

## INFLUENCE OF BLENDING CONDITIONS ON MORPHOLOGY AND RESISTANCE AT IMPACT OF TERNARY BIOPOLYMERS BLENDS OF PLA/PBAT/PA

### INFLUENȚA REGIMULUI DE AMESTECARE ASUPRA MORFOLOGIEI ȘI REZISTENȚEI LA IMPACT A BIOPOLIMERILOR TERNARI AMESTECURI DE PLA/PBAT/PA

Ph.D. Stud. Eng. Fodorean G.<sup>1)</sup>, Ph.D. Eng. Cioica N.<sup>2)</sup>, Ph.D. Stud. Eng. Nagy M.<sup>2)</sup>,  
 Assoc. Prof. PhD. Eng. Atanasov At.<sup>3)</sup>, PhD. Eng. Covaliu C.<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>Technical University of Cluj Napoca / Romania; <sup>2)</sup>INMA Bucharest / Romania; <sup>3)</sup>University of Rousse / Bulgaria;

<sup>4)</sup>P.U. Bucharest / Romania

E-mail: Gabriel.Fodorean@auto.utcluj.ro

**Abstract:** Bioplastics (defined either as bio-based or biodegradable), automotive industry and agriculture are closely connected. On one side, renewable resources from agriculture are basic feedstock for bioplastics manufacturing. On the other side, products made from bioplastic materials have many applications in agriculture, in packaging for food industry, in construction and in automotive industry. If bioplastics are biodegradable, the life cycle can be closed by degrading them in industrial or home composters. The purpose of the work was to explore the relationship between the composition of a ternary bioplastic blends and its mechanical properties. Three polymers were used, PLA, PBAT and PA. PLA (polylactide) is a bio-based polymer produced by Nature Works, designed for injection moulding applications. PBAT (ecoflex F BX 7011) is an oil-based, biodegradable polymer designed for film extrusion and extrusion coating, produced by BASF. PA (platamid HX 2656) is a bio-based polymer produced by ARKEMA, designed to be used in textile industry, for adhesives and coatings. Relationship between blend composition, morphology and impact strength will be given.

**Keywords:** bio polymers, ternary blend, blending conditions, morphology, resistance at impact

#### INTRODUCTION

Biopolymers represent an area where biodegradability would be a tremendous asset to a variety of casings elements, insulation and packaging products. Starch, it's a key component of these renewable raw materials and is becoming an increasingly important input to activities outside the food industry due to the variety of ways in which it can be modified to find applications in industry.

Biopolymer blending is a convenient and attractive route for obtaining new biopolymer materials with great properties, adapted to different applications. Making a parallel between the developments of a new biopolymer, making blends of currently available biopolymers offers significant savings in time and cost, and the blend properties may be tuned by changing the composition [4, 7]. Therefore, achieving compatibilization of immiscible polymer blends it was a long-standing academic and technological challenge.

In the last period, despite of the very large number of studies on the compatibilization of binary biopolymer blends, some studies have considered ternary or multi-component biopolymer blends [8,10].

#### MATERIAL AND METHOD

The material used in this experiment was PLA polymer 3051D (polylactide) produced by Nature Works [2], PBAT (ecoflex F BX 7011) produced by BASF [1] and PA (platamid) produced by ARKEMA. The characteristics of PLA 3051D, supplied by Nature Works are shown in table 1.

PLA (polylactide) polymer 3051D is designed for injection moulding applications where the requirements are clarity

**Rezumat:** Bioplasticele (definite fie ca si bio-ecologice sau biodegradabile), industria auto și agricultura sunt strâns legate. Pe de o parte, resursele regenerabile din agricultură sunt materia primă de bază pentru fabricarea maselor plastice biodegradabile. Pe de altă parte, produsele fabricate din materiale bioplastice au multe aplicații în agricultură, în domeniul ambalajelor pentru industria alimentară, în construcții și în industria auto. Dacă bioplasticele sunt biodegradabile, ciclul de viață poate fi închis prin degradarea lor în compost industrial sau casnic. Scopul lucrării a fost de a explora relația dintre compoziția unor amestecuri de bioplastic ternar și proprietățile lor mecanice. Au fost folosiți trei polimeri, PLA, PBAT și PA. PLA (polilactidă) este un polimer pe bază bio produs de „Nature Works”, destinat aplicațiilor de turnare prin injecție. PBAT (ecoFLEX F BX 7011) este un polimer biodegradabil pe bază de ulei conceput pentru extrudarea foliilor și acoperiri prin extrudare, produs de BASF. PA (platamid HX 2656) este un polimer de origine biogenă, produs de ARKEMA, conceput pentru a fi utilizat industria textilă, de adezivi și pentru acoperiri. Va fi stabilită relația dintre compoziție amestecului, morfologie și rezistența la impact.

