

## Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-17-0078**  
**Polymérne systémy z obnoviteľných zdrojov pre vlákna a textílie**

Zodpovedný riešiteľ **doc. Ing. Anna Ujhelyiová, PhD.**  
Príjemca **Slovenská technická univerzita v Bratislave - Fakulta chemickej a potravinárskej technológie**

### Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Ústav prírodných a syntetických polymérov, Fakulta chemickej a potravinárskej technológie,  
Slovenská technická univerzita v Bratislave  
Výskumný ústav chemických vlákien, a.s. Svit  
Envirocare, s.r.o., Nitra

### Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Fakulta chemická, Vysoké učení technické, Brno, Česká republika

### Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

Prihláška úžitkového vzoru z výsledkov riešenia projektu je pripravovaná. Bude podaná v priebehu 2. polroka 2021.

### Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

1. Plavec, R., Hlaváčiková, S., Omaníková, L., Feranc, J., Vanovčanová, Z., Tomanová, K., Bočkaj, J., Kruželák, J., Medlenová, E., Bírová, I., Danišová, L., Příklad, R., Figalla, S., Melčová, V., Alexy, P., Recycling possibilities of bioplastics based on PLA/PHB blends. Polymer Testing, 92. s. 1--12.
2. Ujhelyiová, A., Jančovičová, V., Panák, O., Hrabovská, V., Tomčíková, Z.: Comparison of Colour Properties of Polypropylene and Poly(lactic) Acid Fibres Dyed by Photo-luminescent dye, dyes and Pigments, zaslané do tlače
3. Tomčíková, Z., Ujhelyiová, A., Holcová, K., Hricová, M., (2020), Influence of Plasticizer and Bioplasticizer on the Structure and Mechanical Properties of the PLA Fibres, Fibres and Textiles, 27(3), pp. 127-131, ISSN 1335-0617 (print); ISSN 2585-8890 (online verzia)
4. Ujhelyiová, A., Baníková, K., Ryba, J., Plavec, R., Hrabovská, V., Hricová, M., (2020), Fibres from Biodegradable, Polymers and Additives for Textile Applications, Fibres and Textiles, 27(3), p. 132-137, ISSN 1335-0617 (print); ISSN 2585-8890 (online verzia)
5. Hricová, M., Obertová, E., Ujhelyiová, A., (2020), The Effect of Drawing Temperature on the Mechanical Properties of PLA Fibres, Fibres and Textiles, 27(4), p. 42-47, ISSN 1335-0617 (print); ISSN 2585-8890 (online verzia)
6. Tomčíková, Z., Ujhelyiová, A., Holcová, K., Michlík, P., Hricová, M., (2020), Halloysite Nanotubes Modified by Repellent in Polypropylene Fibres: Influence on Supermolecular Structure and Mechanical Properties, Fibres and Textiles, 27(5), pp. 31-36, ISSN 1335-0617

(print); ISSN 2585-8890 (online verzion)

