



# PREIMPREGNOWANE LAMINATY NA BAZIE WŁÓKIEŃ LNIANYCH DO PRZETWARZANIA W WARUNKACH NISKIEGO CIŚNIENIA

PREIMPREGNATED FLAX FIBRE LAMINATE FOR  
PROCESSING UNDER LOW PRESSURE CONDITIONS

PARTNERZY PROJEKTU | PROJECT PARTNERS



Projekt nr CORNET/24/Celpreg/3/2017 współfinansowany przez  
**Narodowe Centrum Badań i Rozwoju** w ramach programu **CORNET**

**Czas realizacji projektu:** 01.06.2018 – 31.12.2020  
**Wartość projektu:** 1 022 880 zł  
**Dofinansowanie NCBR:** 989 448 zł  
**Wkład własny:** 33 432 zł

**Beneficjent Projektu:**  
Izba Bawełny w Gdyni  
Gdynia Cotton Association  
**Wykonawca Badań:**  
Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich  
Institute of Natural Fibres and Medicinal Plants

## CEL PROJEKTU

Opracowanie preimpregnowanych laminatów wzmocnionych wyrobami z włókien lnianych na potrzeby lekkich konstrukcji strukturalnych. W projekcie opracowano struktury liniowych i płaskich wyrobów z włókien lnianych o parametrach zapewniających poprawny przebieg procesu formowania prepregów oraz wysoką jakość kompozytów.

Celem badań nad materiałem przeznaczonym do wzmocnienia kompozytów było uzyskanie tkanin o strukturze zapewniającej minimalizację porowatości produktu końcowego.

W celu zwiększenia adhezji włókna do naturalnej żywicy epoksydowej oraz obniżenia palności, wyroby lniane poddano procesom chemicznej modyfikacji. Laminaty wzmocniane wyrobami lnianymi wytworzono na drodze efektywnego ekonomicznie procesu, polegającego na wstępnej impregnacji oraz formowaniu prepregów w warunkach niskiego ciśnienia z wykorzystaniem naturalnej żywicy epoksydowej.

## ETAPY PRAC I BADAŃ

### Dobór włókna lnianego o właściwościach odpowiadających wymaganiom stawianym wzmocnieniom laminatów

Do projektu wybrano włókna pochodzące z różnych odmian lnu: Artemida, Luna, Sara, Modran oraz włókno pochodzenia belgijskiego. Włókno lniane przebadano pod kątem przydatności do wzmocnienia struktur z żywicy epoksydowej. Na podstawie wyników analiz metrologicznych i badań fizyko-chemicznych, do wytworzenia niedoprzędu w celu wykorzystania go jako wzmocnienie laminatów, **wytypowano włókno pochodzenia belgijskiego** (Rysunki 1-3).

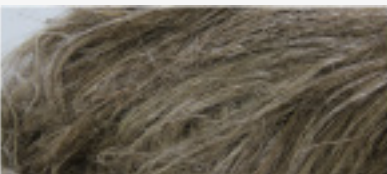
## KARTA WŁÓKNA LNIANEGO WYTYPOWANEGO DO PRAC W PROJEKCIE

### WŁÓKNO LNIANE POCHODZENIA BELGIJSKIEGO

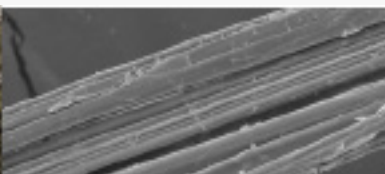
Włókno długie o jednolitym kolorze naturalnym, prawidłowo wyroszone, bez zapachu lotnych kwasów tłuszczowych. Włókno o charakterystycznym delikatnym miękkim chwycie, typowym dla włókna słańcowego. Surowiec jednorodny pod kątem masy liniowej (o niskim współczynniku zmienności masy liniowej), dobrze podzielony, z widoczną znikomą ilością zanieczyszczeń, przy jednoczesnym braku uszkodzeń włókna. Włókno charakteryzujące się najwyższą wartością długości średniej, największą wytrzymałością właściwą, najmniejszą energią powierzchniową, najwyższą stabilnością termiczną oraz najwyższą zdolnością chłonności wilgoci z powietrza, spośród wszystkich przebadanych odmian lnu.