**Cuvinte cheie:** bio-polimer, amestec ternar, conditii de amestecare, morfologie, rezistența la impact

#### INTRODUCERE

Biopolimerii reprezintă un domeniu în care biodegradabilitatea ar fi un atu extraordinar pentru o varietate de elemente de învelitori, izolanții și produse de ambalare. Amidonul, este o componenta cheie a acestor materii prime regenerabile și devine un input de o importanță crescândă în activități din afara industriei alimentare datorită varietății modurilor în care poate fi modificat pentru a-i găsi aplicații în industrie.

Amestecul de biopolimeri este o cale atractivă și convenabilă pentru obținerea de noi materiale biopolimerice cu proprietăți bune, adaptate la diferite aplicații. Facând o paralelă între evoluția unui nou biopolimer, realizarea amestecurilor de biopolimerilor disponibili în prezent, oferă economii semnificative de timp și costuri, și proprietățile amestecului poate fi reglate prin schimbarea compoziției [1, 2]. Prin urmare, realizarea compatibilizării amestecurilor de polimeri nemiscibil a fost o provocare academică și tehnologică de lungă durată.

În ultima perioadă, în ciuda unui număr foarte mare de studii privind compatibilizare amestecurilor de biopolimeri binare, unele studii au luat în considerare amestecuri de biopolimeri ternare sau multi-component [4, 5].

#### MATERIAL ȘI METODĂ

Materialele folosite în acest experiment au fost polimerii: PLA 3051D (polilactidă), produs de „Nature Works” [2], PBAT (ecoFLEX F BX 7011), produs de BASF [1] și PA (platamid) produse de Arkema. În tabelul 1 sunt prezentate caracteristicile PLA 3051D, furnizat de „Nature Works”.

Polimerul PLA (polilactidă) 3051D este destinat pentru aplicații de turnare prin injecție, caz în care cerințele sunt claritate cu

with heat deflection temperatures lower than 55°C.

The variety of products made with PLA continues to grow rapidly. Applications include cutlery, cups, plates, saucers and outdoor parts.

The characteristics of PBAT (ecoflex F BX 7011) used, supplied by BASF are shown in table 2.

temperaturi a deflectorului de căldură mai mici de 55° C.

Varietate de produse realizate din PLA continuă să crească rapid. Aplicațiile includ tacâmuri, pahare, farfurii, farfurioare și piese pentru activități în aer liber.

Caracteristicile PBAT (ecoFLEX F BX 7011) utilizat, furnizat de BASF sunt prezentate în tabelul 2.

Table 1 / Tabel 1

PLA 3051D material properties / Proprietățile materialului PLA 3051D

Property/ Proprietate	Value / Valoare	Test Method / metoda testare
Density/ Densitate (g/cc)	1.25	ASTM D792
Melting Index/ Index topire g/10min (210°C/2.15Kg)	10 to 25	ASTM D1238
Melting Point/ Punct de topire, °C	200°C	DSC
Relative Viscosity/ Viscositate relativa (Pa·s)	3.0-3.5	
Tensile Strength/ Rezistența la rupere, (MPa)	48	ASTM D638
Elongation/ Intindere %	2.5	ASTM D638
Notched Impact/ Reziliența, (J/m)	0.16	ASTM D256

Table 2 / Tabel 2

PBAT (ecoflex F BX 7011) material properties / Proprietățile materialului PBAT(ecoflex FBX7011)

Property/ Proprietate	Value / Valoare	Test Method / metoda testare
Density/ Densitate (g/cc)	1.25 to 1.27	ASTM D792
Melting Index/ Index topire, g/10min (190°C/2.16Kg)	2.7 to 4.9	ASTM D1238
Melting Point/ Punct de topire, °C	110 to 120	DSC
Tensile Strength/ Rezistența la rupere, (MPa)	34	ASTM D638
Elongation/ Intindere %	700	ISO 527
Water Permeation Rate /Rata permeabilitate la apa, g/(m <sup>2</sup> *d)	140	DIN 53122

Ecoflex F BX 7011 comes closer than any other biodegradable plastic to the processing properties of a classic polymer. A flexible plastic designed for film extrusion and extrusion coating. Blown film extrusion is a particular area where PBAT shows well-balanced processing properties and the resin can be used in extrusion coating applications.