7. Tomčíková Z., Ujhelyiová A., Holcová K., Hricová M. and R. Plavec: Applicative and rheological properties of PLA masterbatches with content of plasticizer and bioplasticizer, *Vlákna a textil (Fibres and textiles)* 2021, 28(2), pp. 99-104, ISSN 1335-0617
8. Ujhelyiová, A., Baníková, K., Hrabovská, V., Ryba, J., (2020), Properties of blends and blended fibres prepared from various types of polylactid acid, In: *Proceeding of PMA PMA & SRC 2020*, 16-18.9.2020, Bratislava, Slovakia, pp. 191-194, ISBN 978-80-89841-13-4
9. Hrabovska V., Híreš O., Hricova M., Ryba J., Ujhelyiova A.: Kyselina polymliečna a jej potenciál pri príprave biodegradovateľných vlákien (Polylactic acid and its potential by the preparation of biodegradable fibers), In: *Wood, Pulp & Paper Polygrafia Academica WPP PA 2020*, 11-12. 3 2020, Bratislava, Slovensko, pp. 247-252, ISBN 978-80-8208-036-3
10. Hricova M., Ujhelyiova A.: Fibres from PLA, In: *Proceedings of PMA & SRC 2020*, 16-18.9.2020, Bratislava, Slovakia, pp. 147-150, ISBN 978-80-89841-13-4
11. Ryba, J., Ujhelyiová, A., Hrabovská, V., Kurtulík, M., (2020), Influence of Stabilization Conditions on the Properties of Polylactid Acid Fibres, In: *Proceeding of PMA PMA & SRC 2020*, 16-18.9.2020, Bratislava, Slovakia, pp. 187-190, ISBN 978-80-89841-13-4
12. Omaníková, L., Plavec, R., Bočkaj, J., Feranc, J., Tomanová, K., Vanovčanová, Z., Gálišová, I., Medlenová, E., Danišová, L., Horváth, V., Baco, A.: Influence of plasma treatment on properties of film from PLAPHB polymer blends, In *PMA 2020 and SRC 2020, Book of Proceedings*. Bratislava: FCHPT STU, 2020, ISBN 978-80-89841-13-4
13. Plavec, R., Hlaváčiková, S., Alexy, P., Omaníková, L., Fernac, J., Tomanová, K., Vanovčanová, Z., Gálišová, I., Medlenová, E., Danišová, L., Horváth, V., Baco, A., Bočkaj, J.: The effect of multiple processing on degradation of biodegradable polymer blend based on PLA and PHB, In *PMA 2020 and SRC 2020, Book of Proceedings*. Bratislava: FCHPT STU, 2020, ISBN 978-80-89841-13-4
14. Hlaváčiková, S., Tomašíková, E., Plavec, R., Danišová, L., Medlenová, E., Feranc, J., Bočkaj, J., Omaníková, L., Tomanová, K., Gálišová, I., Moncmanová, B., Příklad, R., Figalla, S., Melčová, V.: Recycling of biodegradable biobased blends PLAPHB, In *PMA 2020 and SRC 2020, Book of Proceedings*. Bratislava: FCHPT STU, 2020, ISBN 978-80-89841-13-4
15. Gálišová, I., Vašková, I., Fernac, J., Čulenová, M., Omaníková, L., Medlenová, E., Plavec, R., Bočkaj, J., Vanovčanová, Z., Hlaváčiková, S., Tomanová, K., Moncmanová, B., Danišová, L., Alexy, P.: Additive manufacturing in medical applications, In *PMA 2020 and SRC 2020, Book of Proceedings*. Bratislava: FCHPT STU, 2020, ISBN 978-80-89841-13-4
16. Medlenová, E., Tomanová, K., Baco, A., Fernac, J., Danišová, L., Hlaváčiková, L., Bočkaj, J., Plavec, R., Omaníková, L., Gálišová, I., Repiská, M., Moncmanová, B., Kardoš, P.: Biodegradable biobased blends PLAPHB/TPS for injection molding, In *PMA 2020 and SRC 2020, Book of Proceedings*. Bratislava: FCHPT STU, 2020, ISBN 978-80-89841-13-4
17. Ryba, J., Polák, Š., Hrabovská, V., Kleščík, M.: Influence of cooling air on mechanical properties of polypropylene fibres. (2018) In: *Book of Proceedings of the 9th international textile, clothing & design Book of Proceedings of the 9th International Textile, Clothing & Design Conference – Magic World of Textiles*, 7.-10.10. 2018, Dubrovnik, Croatia, str. 57-62, ISSN 1847-7275
18. Hrabovská, V., Ujhelyiová, A., Ryba, J., Jančovičová, V., Hricová, M.: Properties of biodegradable fibres from polylactic acid. (2018) In: *Book of Proceedings of the 9th international textile, clothing & design Book of Proceedings of the 9th International Textile, Clothing & Design Conference – Magic World of Textiles*, 7.-10.10. 2018, Dubrovnik, Croatia, str. 33-38, ISSN 1847-7275
19. Tomčíková Z., Ujhelyiová A., Holcová K., Michlík P., Hricová M.: Halloysite nanotubes modified by repellent in polypropylene fibres: influence on supermolecular structure and mechanical properties, *Conference Proceedings: Nanofibers, Application and Related Technologies – NART 2019*, 18.-20.9.2019, Technical University of Liberec, Liberec, Czech Republic, pp. 10-11, ISBN 978-80-7494-512-0.
20. Tomčíková Z., Ujhelyiová A., Holcová K., Krivoš Š., Hricová M.: Influence of Special Plasticizer on Structure and Mechanical Properties of PLA Fibres, *Conference proceedings: Advances in Plastics Technology – APT 19*, 29.-31.10.2019, Chorzów, Poland, pp. 1106-1114
21. Ujhelyiová A., Gregorová J., Jančovičová V., Hrabovská V.: Dyeing of PLA Fibres, *Zpravodaj STCHK č. 4/2019 Spolku textilních chemiků a koloristů*, 108, Pardubice, november 2019, *TEXCHEM - 51. Celoštátní koloristické konference so zahraničnou*