### WŁÓKNO BELGIJSKIE

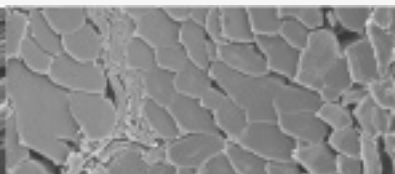
*Źródło: dokumentacja projektowa*



Rysunek 1. Włókno lniane.



Rysunek 2. Widok wzdłużny włókna lnianego.



Rysunek 3. Przekrój poprzeczny włókna lnianego.

## Opracowanie struktury tkaniny gwarantującej niską porowatość kompozytu.

Z wytypowanego włókna wytworzono przędzę niskoskrętną o masie liniowej 68 tex oraz niedoprzędę o masach liniowych: 400tex, 2000tex i 2000 tex bielony (Rysunek 4).



Rysunek 4. Przędza niskoskrętna o masie liniowej 68 tex (a) oraz niedoprzędę o masach liniowych: 400 tex (b) i 2000tex (c) naturalny i bielony.

Analizy fizyko-mechaniczne i chemiczne niedoprzędów oraz wyniki testów wykorzystania niedoprzędu do formowania kompozytów, pozwoliły wytypować niedoprzędę: naturalny i bielony o masie liniowej 2000 tex – do dalszych prac w celu wytworzenia tkanin (Rysunek 5).

**Wytypowane do dalszych prac niedoprzędę charakteryzowały się najniższą liczbą skrętów, dzięki czemu osiągnięto równoległe względem siebie ułożenie włókien w wytworzonych z nich tkaninach przeznaczonych do wzmocnienia kompozytu.**



Rysunek 5. Tkaniny lniane o splocie płóciennym wytworzone z przędzy niskoskrętniej 68 tex (osnowa) oraz niedoprzędów naturalnego (a) i bielonego (b) o masie liniowej 2000 tex (wętek), oraz obrazy mikroskopowe tkanin wykonane przy pomocy elektronowego mikroskopu skaningowego SEM ze zmienną próżnią.

Opracowane tkaniny poddano ocenie parametrów strukturalnych, powierzchniowych oraz sorpcyjnych. Tkaniny charakteryzowały się wysokim zapełnieniem.



## Modyfikacja wybranych niedoprzędów i tkanin: parametry, skład, właściwości

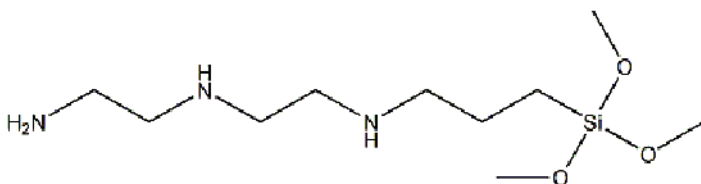
Opracowano proces chemicznej modyfikacji wyrobów z włókien lnianych przy użyciu metody silanizacji, a w szczególności:

- skład mieszaniny modyfikującej
- parametry procesu modyfikacji

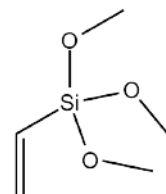
### Celem procesu modyfikacji było:

- zmniejszenie palności niedoprzędów i tkanin z włókien lnianych,
- poprawa właściwości produktów uzyskanych w kolejnych etapach projektu (tkanina, kompozyt)
- polepszenie adhezji z nowo opracowanymi w projekcie naturalnymi żywicami epoksydowymi z nasion lnianych.

**Wyselekcjonowano dwa silany** o różnych strukturach: aminowy oraz winylowy (Rysunek 6). Charakteryzują się one zarówno najlepszą kompatybilnością z żywicą epoksydową, jak również największą redukcją palności modyfikowanych włókien lnianych.



3-(DIETYLOTRIAMINO) PROPYLO TRIMETOKSYLAN



WINYLO TRIMETOKSYLAN

Rysunek 6. Silany wyselekcjonowane do projektu.

**Proces modyfikacji** prowadzony był zgodnie z określonym zakresem parametrów, takich jak stężenie silanu, temperatura, ciśnienie, czas.