The density of PA PLATAMID HX 2656 is 1.1 (g/cc), having a melting point around 115-120 °C.

A laboratory internal mixer type Haake Rheomix R600 (Fig. 1) with mixing chamber volume of 50 cm<sup>3</sup> was used to conduct the extrusions. Like we can see in the figure 1, this extruder has two counter-rotates rotors and allows to impose a tangential kneading type at a shear rate given. This device can also measure the temperature of the material and the engine torque exerted by the fluid on the rotor blades.

Ecoflex F BX 7011 se apropie mai mult decât orice alt material plastic biodegradabil de proprietățile de prelucrare ale unui polimer clasic. Un material plastic flexibil conceput pentru extrudarea foliilor și acoperire prin extrudare. Extrudarea foliilor prin suflare este o zonă particulară unde PBAT prezintă proprietăți de prelucrare echilibrate și rășina poate fi folosită în aplicații de acoperire prin extrudare.

Densitatea PA PLATAMID HX 2656 este de 1,1 (g / cc), și are punctul de topire în jurul valorii de 115-120 ° C.

Pentru a realiza extruzarea s-a folosit un amestecator intern de laborator de tip Haake Rheomix R600 (Fig. 1), cu volumul camerei de amestecare de 50 cm<sup>3</sup>. Așa cum se poate observa în fig.1, acest extruder are două rotoare contra-rotative și permite impunerea unei malaxări tangențiale la o viteză de forfecare dată. Acest aparat poate de asemenea măsura și temperatura materialului și cuplul motor exercitat de fluid pe paletele rotorului.

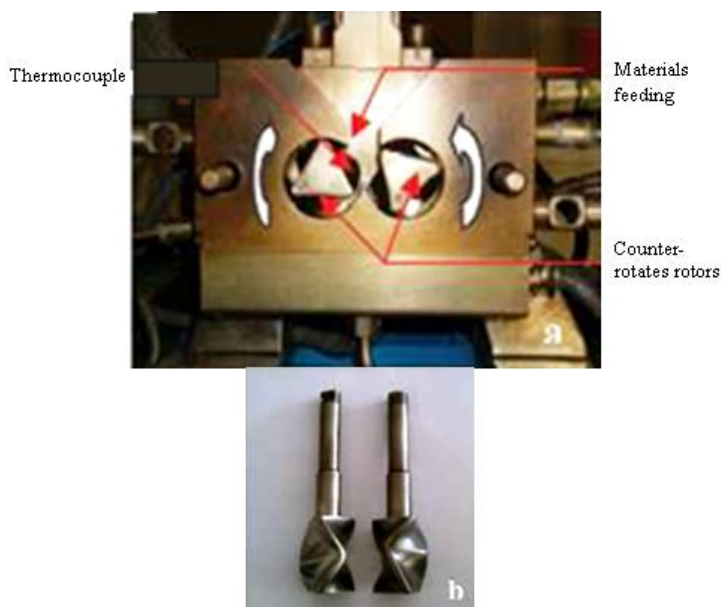


Fig. 1 - Internal mixer Haake Rheomix 600: (a) mixing chamber, (b) Contra rotates rotors, profiles / Amestecator intern Haake Rheomix 600: (a) camera de amestecare, (b) rotoare contra-rotative, profile

The chamber of extruder was fed at 80 % from full capacity. The experiments characteristics are:

- *Experiment 1* - 60 % PLA / 20 % PBAT / 20 % PA – temperature 180 °C, mixing time 12 min., rotation speed 30 rot/min.;
- *Experiment 2* - 60 % PLA / 20 % PBAT / 20 % PA – temperature 180 °C, mixing time 12 min., rotation speed 50 rot/min.;
- *Experiment 3* - 60 % PLA / 20 % PBAT / 20 % PA – temperature 180 °C, mixing time 12 min., rotation speed 80 rot/min.;
- *Experiment 4* - 60 % PLA / 20 % PBAT / 20 % PA – temperature 180 °C, mixing time 12 min., rotation speed 100 rot/min.;
- *Experiment 5* - 60 % PLA / 20 % PBAT / 20 % PA – temperature 170 °C, mixing time 12 min., rotation speed 80 rot/min.;
- *Experiment 6* - 60 % PLA / 20 % PBAT / 20 % PA – temperature 190 °C, mixing time 12 min., rotation speed 80 rot/min.;
- *Experiment 7* - 60 % PLA / 20 % PBAT / 20 % PA – temperature 180 °C, mixing time 20 min., rotation speed 80 rot/min.;
- *Experiment 8* - 60 % PLA / 20 % PBAT / 20 % PA – temperature 180 °C, mixing time 8 min., rotation speed 80 rot/min.