účastou, 17.-18-10-2019, Pardubice, Česká republika, pp. 59-60

22. Hricová M., Ujhelyiová A., Kurtulík M., Hrabovská V.: Koloristické vlastnosti PLA vlákien s obsahom fluorescenčného pigmentu (Coloristic Properties of PLA Fibres with content of Fluorescent Pigment), Zpravodaj STCHK č. 4/2019 Spolku textilních chemiků a koloristů, 108, Pardubice, november 2019, TEXCHEM - 51. Celoštátna koloristická konferencia so zahraničnou účasťou, 17.-18-10-2019, Pardubice, Česká republika, pp. 55-58

23. Khunová V., Olejníková P., Špitálský Z., Kováčová M., Berkeš D., Ghosal K.: Antibacterial biocompatible electrospun nanofibers based on PCL and erythromycin functionalized halloysite nanotubes, Book of Abstracts: Brightlands Rolduc Polymer Conference „Innovative Polymer Materials for Future Health“, September 9-11, 2019, Rolduc Abbey, Netherlands, p. 59 (ID 175)

Diplomové a bakalárske práce súvisiace s riešením projektu

1. Bc. Kristína Baníková, Štruktúra a vlastnosti vlákien na báze PLA, diplomová práca, 11.02.2019-12.05.2019, vedúci: doc. Ing. Anna Ujhelyiová, PhD., konzultant: Ing. Veronika Hrabovská

2. Jana Gregorová, Vlákna z kyseliny polymliečnej farbené špeciálnymi farbivami, bakalárska práca, 11.02.2019-05.05.2019, vedúci: doc. Ing. Anna Ujhelyiová, PhD., konzultant: Ing. Veronika Hrabovská

3. Michaela Roháčová, Biodegradovateľné vlákna – ich príprava a vlastností, bakalárska práca, 11.02.2019-05.05.2019, vedúci: Ing. Marcela Hricová, PhD., konzultant: Ing. Veronika Hrabovská

4. Jakub Pavolka, Biodegradovateľné vlákna – ich príprava a vlastností, bakalárska práca, 11.02.2019-05.05.2019, vedúci: Ing. Marcela Hricová, PhD., konzultant: Ing. Veronika Hrabovská

5. Bc. Vojtech Horváth, Štruktúra a vlastnosti vlákien z biodegradovateľných polymérov, diplomová práca, 17.02.2020-07.06.2020, vedúci: doc. Ing. Anna Ujhelyiová, PhD.

6. Daniela Roľková, Príprava avlastností PLA vlákien pre textilné účely, bakalárska práca, 17.02.2020-31.05.2020, vedúci: doc. Ing. Anna Ujhelyiová, PhD.

7. Erika Obertová, Vplyv podmienok prípravy na vlastnosti biodegradovateľných vlákien, bakalárska práca, 17.02.2020-31.05.2020, vedúci: Ing. Marcela Hricová, PhD.

8. Bc. Mária Fogašová, Vplyv viacnásobného spracovania na vlastnosti zmesí biodegradovateľných zmesí obsahujúcich rôzny typ PLA, diplomová práca, 15.02.2021-16.05.2021, vedúci: Ing. Roderik Plavec, PhD., konzultant: Ing. Slávka Hlaváčiková

9. Bc. Lucia Pružincová, Vplyv viacnásobného spracovania na vlastnosti modelových zmesí PLA/PHB obsahujúcich amorfný typ PLA, diplomová práca, 15.02.2021-16.05.2021, vedúci: Ing. Roderik Plavec, PhD., konzultant: Ing. Slávka Hlaváčiková

PhD študenti, ktorých témy doktorandských prác súvisia s riešeným projektom

1. Ing. Ivana Gálisová, Environmentálne prijateľné polymérne zmesi na báze polyesterov z obnoviteľných zdrojov, 1.9.2016-31.8.2020, školiteľ: prof. Ing. Pavel Alexy, PhD., PhD. študent je členom riešiteľského kolektívu

