

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10)

PL 245448 B1

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **433447**

(22) Data zgłoszenia: **2020.04.03**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2021.10.04 BUP 27/2021**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2024.08.05 WUP 32/2024**

(51) MKP:

B32B 27/06 (2006.01)

B32B 27/12 (2006.01)

B32B 27/18 (2006.01)

C08L 67/04 (2006.01)

C08K 7/02 (2006.01)

D04H 5/06 (2006.01)

B29C 48/00 (2019.01)

B29C 43/00 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA POZNAŃSKA, Poznań, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:

JACEK ANDRZEJEWSKI, Rakoniewice, PL

MAREK SZOSTAK, Swarzędz, PL

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Marcin Walkowiak, Dobra, PL

(54) Tytuł:

Biokompozyt w postaci laminatu i sposób wytwarzania biokompozytu w postaci laminatu

PL 245448 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest biokompozyt w postaci laminatu oraz sposób wytwarzania biokompozytu w postaci laminatu. Biokompozyt polimerowy cechuje się podwyższonymi właściwościami mechanicznymi.

Polilaktyd (PLA) stanowi obecnie najbardziej popularny gatunek spośród wielu polimerów biodegradowalnych, syntezuje się go z surowców powstałych na bazie materiałów odnawialnych takich jak mączka kukurydziana. Polimer ten zalicza się do grona poliestrów alifatycznych, dwie najpopularniejsze metody jego syntezy to polimeryzacja z otwarciem pierścienia laktydu oraz polikondensacja kwasu mlekowego [Lim LT, Auras R, Rubino M. Processing technologies for poly(lactic acid). *Progress in Polymer Science* (Oxford) 2008; 33: 820–52. doi:10.1016/j.progpolymsci.2008.05.004.].

Ze względu na swoje właściwości materiałowe oraz zbliżony do politereftalanu etylenu (PET) sposób przetwarzania, polimer ten znajduje liczne zastosowania w branży opakowaniowej. PLA jest często nazywany biopolimerem, w pierwszej kolejności ze względu na swój biopochodny charakter, w drugiej zaś ze względu na cechy biodegradowalne. Z tych względów polimer stanowi obiekt dużego zainteresowania jako osnowa dla biokompozytów. Materiały tego typu zyskują coraz większą popularność głównie, umożliwią bowiem zastąpienie klasycznych kompozytów na bazie żywic chemoutwardzalnych i włókien szklanych, poprzez materiały wzmocnione włóknami naturalnymi. Dotychczas jednak najczęściej jednak osnowę dla biokompozytów stosowano klasyczne polimery termoplastyczne takiej jak polietylen, polipropylen lub polichlorek winylu. W połączeniu z włóknami naturalnymi materiały te zyskują możliwość przetwarzania takimi technikami jak wtryskiwanie lub wytłaczanie, jednak ich biodegradacja jest nie możliwa. Zastosowanie PLA jako osnowy dla biokompozytów zwiększa udział biopochodnych składników w materiale, dodatkowo ze względu na proces biodegradacji możliwe jest wyeliminowanie problemów związanych z zagospodarowaniem odpadów po okresie eksploatacji. Jako jedną z wad PLA można uznać jego powolną degradację, często wymagającą stosowania przemysłowych systemów kompostujących. Cecha ta jest ściśle związana z temperaturą zeszklenia PLA. Wynosi ona około 55–60°C i dopiero wyżej tego zakresu, mobilność łańcuchów polimerowych umożliwia skuteczny rozpad wiązań w polimerze. Jednym z rozwiązań tego problemu jest mieszanie PLA z innego typu polimerami biodegradowalnymi, z zasady stosowane są wtedy polimery o znacznie wyższej tendencji do rozkładu, również w warunkach standardowego kompostowania. Wśród stosowanych materiałów można wymienić PCL [Takayama T, Todo M, Tsuji H. Effect of annealing on the mechanical properties of PLA/PCL and PLA/PCL/LTI polymer blends. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 2011; 4: 255–60. doi:10.1016/j.jmbbm.2010.10.003.], PBS [Hassan E, Wei Y, Jiao H, Yu M. Dynamic Mechanical properties and Thermal stability of Poly(lactic acid) and poly(butylene succinate) blends composites. *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics* 2013; 6: 85–94. doi:10.3993/jfbi03201308.], TPS [Lv S, Gu J, Cao J, Tan H, Zhang Y. Effect of annealing on the thermal properties of poly (lactic acid)/starch blends. *International Journal of Biological Macromolecules* 2015; 74: 297–303. doi:10.1016/j.ijbiomac.2014.12.022.] oraz PBAT [Al-Itry R, Lamnawar K, Maazouz A, Billon N, Combeaud C. Effect of the simultaneous biaxial stretching on the structural and mechanical properties of PLA, PBAT and their blends at rubbery state. *European Polymer Journal* 2015; 68: 288–301. doi:10.1016/j.eurpolymj.2015.05.001; Al-Itry R, Lamnawar K, Maazouz A. Improvement of thermal stability, rheological and mechanical properties of PLA, PBAT and their blends by reactive extrusion with functionalized epoxy. *Polymer Degradation and Stability* 2012; 97: 1898–914. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2012.06.028.; Arruda LC, Magaton M, Bretas RES, Ueki MM. Influence of chain extender on mechanical, thermal and morphological properties of blown films of PLA/PBAT blends. *Polymer Testing* 2015; 43: 27–37. doi:10.1016/j.polymertesting.2015.02.005.].