Before blending all feeding material was dried in the oven at 80 °C, minimum 4 hours. All blends was mixed 12 min. at 180 °C having a rotors speed of 80 rpm. After blending, the material was collected in one use bags, crushed in small pieces and formed in bars by compression moulding. The compression moulding process (Figure 2) was made at 180 °C for all bars.

From each blend were formed 3÷4 bars. After that, each bar was tested separately at resistance at impact. The dimensions of the bars were 80 x 10 x 3 mm. The depth under the notch of the specimen is 8 mm.

Camera extruderului a fost alimentata la 80% din capacitatea totala. Caracteristicile experimentelor sunt:

- *Experimentul 1* - 60% PLA / 20% PBAT / 20% PA - temperatura 180 ° C, timp de amestecare 12 min, viteza de rotație 30 rot / min.;
- *Experimentul 2* - 60% PLA / 20% PBAT / 20% PA - temperatura 180 ° C, timp de amestecare 12 min, viteza de rotație 50 rot / min.;
- *Experimentul 3* - 60% PLA / 20% PBAT / 20% PA - temperatura 180 ° C, timp de amestecare 12 min, viteza de rotație 80 rot / min.;
- *Experimentul 4* - 60% PLA / 20% PBAT / 20% PA - temperatura de 180 ° C, timp de amestecare 12 min, viteza de rotație de 100 rot / min.;
- *Experimentul 5* - 60% PLA / 20% PBAT / 20% PA - temperatura 170 ° C, timp de amestecare 12 min, viteza de rotație 80 rot / min.;
- *Experimentul 6* - 60% PLA / 20% PBAT / 20% PA - temperatura de 190 ° C, timp de amestecare 12 min, viteza de rotație de 80 rot / min.;
- *Experimentul 7* - 60% PLA / 20% PBAT / 20% PA - temperatura 180 ° C, timp de amestecare 20 min, viteza de rotație 80 rot / min.;
- *Experimentul 8* - 60% PLA / 20% PBAT / 20% PA - Temperatura 180 ° C, timp de amestecare 8 min, viteza de rotație 80 rot / min.

Înainte de amestecarea toate materialele de alimentare s-au uscat în cuptor la 80 ° C, minim 4 ore. Toate amestecurile s-au amestecat 12 min. la 180 ° C cu o viteză a rotoarelor de 80 rpm. După amestecare, materialul a fost colectat în saci, zdrobit în bucăți mici și modelat în bare prin formare prin comprimare. Procesul de formare prin comprimare (figura 2), a fost efectuată la 180 ° C pentru toate barele.

Din fiecare amestec s-au realizat 3-4 epruvete. După aceasta fiecare bară a fost testată separat, la rezistență la impact. Dimensiunile barelor au fost de 80 x 10 x 3 mm. Adancimea desub crestatură a epruvetelor este de 8 mm.



Fig. 2 - Compression moulding machine used to form the test bars / Masina de formare prin comprimare utilizata la realizarea barelor de testare

## RESULTS

The determined parameter from resistance at impact tests is impact strength according to ISO, expressed in  $\text{kJ/m}^2$ . Impact strength (noted  $R_e$ ) is calculated by dividing impact energy, in J, by the area under the notch. The machine used for determination of impact strength is CESAT 9050 Impact Pendulum (Figure 3). This machine is designed for determining the resilience of thermoplastic materials to impact.

## REZULTATE

Parametrul determinat pentru testele de rezistență la impact este rezistența la impact în conformitate cu ISO, exprimată în  $\text{kJ/m}^2$ . Rezistența la impact (notată  $R_e$ ) se calculează prin împărțirea energiei de impact, în J, la suprafața de sub creștătură. Mașina folosită pentru determinarea rezistenței la impact este CESAT 9050 Pendulum impact (figura 3). Acest aparat este destinat determinării capacității de rezistență a materialelor termoplastice la impact.



Tests according to internationally recognized standards belonging to Charpy, Izod, Pipe and tensile impact methods, ranging in energy from 0.5 - 50J.