Obhájené doktorandské práce súvisiace s riešeným projektom

1. Ing. Veronika Hrabovská, Štúdium štruktúry a vlastností vlákien z biodegradovateľných polymérov, 31.08.2015-19.08.2019, školiteľ: doc. Ing. Anna Ujhelyiová, PhD., PhD. študent bol členom riešiteľského kolektívu

### **Uplatnenie výsledkov projektu**

V rámci riešenia projektu boli pripravené PLA, PLA/PHB vlákna bez a so špeciálnymi aditívami ako aj BICO PP/PLA vlákna bez a s kompatibilizátormi. Vlákna boli zvlákňované klasickým postupom z taveniny priamo z použitých primárnych surovín alebo cez pripravené koncentráty prípadne zmesi s určeným zložením pre prípravu vlákien. Štruktúra, termické a fyzikálno-mechanické vlastnosti pripravených vlákien poukazujú na fakt, že môžu vlákna z PLA, PLA/PHB prípadne bikomponentné PP/PLA vlákna môžu byť potenciálne zavedené do výroby a následne použité na prípravu plošných textilných produktov, najmä netkaných textílií. Zároveň boli pripravené vlákna hodnotené z hľadiska ich možného vyfarbenia, následnej stability vyfarbenia urýchleným starnutím a stability vyfarbenia v praní. Vyfarbitelnosť z kúpeľa a stabilita vyfarbenia sledovaných PLA i PLA/PHB vlákien bez zmäkčovadla je na požadovanej úrovni a je o niečo nižšia v porovnaní s úrovňou vyfarbenia a stabilitou vyfarbenia vlákien farbených v hmote. Získané koloristické vlastnosti vyfarbených vlákien a ich stabilita dávajú predpoklad zaradenia týchto vlákien aj do

odevného priemyslu. Zároveň poznatky získané z prípravy PLA a PLA/PHB vlákien špeciálne aditivovaných v laboratórnych podmienkach môžu byť základom pre optimalizáciu výroby takýchto nekonečných multifilamentných i krátkych PLA vlákien v prevádzkových podmienkach. Získané výsledky z jednotlivých čiastkových riešení projektu je možné využiť aj samostatne na potenciálne zavedenie do výroby.

### **Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)**

Projekt bol zameraný na štúdium nových systémov na báze polymérov z obnoviteľných zdrojov (kyselina polymliečna-PLA, polyhydroxybutyrát-PHB), určených pre prípravu orientovaných vláknitých materiálov (vlákna, textílie) z pohľadu ich materiálového zloženia a podmienok prípravy. Zároveň bol zameraný na prípravu bikomponentných zmesných vlákien s polypropylénom typu C/S. Z pohľadu uplatnenia pripravených vlákien v textilnom odevnom priemysle bolo jednou z úloh aj štúdium možnosti vyfarbenia vlákien z PLA, PLA/PHB a bikomponentných vlákien z PP/PLA farbených v hmote a povrchovo, ako aj hodnotenie stálosti vyfarbenia pri urýchlennom starnutí a v praní. Významným výsledkom riešenia projektu je určenie materiálového zloženia PLA/PHB zmesi s prídavkom nukleačného činidla, ktoré umožnilo prípravu vlákien z PLA/PHB zmesi s akceptovateľnými štruktúrnymi parametrami a fyzikálno-mechanickými vlastnosťami. Zároveň boli stanovené technologické podmienky (teplota zvlákňovania, tlak odťahového vzduchu a teplota dĺženia) pre diskontinuálny a kontinuálny spôsob prípravy PLA/PHB vlákien ako potenciálnych surovín pre prípravu plošných textílií. Ďalším výsledkom riešenia projektu bola zvládnutá príprava bikomponentných PP/PLA vlákien s určením obsahu jednotlivých zložiek v jadre a plášti, vyšpecifikovanie typu a obsahu kompatibilizátorov pre prípravu týchto vlákien s požadovanými fyzikálno-mechanickými vlastnosťami ako aj stanovenie technologických parametrov pri ich výrobe. Na prípravu PLA/PHB príp. bikomponentných PP/PLA vlákien boli použité pripravené koncentráty. Určenie ich zloženia a stanovenie podmienok ich prípravy, spracovateľských a reologických vlastností bolo jednou z čiastkových výsledkov riešenia projektu nevyhnutných pre dobré zvládnutie technologického procesu prípravy študovaných vlákien z biodegradovateľných PLA a PHB systémov. Významným výsledkom riešenia projektu bolo získanie poznatkov o možnosti vyfarbenia pripravených PLA vlákien s rôznou koncentráciou zmäkčovadiel, PLA/PHB vlákien a bikomponentných PP/PLA vlákien, čo by následne mohlo zvýšiť pridanú hodnotu vlákien z biodegradovateľných surovín pre ich využitie v textilnom a odevnom priemysle. Zistilo sa, že pri farbení PLA vlákien bez a so zmäkčovadlom sa stabilita vyfarbenia zhoršuje so zvýšením obsahu zmäkčovadla. Po vyhodnotení vyfarbenia vlákien z PLA/PHB bez a s nukleačným činidlom vyfarbených v hmote alebo vyfarbených povrchovo sa zistilo, že kým u vlákien vyfarbených v hmote bez nukleačného činidla, prídavok PHB znižuje stálosti v praní po 5 i 20 praniach, tak u povrchovo vyfarbených vlákien prídavok PHB zvyšuje stabilitu vyfarbenia po 5 praniach ale po 20 praniach je stabilita vyfarbenia nižšia ako u PLA/PHB vlákien vyfarbených v hmote. Pri vyhodnotení farbenia bikomponentných PP/PLA vlákien sa zistilo, že vyššia účinnosť farbenia bola dosiahnutá pri bikomponentných PP/PLA vláknach s vyšším obsahom PLA zložky.

