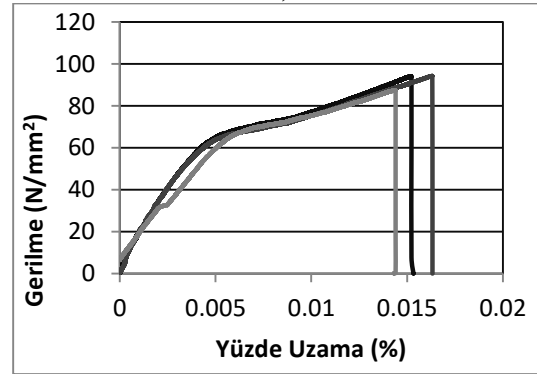
boyunca bu belirlenen yüzde uzama konumunda bekletilmiştir. Tüm numuneler için yükün zamanla değişim verileri kaydedilmiştir. Bekleme süresinin 3 saat olarak belirlenmesinin nedeni ise yapılan deneyler sonucunda gerilme değişim miktarlarının bu süreden sonra % 0.5 den daha küçük olmasıdır. Tüm deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

3. Sonuçlar

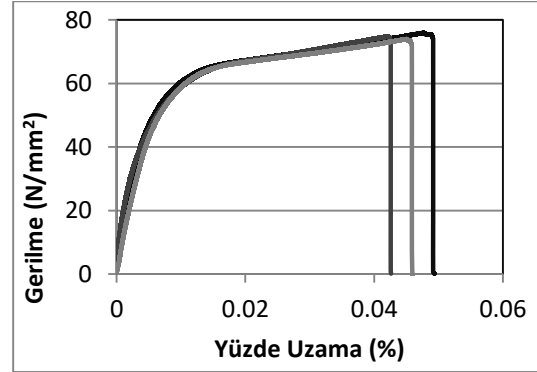
Statik çekme testi sonucunda 0 derece oryantasyonlu numunelere ait çekme dayanımı değeri liflerin uygulanan yük doğrultusunda olması nedeniyle beklenildiği üzere diğer iki konfigürasyona göre daha yüksek çıkmıştır. En küçük çekme dayanımı değeri ise 45 derece oryantasyona sahip numunelerde gerçekleşmiştir. Bilindiği üzere tek eksenli normal gerilme durumunda maksimum kayma gerilmesi değeri 45 derecelik düzlemlerde oluşur. 45 derece numunelerde kayma gerilmesinin maksimum olduğu bu doğrultuda lif ile matris ara yüzeyindeki mekanik bağlar bulunmaktadır. Dolayısıyla bu numunelerde ara yüzeyde bulunan yapışma bölgesinde hasar gerçekleşmiş ve çekme dayanımı değeri diğer iki konfigürasyona göre daha düşük çıkmıştır. Her üç konfigürasyona ait elastisite modüllerinin bulunabilmesi için numunelere ait gerilme – yüzde uzama diyagramları Şekil 3. de ki gibi çizilmiştir. Şekil 3.a’ da 0° oryantasyonuna ait numunelerin sonuçları verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi bu numuneler maximum gerilme değerine ulaşana kadar lineer bir davranış göstermektedir. Halbuki 90° ve 45° oryantasyonuna sahip numunelerde maksimum gerilme değerine ulaşmaya kadar iki farklı eğim gözlemlenmiştir (Şekil 3b. ve c). Bu numuneler 0 – 65 MPa arasında daha yüksek eğim değerlerine sahip iken 65 MPa dan maksimum gerilme değerine geçiş bölgesinde daha düşük eğim değerlerine sahip oldukları görülmektedir. 0° oryantasyonlu numunelerde lifler uygulanan yük doğrultusunda yük ve lifler arasında daha önce belirtilen 90° ve 45° oryantasyon açıları mevcuttur. Buna bağlı olarak yük doğrultusunda lif bulunan konfigürasyonda yüklerin tümü lifler tarafından taşınırken diğer iki konfigürasyonda yükler lif ve matris malzemeleriyle taşınmaktadır. Matris malzemelerinin dayanım değerleri lif malzemesine göre daha küçük olduğundan belli bir gerilme değerinden (yaklaşık 65 MPa) önce yapının gerilme – yüzde uzama davranışında daha büyük bir eğim gözlemlenirken, bu noktadan sonra matris malzemede meydana gelen hasar nedeniyle yapıda oluşan kısmi hasara bağlı olarak eğimin azaldığı gözlemlenmiştir.



a)



b)