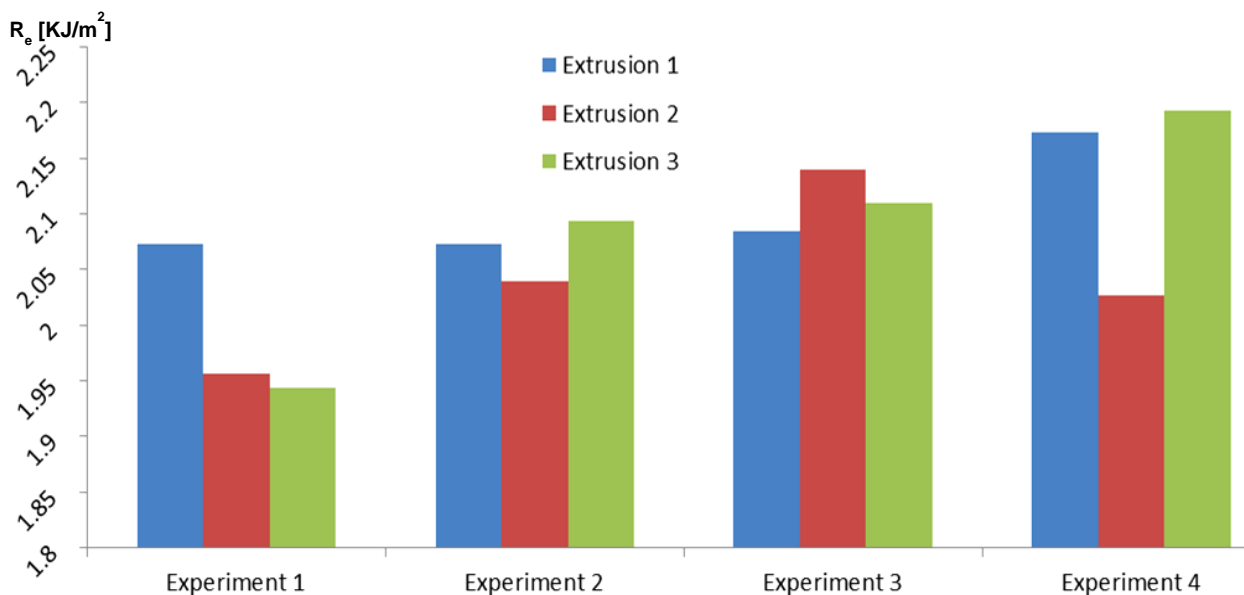
Testele de rezistență la impact sunt în conformitate cu standardele recunoscute la nivel internațional aparținând lui Charpy, Izod, Pipe, metodele de testare la impact, având un interval de variație între 0,5-50 J.



**Fig 3.** Resistance at impact testing machine CEAST9050 / Echipament pentru testarea rezistenței la impact CEAST9050

A graphical interpretation of experimental data is presented in Figure 4, Figure 5, Figure 6.

O interpretare grafică a datelor experimentale este prezentată în figurile 4,5 și 6.



**Fig. 4** - Influence of rotation speed to the impact strength for studied blends / Influența vitezei de rotație asupra rezistenței la impact pentru amestecurile studiate

From graphic representation from Figure 4 we can observe that an increasing of rotation speed (up to 100 rpm) during the blending is benefic for obtaining a higher resistance at impact properties.

From graphic representation from Figure 5 we can observe that the optimal temperature during the mixing is at 180 °C.

If we decrease the temperature value (170 °C, Experiment 5) during the mixing we obtain smaller values for resistance at impact.

If we use a higher temperature (190°C, Experiment 6) during the mixing we can observe a decreasing of resistance at impact values.

Din reprezentarea grafică din figura 4 se poate observa că o creștere a vitezei de rotație (de până la 100 rpm) în timpul amestecării este benefică pentru a obține proprietăți de rezistență la impact mai mare.

Din reprezentarea grafică din figura 5 se observă că temperatura optimă în timpul amestecării este de la 180° C.

Dacă reducem valoarea temperaturii (170°C, Experiment 5) în timpul amestecării se obțin valori mai mici pentru rezistența la impact.

Dacă folosim o temperatură mai mare (190°C, Experiment 6) în timpul amestecării se poate observa o scădere a valorii rezistenței la impact.