### **Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)**

The project was focused on the study of new systems based on polymers from renewable resources (polylactic acid-PLA, polyhydroxybutyrate-PHB), aimed to the preparation of oriented fibrous materials (fibres, textiles) in terms of their material composition and preparation conditions. At the same time, it was focused on the preparation of bicomponent blended fibres with polypropylene of type C/S (core/shell). From the point of view of the application of prepared fibers in the textile clothing industry, one of the tasks was to study the possibility of dyeing fibers from PLA, PLA/PHB and bicomponent fibres from PP/PLA dyed in the mass and from bath and to evaluate the stability of dyeing in accelerated aging and washing. An important result of the solution of the project was the determination of the material composition of the PLA/PHB blend with the addition of a nucleating agent, which enabled the preparation of fibres from the PLA/PHB blend with acceptable structural parameters and physico-mechanical properties. At the same time, technological conditions (spinning temperature, exhaust air pressure and elongation temperature) were determined

for discontinuous and continuous process of PLA/PHB fibres as potential raw materials for the preparation of textile fabrics. Another result of the project was the preparation of bicomponent C/S PP/PLA fibres with the determination of the content of individual components in the core and sheath, specification of the type and content of compatibilizers for the preparation of these fibres with the required physical and mechanical properties and determination of technological parameters in their production. The prepared masterbatches from PLA, PP as well as from special additives were used for the preparation of PLA/PHB or bicomponent PP/PLA fibres. The determination of the composition, preparation conditions and processing and rheological properties of prepared masterbatches was one of the partial results of the project solution necessary for good handling of the technological process of spinning of the studied fibres from biodegradable PLA and PHB systems. Another important result of the project was the acquisition of knowledge about the possibility of dyeing prepared fibres from PLA with different concentrations of plasticizers, PLA/PHB fibres and bicomponent PP/PLA fibres, which could subsequently increase the added value of prepared fibres from biodegradable raw materials for use in the textile clothing industry. It has been found that when dyeing PLA fibres without and with a plasticizer, the dyeing stability decreases with increasing plasticizer content. After evaluating of the dyeing of PLA/PHB fibres without and with nucleating agent dyed in the mass or dyed from bath, it was found that while for fibres dyed in the mass without nucleating agent the addition of PHB reduces the washing stability after 5 and 20 washes, for dyeing from bath the addition of PHB increases the dyeing stability after 5 washes but after 20 washes the dyeing stability is lower than for PLA/PHB fibres dyed in the mass. When evaluating the dyeing of bicomponent PP/PLA fibres, it was found that a higher dyeing efficiency was achieved at the dyeing of bicomponent PP/PLA fibres with a higher content of PLA component.