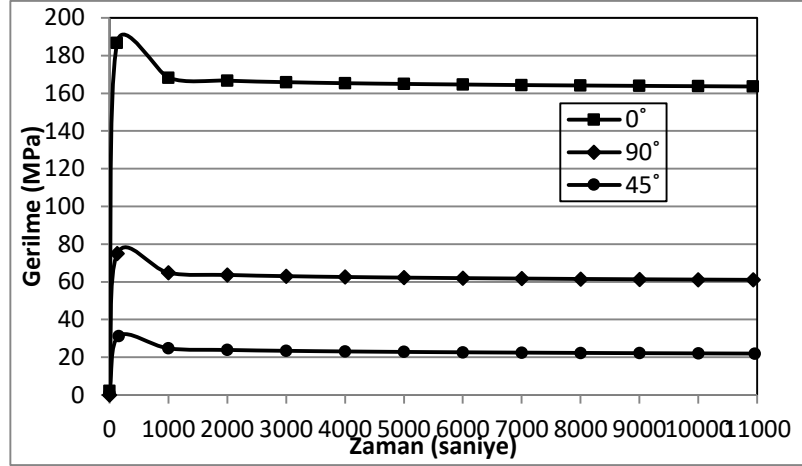
c)

Şekil 3. Tek eksenli çekme deneyi sonunda gerilme yüzde uzama diyagramları a) 0° oryantasyonlu numuneler b) 90° oryantasyonlu numuneler c) 45° oryantasyonlu numuneler

Tüm konfigürasyonlar için 3 saat süresince ve sabit oda sıcaklığında % 0.5 şekil değişimi altında gerilme değişimini göstermek amacıyla Şekil 4’de verilen gerilme – zaman grafiği çizilmiştir. Tek eksenli çekme deneyi esnasında % 0.5 uzama değeri anında 0°, 90° ve 45° oryantasyonlu numuneler için gerilme değerleri sırasıyla ortalama 186.69 MPa, 75.07 MPa ve 31.32 MPa olarak ölçülmüştür. 3 saatlik gevşeme

süresi sonunda ise 0°, 90° ve 45° oryantasyonlu numuneler için gerilme değerleri sırasıyla

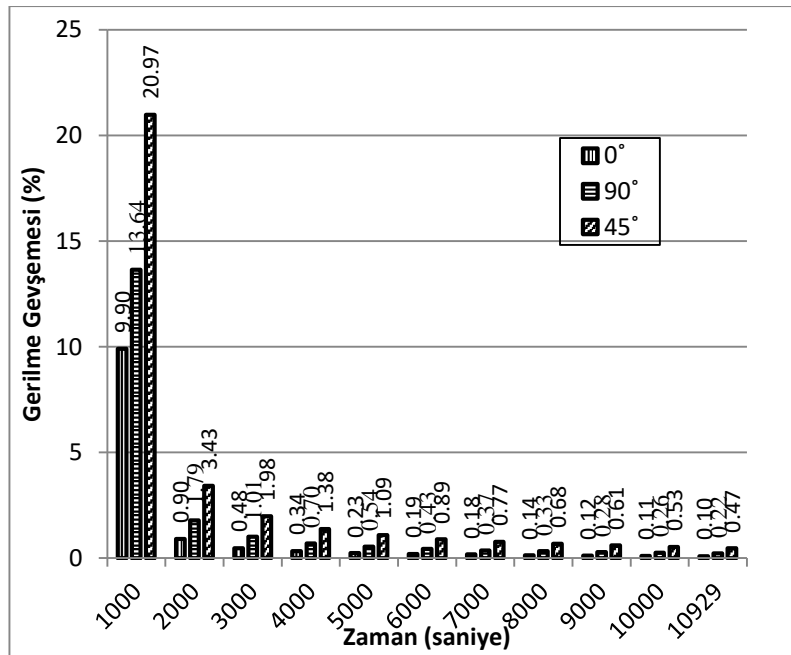
ortalama 163.59 MPa, 61.08 MPa ve 21.97 MPa olarak ölçülmüştür.



Şekil 4. % 0.5 Şekil değişiminde gevşeme davranışı

Gevşeme davranışının zamanla olan değişimini göstermek amacıyla Şekil 5'de her 1000 saniye zaman süresince gerçekleşen gerilme gevşeme yüzdeleri verilmiştir. Her üç konfigürasyon içinde ilk 1000 saniye sonunda maksimum gerilme gevşemesi gerçekleşirken zaman ilerledikçe gevşeme davranışının düştüğü gözlemlenmiştir. İlk 1000 saniyelik dilimde gerilme değerindeki düşüş yüzdesi 0°, 90° ve 45° oryantasyonlu numuneler için sırasıyla ortalama % 9.90, % 13.64 ve % 20.94 olarak ölçülmüşken, son 1000 saniyelik dilim için %

0.10, % 0.22 ve % 0.47 olarak ölçülmüştür. Ayrıca tüm zaman dilimlerinde maksimum gevşemenin 45° oryantasyonlu numunelerde gerçekleşirken minimum gevşemenin 0° konfigürasyonlu numunelerde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. % 0,5 uzama değeri anındaki gerilme ile 3 saat sonra aynı yüzde uzama değerinde ölçülen gerilme değerlerinin değişim miktarları 0°, 90° ve 45° oryantasyonlu numuneler için sırasıyla ortalama %12.68, %19.58 ve %32.79 olarak ölçülmüştür.