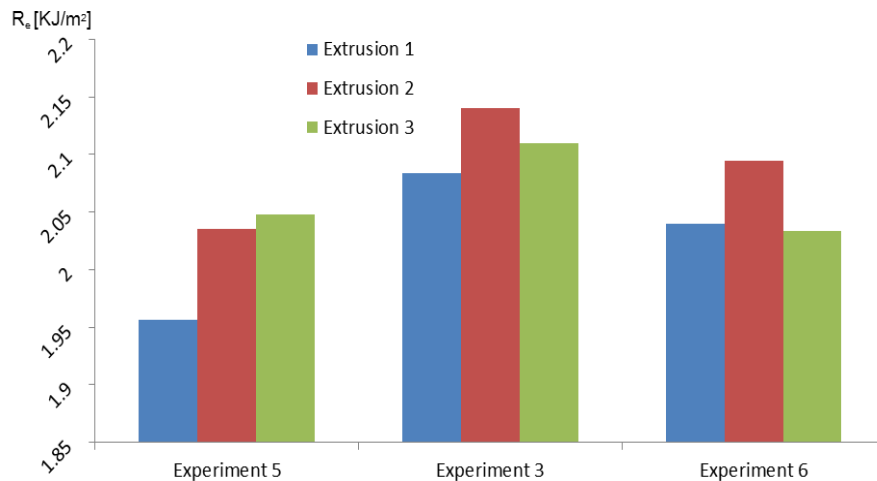


Fig. 5 - Influence of process temperature to the impact strength for studied blends / *Influenta temperaturii procesului asupra rezistentei la impact a amestecurilor studiate*

From graphic representation presented in Figure 6 we can observe that the optimal mixing time (using internal mixer Haake Rheomix 600) is at 12 min. If we use a smaller mixing time (8 min., Experiment 8), the results for resistance at impact test are decreasing. Same situation if we use a bigger mixing time (20 min., Experiment 7).

In parallel it was made a morphology study of the mixed blends. The obtained morphology is presented in the Figure 7.

Din reprezentarea grafică prezentată în figura 6 se poate observa că timpul de amestecare optim (folosind mixerul intern Haake Rheomix 600) este de 12 min. Dacă folosim un timp mai mic de amestecare (8 min., Experiment 8), rezultatele pentru rezistența la testul de impact sunt în scădere. Apare aceeași situație dacă folosim un timp de amestecare mai mare (20 min., Experiment 7).

În paralel, s-a fost făcut un studiu morfologia amestecuri mixte. Morfologia obținut este prezentată în figura 7.

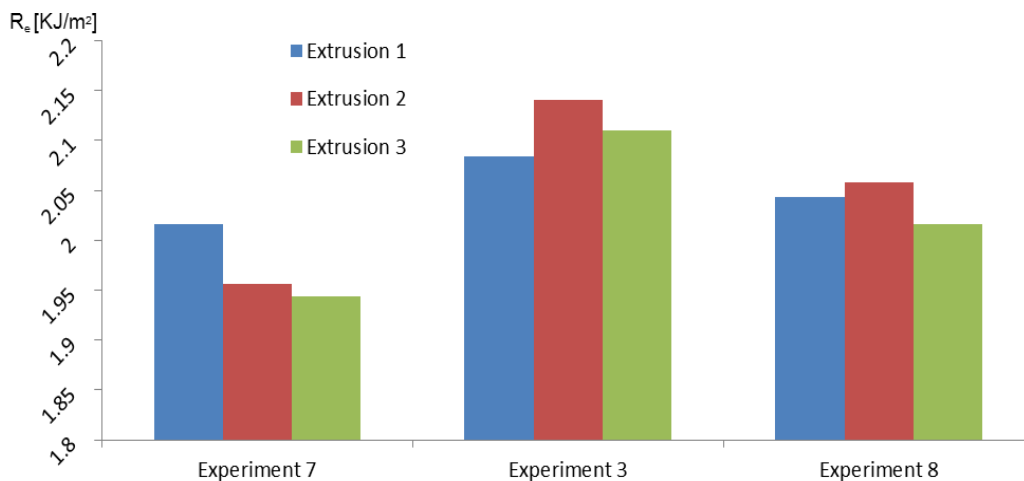


Fig.6 - Influence of extrusion time to the impact strength for studied blends/ *Influenta timpului de extrudare asupra rezistentei la impact a amestecurilor studiate*