Ten ostatni polimer został wybrany w pracach badawczo-rozwojowych nad wynalazkiem jako materiał do modyfikacji omawianych materiałów. Oprócz wyższej od PLA tendencji do degradacji posiada on również właściwości zbliżone do elastomerów termoplastycznych, czyli wysokie wydłużenie oraz udarność. Cechy te są kluczowe w celu uzyskania dobrych właściwości mechanicznych przez mieszanie polimerową, w której PLA stanowić będzie sztywną osnowę, natomiast PBAT w postaci drobnodispersyjnej doprowadzi do zmian w mechanice pękania materiału i w konsekwencji pozwoli zwiększyć wydłużenie oraz udarność.

Jednym z głównych ograniczeń w zastosowaniu PLA jego blendów oraz kompozytów jest ograniczona stabilność termiczna oraz tendencja do degradacji hydrolitycznej powodowane zbyt wysoką temperaturą procesu przetwórczego lub obecnością wilgoci w trakcie przetwarzania. Spośród wielu metod ograniczenia tego zjawiska, aktualnie popularność zyskuje metoda reaktywnego wytłaczania z udziałem związków chemicznych zwiększających masę cząsteczkową PLA. Do grona tych modyfikatorów można zaliczyć reaktywne nadtlarki [Ma P, Cai X, Zhang Y, Wang S, Dong W, Chen M, et al. In-situ compatibilization of poly(lactic acid) and poly(butylene adipate-co-terephthalate) blends by using dicumyl peroxide as a free-radical initiator. *Polymer Degradation and Stability* 2014; 102: 145–51. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2014.01.025.] liczne odmiany izocyjanianów [Pan H, Li Z, Yang J, Li X, Ai X, Hao Y, et al. The effect of MDI on the structure and mechanical properties of poly(lactic acid) and poly(butylene adipate-co-butylene terephthalate) blends. *RSC Advances* 2018; 8: 4610–23. doi:10.1039/C7RA10745E.], lub modyfikatory na bazie grup epoksydowych [Al-Itry R, Lamnawar K, Maazouz A. Improvement of thermal stability, rheological and mechanical properties of PLA, PBAT and their blends by reactive extrusion with functionalized epoxy. *Polymer Degradation and Stability* 2012; 97: 1898–914. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2012.06.028.].

Skuteczność tych ostatnich została potwierdzona wielokrotnie dla wielu odmian poliestrów w tym również PLA. Zaletą tego typu modyfikatorów jest możliwość zwiększenia masy cząsteczkowej polimeru, co odbywa się poprzez przyłączenie grup końcowych degradującego polimeru do łańcucha reaktywnego oligomeru. Pierwotne przeznaczenie reaktywnych kompatybilizatorów, czyli zastosowanie jako środek poprawiający przetwórstwo PET zwłaszcza jego odmian poddanych recyklingowi, zostało rozszerzone o inne poliestry termoplastyczne takie jak PBT, PTT i PLA. W przypadku PLA proces reaktywnego wytłaczania umożliwia również prowadzenie procesów przetwórczych w wysokich temperaturach lub obecności wilgoci [Yuryev Y, Mohanty AK, Misra M. A New Approach to Supertough Poly(lactic acid): A High Temperature Reactive Blending. *Macromolecular Materials and Engineering* 2016; 301: 1443–53. doi:10.1002/mame.201600242; Yuryev Y, Mohanty AK, Misra M. Novel super-toughened bio-based blend from polycarbonate and poly(lactic acid) for durable applications. *RSC Advances* 2016; 6: 105094–104. doi:10.1039/C6RA21208E.].