Şekil 5. Sabit şekil değişimi altında gerilme değerinin zamana bağlı yüzde değişimi

4. Tartışma

Vakum destekli reçine infüzyon yöntemi (VDRIY) ile üretilen cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit plakalarda elyaf doğrultusunun gerilme gevşemesi üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiş olup aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

1. Her üç oryantasyon için gerilme gevşeme oranının artan zamanla birlikte azaldığı görülmüştür.

2. Cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit plakalarda ilk 1000 saniyelik periyottan sonraki gerilme gevşeme oranındaki değişim miktarlarının küçük değerler aldığı görülmüştür.

3. Gerilme gevşeme oranındaki maksimum düşüş 45° oryantasyonlu plakalarda gözlemlenirken minimum düşüşün 0° oryantasyonlu plakalarda olduğu görülmüştür.

4. Elyaf takviyeli kompozit plakalarda gerilme gevşeme davranışının elyaf doğrultusuyla doğrudan bağlantılı olduğu görülmüştür.

5. Kaynaklar

1. Fedors, R.F., Chung, S.Y., Hong, S.D. (1985). Stress-relaxation and stress-strain behavior of poly(ethylene-co-vinylacetate) at varying crosslink density. *Journal of Applied Polymer Science*, **30**, 2551-2563.
2. MacKenzie, C.I., Scanlan, J. (1984). Stress relaxation in carbon-black-filled rubber vulcanizates at moderate strains. *Polymer*, **25**, 559-568.
3. Wisojodharma L.A., Roseno S. (2012). The Use of Vacuum Assisted Resin Infusion Process on the Manufacturing of Wind Blade Composites. *Journal of Materials Science and Engineering A*, **2**, 72-76
4. Poodts, E., Minak, G., Dolcini, E., Donati, L. (2013). FE analysis and production experience of a sandwich structure component manufactured by means of vacuum assisted resin infusion process. *Composites: Part B*, **53**, 179-186.
5. Fang, H., Mao, Y., Liu, W., Zhu, L., Zhang, B. (2016). Manufacturing and evaluation of Large-

scale Composite Bumper System for bridge pier protection against ship collision. *Composite Structures*, **158**, 187-198.

6. Scalisi, T., Pitarresi, G., Badagliacco, D., Fiore, V., Valenza, A. (2016). Mechanical properties of basalt fiber reinforced composites manufactured with different vacuum assisted impregnation techniques. *Composites Part B*, **104**, 35-43.
7. Kar, K.K., Sharma, S.D., Kumar, P., Mohanty, A. (2008). Stress relaxation behavior of glass fiber-reinforced polyester composites prepared by the newly proposed rubber pressure molding. *Polymer Composites*, **29**, 1077-1097.
8. Kawai, M., Kazama, T., Masuko, Y., Tsuda, H., Takahashi, J., Kemmochi, K. (2004). Stress relaxation behavior of unidirectional carbon/epoxy composites at elevated temperature and analysis using viscoplasticity model. *JSME International Journal Series A*, **47**, 8-16.
9. Zhang, Y., Xu, S., Zhang, Q., Zhou, Y. (2015). Experimental and theoretical research on the stress-relaxation behaviors of PTFE coated fabrics under different temperatures. *Advances in Materials Science and Engineering*, 1-12.
10. Safraoui, L., Haddout, A., Benhadou, M., Rhrich, F., Villoutreix, G. (2014). Experimental study and modeling of the relaxation behavior of the injected polypropylene composites reinforced with short glass fibers. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, **4**, 81- 87.
11. Sreekala, M.S., Kumaran, M.G., Joseph, R., Thomas, S. (2001). Stress-relaxation behaviour in composites based on short oil-palm fibres and phenol formaldehyde resin. *Composites Science and Technology*, **61**, 1175-1188.
12. Pothan, L.A., Neelakantan, N.R., Rao, B., Thomas, S. (2004). Stress relaxation behavior of banana fiber-reinforced polyester composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, **23**, 153- 165.
13. Tang, T., Felicelli, S.D. (2015). Computational evaluation of effective stress relaxation behavior of polymer composites. *International Journal of Engineering Science*, **90**, 76-85
14. Abadi, M.T. (2009). Micromechanical analysis of stress relaxation response of fiber-reinforced polymers. *Composites Science and Technology*, **69**, 1286-1292.