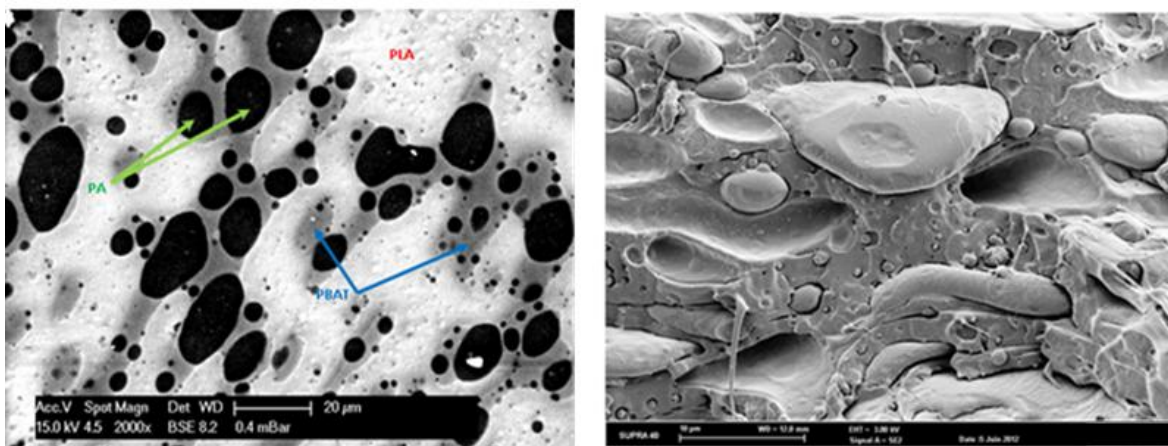


Fig. 7 - Photos with obtained morphology for 60% PLA / 20% PBAT / 20% PA (Experiment 3) / *Fotografii cu morfologia obtinuta pentru 60% PLA / 20% PBAT / 20% PA*

The samples for microscope observations were prepared through cryo fracture by cooling in liquid azote, after that deposit a thin layer of platinum on the studied surface.

For microscope observation it was used ESEM laboratory equipment ZEISS SUPRA 40 with GEMINI column. Another used electronic microscope it was Philips XL30.

After all these experimental studies, we can say that the best volume ratio for obtaining the best resistance at impact, between PLA/PBAT/PA ternary blends is 60/20/20. The best resistance at impact is obtained in case of Experiment 4 with 100 rpm, 180 °C during 12 min.

## CONCLUSIONS

By combining three biopolymers, we can obtain a biopolymer blend with new properties. By changing the matrix volume ratio in the blend, we can obtain different materials with different mechanical properties, adapted to each application. In the present study, we used three biodegradable polymers.

If the goal is to design a material with good mechanical properties, an option is to use PLA as the matrix and PBAT and PA as the inclusion. This leads to good impact properties. To use, for example, this polymer blend to make foil would require to increase the volume ratio of the PBAT in the blend.

In general, to increase mechanical properties will require adding compatible agents or a third component, or both.

## Acknowledgement

This research was supported by a grant from Q-DOC project of Technical University of Cluj-Napoca, Romania.

## REFERENCES

- [1]. Besson F., Budtova T. (2012) - *Cellulose ester-polyolefine binary blend: Morphological, rheological and mechanical properties*, European Polymer Journal, Vol. 48 pp. 981-989;
- [2]. Della Valle G., Vergnes B. and Lourdin D. (2007) - *Viscous properties of thermoplastic starches from different botanical origin*. International Polymer Processing, Vol. 22, p. 471-479.
- [3]. Kosaka P. M., Kawano Y., Fantini M., Petri D. (2006) - *Structure and properties of maleated linear low-density polyethylene and cellulose acetate butyrate blends*, Macromolecular Materials and Engineering, vol. 291, pp. 9-531;
- [4]. Paul D.R., Bucknell C.B. (2000) - *Polymer blends: formulation & performance*, New York: Wiley;
- [5]. Rosa D., Guedes C., Bardi M. (2007) - *Evaluation of thermal, mechanical and morphological properties of PCL/CA and PCL/CA/PE-g-GMA blends*, Polymer Testing 2007. Vol. 26, pp.15 – 209;
- [6]. Roy S. B. et al. (2011) - *Polypropylene and Potato Starch Biocomposites: Physicomechanical and Thermal Properties*. Journal of Applied Polymer Science, vol. 120, pp. 3078-3086;
- [7]. Sperling L.H. (2005) - *Introduction to physical polymer science*, 4<sup>th</sup> ed. New York: Wiley;
- [8]. Yu L., Dean K. and Li L. (2006) - *Polymer blends and composites from renewable resources*, Progress in Polymer Science, Vol. 31, pp. 576-602;
- [9]. [https://kyna.andersmanager.fi/data/doc/qp/3051d.certificato.pla\\_qpidoabuni.pdf](https://kyna.andersmanager.fi/data/doc/qp/3051d.certificato.pla_qpidoabuni.pdf), Jun 2012;
- [10]. [www.plasticsportal.com/products/dspdf.php?type=iso&param=Ecoflex+F+BX+7011](http://www.plasticsportal.com/products/dspdf.php?type=iso&param=Ecoflex+F+BX+7011).