Spośród dotychczas odnotowywanych doniesień literaturowych mieszanina PLA/PBAT rzadko była brana pod uwagę jako osnowa dla kompozytów, częściej jako materiał właściwy przeznaczony do 1szego przetwórstwa. Najczęściej blendy tego typu przeznaczone są do produkcji folii opakowaniowej, co potwierdzają liczne artykuły naukowe [Hamad K, Kaseem M, Ayyoob M, Joo J, Deri F. Polylactic acid blends: The future of green, light and tough. *Progress in Polymer Science* 2018; 85: 83–127. doi:10.1016/j.progpolymsci.2018.07.001.] w nielicznych przypadkach zastosowanie PBAT jako dodatku do PLA skutkuje poprawą udułności wyrobów uzyskiwanych techniką wtryskiwania [Lim LT, Auras R, Rubino M. Processing technologies for poly(lactic acid). *Progress in Polymer Science (Oxford)* 2008; 33: 820–52. doi:10.1016/j.progpolymsci.2008.05.004. Lim LT, Auras R, Rubino M. Processing technologies for poly(lactic acid). *Progress in Polymer Science (Oxford)* 2008; 33: 820–52. doi:10.1016/j.progpolymsci.2008.05.004. Lim LT, Auras R, Rubino M. Processing technologies for poly(lactic acid). *Progress in Polymer Science (Oxford)* 2008; 33: 820–52. doi:10.1016/j.progpolymsci.2008.05.004. Lim LT, Auras R, Rubino M. Processing technologies for poly(lactic acid). *Progress in Polymer Science (Oxford)* 2008; 33: 820–52. doi:10.1016/j.progpolymsci.2008.05.004.].

Dotychczasowe doniesienia obejmujące zastosowanie mieszanin PLA/PBAT jako osnowy kompozytowej dotyczyły tylko obszaru technologii wtryskiwania, gdzie materiał ten był stosowany w połączeniu z włóknami kenaf [Sis ALM, Ibrahim NA, Yunus WMZW. Effect of (3-amino-propyl)trimethoxysilane on mechanical properties of PLA/PBAT blend reinforced kenaf fiber. *Iranian Polymer Journal (English Edition)* 2013; 22: 101–8. doi:10.1007/s13726-012-0108-0.], ramie [Yu T, Li Y. Influence of poly(butylenes adipate-co-terephthalate) on the properties of the biodegradable composites based on ramie/poly(lactic acid). *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 2014; 58: 24–9. doi:10.1016/j.compositesa.2013.11.013.], jedwabiem [Nakayama D, Wu F, Mohanty AK, Hirai S, Misra M. Biodegradable Composites Developed from PBAT/PLA Binary Blends and Silk Powder: Compatibilization and Performance Evaluation. *ACS Omega* 2018; 3: 12412–21. doi:10.1021/acso-mega.8b00823.] lub nawet nanorurkami węglowymi Ko SW, Hong MK, Park BJ, Gupta RK, Choi HJ, Bhattacharya SN. Morphological and rheological characterization of multi-walled carbon nanotube/PLA/PBAT blend nanocomposites. *Polymer Bulletin* 2009; 63: 125–34. doi:10.1007/s00289-009-0072-9.].

W stanie techniki z publikacji WO2014124563A1 oraz CN102675839A znany jest sposób wytwarzania folii i laminatów biodegradowalnych na bazie PLA i dodatku innych polimerów biodegradowalnych. Sposób wytwarzania tych materiałów wskazuje na możliwość zastosowania mieszanin polimerowych na bazie PLA, w tym układów typu PLA/PBAT, jako osnowy polimerowej w celu wykonania laminatów polimerowych. Skład osnowy polimerowej jest zbliżony do składu biokompozytu według wynalazku, ponieważ zarówno w tych rozwiązaniach jak i wynalazku znajduje zastosowanie mieszanina PLA/PBAT zawierająca od 5 do 60% PBAT. W przypadku rozwiązań opisany w WO2014124563A1 oraz CN102675839A należy jednak wskazać, że dodatek PBAT, PHA oraz innych biopolimerów do osnowy PLA ma odmienny cel niż w przypadku wynalazku. Celem prowadzonej modyfikacji jest uzyskanie materiału o przyspieszonym, w stosunku do czystego PLA, czasie degradacji, co potwierdza przedstawienie wyników testów degradacji prowadzonych w różnych warunkach kompostowania.