**Prowadzono modyfikację zarówno niedoprzędów jak i gotowych tkanin. Najkorzystniejsze wyniki uzyskano właśnie w przypadku modyfikacji gotowych tkanin i to na nich prowadzono kolejne badania. Modyfikacja w tym przypadku była bardziej jednorodna i tym samym efektywna.**



## IV Żywica epoksydowa na bazie oleju z siemienia lnianego – istotne parametry i modyfikacja

Syntetyczne epoksydy oparte na produktach petrochemicznych są dobrze poznane. Posiadają one wiele użytecznych właściwości, takich jak wysoka wytrzymałość na rozciąganie i wysoki moduł sprężystości, dobra przyczepność i właściwości izolacyjne oraz doskonała odporność na korozję chemiczną.

Naturalne żywice epoksydowe na bazie estrów kwasów tłuszczowych są natomiast dostępne w małej skali. Oba typy żywic mogą wykazywać właściwości mutagenne, jednak epoksydy pierwotne (otrzymane z produktów petrochemicznych) zawsze wykazują właściwości mutagenne, natomiast epoksydy pochodzenia naturalnego, np. estry kwasu tłuszczowego z *Vernonia galamensis* właściwości takich nie wykazują.

Należy zauważyć, że wydajność surowców z nasion oleistych, takich jak *Lallemantia Iberica* i *Linum isitatissimum*, wynosi około 750 kg oleju / ha.

**Do badań w projekcie wybrano żywicę epoksydową na bazie oleju z siemienia lnianego. Zbadano różne modyfikacje systemu żywicznego. Metodą Dynamicznej Kalorymetrii Skaningowej ustalono wzrost temperatury zeszczenia o ponad 12%. W odniesieniu do normy DIN ISO 306 określono również 13% wzrost temperatury mięknięcia Vicata.**



Rysunek 9. Żywica epoksydowa na bazie siemienia lnianego. W jej skład wchodzi: zmodyfikowany epoksyd, utwardzacz, środek uniepalniający.



## V Kompozyty wzmocnione tkaniną lnianą

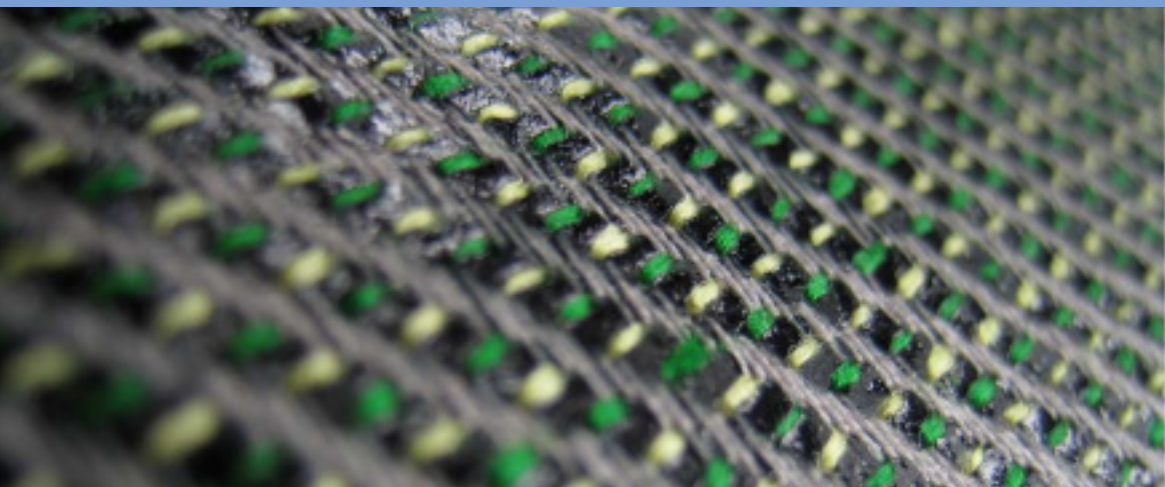
Na podstawie określonej energii powierzchniowej zmodyfikowanych włókien i żywicy epoksydowej zbadano przydatność środków zmniejszających palność. Skupiając się z jednej strony na odpowiedniej impregnacji włókien, a z drugiej na zmniejszonej palności powstałych laminatów, ustalono optymalne połączenie uniepalniacza i modyfikacji żywicy.