Probele pentru observații microscopice au fost preparate prin metoda cryo fracture (răcire în azot lichid la -180 °C și fracturarea unei bucăți de material), după care s-a depus un strat subțire de platină pe suprafața studiată.

Pentru observarea microscop a fost folosit echipament de laborator ESEM ZEISS SUPRA 40 cu coloana GEMINI. Un alt microscop electronic folosit a fost Philips XL30.

După toate aceste studii experimentale putem spune că cel mai bun raport de volum pentru a obține cea mai bună rezistența la impact, între amestecurile ternare PLA/PBAT/PA este 60/20/20. Cea mai bună rezistență la impact s-a obținut în cazul Experimentului 4 având setată o turație de 100 rpm, o temperatură de 180 °C, timpul 12 min.

## CONCLUZII

Prin combinarea a trei biopolimeri, putem obține un amestec biopolimerimeric cu proprietăți noi. Prin schimbarea matricei raportului volumelor în amestec, se pot obține diferite materiale cu proprietăți mecanice diferite, adaptate pentru fiecare aplicație. În studiul de față, am folosit trei polimeri biodegradabili.

Dacă scopul este de a obține un material cu proprietăți mecanice bune, o opțiune este să se folosească PLA ca matrice și PBAT, PA ca și incluziuni. Acest lucru conduce la obținerea unor proprietăți de rezistență la impact bune. Dacă scopul este de a utiliza, acest amestec de polimeri pentru a face folie, este necesară creșterea raportului volumetric al PBAT în amestec.

În general, pentru a crește proprietățile mecanice va fi necesară adăugarea unor agenți de compatibilizare sau a unui al treilea component, sau ambele.

## Acknowledgement

Aceste cercetări au fost susținute de un grant de proiect Q-DOC al Universității Tehnice din Cluj-Napoca, Romania.

## BIBLIOGRAFIE

- [1]. Besson F., Budtova T. (2012) – *Amestec binar de ester de celuloza Proprietati morfologice, reologice si mecanice*, European Polymer Journal, vol. 48 pag. 981–989;
- [2]. Della Valle G., Vergnes B. și Lourdin D. (2007) – *Proprietatile vasculoase ale amidonului termoplastic de diferite origini botanice*, International Polymer Processing, Vol. 22, pag. 471-479;
- [3]. Kosaka P.M., Kawano Y., Fantini M., Petri D. (2006) - *Structura si proprietatile polietilenei de densitate mica si a amestecurilor de burirat acetat de celuloza*, Macromolecular Materials and Engineering, 2006. Vol. 291, pag. 9-531;
- [4]. Paul D.R., Bucknell C.B. (2000) – *Formularia & performanta amestecurilor de polimeri*, New York: Wiley;
- [5]. Rosa D., Guedes C., Bardi M. (2007) – *Evaluarea proprietatilor termice, mecanice si morfologice ale amestecurilor de PCL/CA si PCL/CA/PE-g-GMA*, Polymer Testing, vol. 26, pag.15 – 209;
- [6]. Roy S.B. et al. (2011) – *Proprietatile termice si fizico-mecanice ale biocompozitelor de amidon de cartofi si polipropilena*, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 120, pag. 3078-3086;
- [7]. Sperling L.H. (2005) – *Introducere in stiinta polimerilor fizici*, editia 4. New York: Wiley;
- [8]. Yu L., Dean K. and Li L. (2006) – *Amestecuri de polimeri si compusi din resurse regenerabile*, Progress in Polymer Science, vol. 31, pag. 576-602;
- [9]. [https://kyna.andersmanager.fi/data/doc/qp/3051d.certificato.pla\\_qpidoabuni.pdf](https://kyna.andersmanager.fi/data/doc/qp/3051d.certificato.pla_qpidoabuni.pdf), Jun 2012;
- [10]. [www.plasticsportal.com/products/dspdf.php?type=iso&param=Ecoflex+F+BX+7011](http://www.plasticsportal.com/products/dspdf.php?type=iso&param=Ecoflex+F+BX+7011).