Porowatość laminatów przetwarzanych w warunkach niskiego ciśnienia została zredukowana, a wyniki palności metodą UL94 HB wskazują, że jest to laminat samogasnący. Powstałe w ten sposób laminaty z włókien naturalnych wykazują moduł sprężystości do 10 000 MPa.

**Tak zwany „prepreg” w postaci warstwy tkaniny z włókien naturalnych pokrytej zmodyfikowanym systemem epoksydowym został przebadany pod kątem trwałości podczas przechowywania. Potwierdzono okres trwałości 6 miesięcy w temperaturze -20 °C wytworzonych laminatów testowych w warunkach niskiego ciśnienia i temperaturze utwardzania około 120 °C.**



Rysunek 10. Konstrukcja typu sandwich z elementami zewnętrznymi wykonanymi z kompozytu na bazie bielonych włókien lnianych oraz żywicy epoksydowej na bazie oleju z siemienia lnianego.



Rysunek 11. Włókna naturalne jako widoczna struktura laminatu. Ma to zastosowanie szczególnie w przypadku włókien barwionych.

Ostatecznie opracowany kompozyt o dużej zawartości związków pochodzących ze źródeł odnawialnych wykazuje wysoką ognioodporność.

Dostosowując rodzaj oraz ilość środków zmniejszających palność jak i modyfikację żywicy na potrzeby przetwórstwa, uzyskano dobrą kompatybilność między włóknem naturalnym a matrycą. W wyniku zoptymalizowanej impregnacji włókien w laminatach prasowanych i utwardzanych metodą niskociśnieniową zmniejszyła się ich porowatość.

**Badany okres przechowywania pre-impregnowanych włókien naturalnych był porównywalny z konwencjonalnymi systemami typu prepreg, co daje możliwość przemysłowego zastosowania opracowanego kompozytu.**



# KONSORCJUM MIĘDZYNARODOWE | INTERNATIONAL CONSORTIUM PARTNERZY | PARTNERS



## Izba Bawełny w Gdyni Gdynia Cotton Association

(Koordynator / Coordinator)  
ul. Derdowskiego 7, 81-369 Gdynia, Poland  
[www.bawelna.org.pl](http://www.bawelna.org.pl), [www.cotton.org.pl](http://www.cotton.org.pl)



## Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich

Institute of the Natural Fibres and  
Medicinal Plants  
Wojska Polskiego 71b, 60-630 Poznań  
[www.iwnirz.pl](http://www.iwnirz.pl)



## Fraunhofer Institute for Microstructure of Materials and Systems

Walter-Hülse-Strasse 1, 06120 Halle (Saale)  
Sachsen-Anhalt, Germany  
[www.imws.fraunhofer.de](http://www.imws.fraunhofer.de)



## Forschungsvereinigung Werkstoffeaussachwachsenden Rohstoffe.V.

Breitscheidstrasse 97, 07407 Rudolstadt,  
[wnr@titk.de](mailto:wnr@titk.de) [www.wnr-forschung.de](http://www.wnr-forschung.de)

## KOMITET UŻYTKOWNIKÓW USERS COMMITTEE

### POLSKA POLAND

- EKOTEX MAREK RADWAŃSKI
- ALMA SERVICE EKO PRZEDSIĘBIORSTWO BADAWCZO PRODUKCYJNE
- „POLSKI LEN” SP. Z O.O.
- ŚWIĘCICKA KRYSZYNA
- GOFLAX BENOIT GAUJARD

### NIEMCY GERMANY

- FVK GMBH;
- O. LANGE + CO.;
- IFC COMPOSITE GMBH
- THERMO NATUR GMBH & AMP; CO. KG
- C3 TECHNOLOGIES GMBH

### SZWECJA SWEDEN

- DELLENCAT EKONOMISK FÖRENING

## BIURO PROJEKTU



### Izba Bawełny w Gdyni – Gdynia Cotton Association

ul. Derdowskiego 7, 81-369 Gdynia, Poland  
tel. +48 58 6207598, e-mail: [ib@gca.org.pl](mailto:ib@gca.org.pl)  
[www.bawelna.org.pl](http://www.bawelna.org.pl) [www.cotton.org.pl](http://www.cotton.org.pl)