Przed wszystkim jednak rozwiązania te nie wskazują na konieczność stosowania dodatkowej modyfikacji układu polimerowego za pomocą reaktywnych dodatków, tak jak jest to przedstawione w wynalazku, w którym głównym celem prowadzenia modyfikacji osnowy PLA jest konieczność uzyskania wysokiej udarności układu polimerowego, co ma zapewnić wysoką trwałość otrzymanych laminatów wzmacnianych tkaniną lnianą. Wybór lnu jako zbrojenia kompozytowego został podyktowany wysoką wytrzymałością włókien tego typu, co w połączeniu z większą udarnością odnowy zapewnia większą trwałość opracowanych laminatów.

Z innej publikacji CN105199347A znany jest także materiał w postaci kompozytu PLA/montmorylonit w celu zastosowania jako modyfikator dla mieszanin typu PLA/PBAT. Z publikacji tej znany jest także sposób przygotowania mieszaniny kompozytowej PLA/MMT, gdzie PLA stanowi osnowę natomiast nanocząstki MMT napelniać polimerowy. Istotą tego sposobu jest otrzymywanie koncentratu PLA/MMT, w celu uzyskania materiału przyspieszającego proces degradacji innych materiałów biodegradowalnych. W rozwiązaniu tym mieszanina PLA/PBAT została przedstawiona jako materiał możliwy do modyfikacji, nie stanowi ona jednak kluczowego dla opisu materiału. Należy zwrócić tu uwagę, że celem rozwiązania opisanego w CN105199347A nie jest wytworzenie trwałych i wytrzymałych laminatów kompozytowych, jak w przypadku wynalazku, a jedynie opracowanie sposobu przyspieszenia procesu degradacji dla mieszanin biodegradowalnych, w tym materiałów PLA/PBAT.

Inna znana w stanie techniki publikacja CN106674923A wskazuje na możliwość zastosowania mieszaniny PBAT/PLA jako osnowy polimerowej w produkcji membran o kontrolowanym procesie degradacji. W tym przypadku istnieje konieczność zastosowania węgla wapnia jako napelniacza polimerowego oraz dodatku zwiększającego antybakteryjność. Taki materiał można zastosować przy produkcji folii otrzymywanej techniką rozdmuchu. Celem takiego rozwiązania jest zatem głównie otrzymanie wyrobów foliowych o przyspieszonej lub kontrolowanej degradacji. Publikacja ta nie wskazuje na możliwość zastosowania opracowanego materiału jako osnowy w laminatach kompozytowych, co stanowi główny cel dla wynalazku. Publikacja ta również nie sugeruje możliwości stosowania opracowanego materiału w połączeniu z włóknami naturalnymi lub w jakiegokolwiek aplikacji kompozytowej.

Z polskiego opisu patentowego PL217819B1 znana jest także możliwość zastosowania mieszaniny typu PLA/PBAT jako bazy polimerowej w procesie wytłaczania folii sztywnej przeznaczonej do procesu termoformowania. Opisany sposób otrzymywania folii ma umożliwić uzyskanie wyrobów o lepszej jakości, jednak autorzy nie wskazują, jaki konkretny obszar właściwości ulega poprawie. Rozwiązanie co prawda wskazuje na możliwość wprowadzenia do mieszaniny PLA/PBAT wielu innych polimerów jak PBA, PBT lub BDO, jednak nie wskazuje na możliwość stosowania napelniaczy polimerowych, w tym włókien naturalnych, ani też nie sugeruje możliwości zastosowania opracowanej kompozycji polimerowej jako osnowy w laminatach kompozytowych, tak jak jest to przedstawione w przypadku wynalazku.

W stanie techniki nie odnotowano przypadków zastosowania mieszanin PLA/PBAT jako osnowy kompozytowej do wytwarzania laminatów wzmocnionych włóknami długimi, co stanowi przedmiot wynalazku.

Przedmiot wynalazku w postaci laminatu na osnowie modyfikowanej odmiany mieszaniny PLA/PBAT oraz sposób jego wytwarzania, stanowi nowe rozwiązanie technologiczne, którego główne zalety polegają na poprawie właściwości mechanicznych osnowy polimerowej oraz jej stabilności procesowej, w wyniku czego znacznej poprawie ulegają właściwości mechaniczne laminatów.

Biokompozyt polimerowy cechuje się podwyższonymi właściwościami mechanicznymi. Głównym celem zastosowania układu PLA/PBAT jest poprawa cech mechanicznych osnowy na bazie PLA, w szczególności wydłużenia oraz wytrzymałości udarowej. Cechy te w przypadku niemodyfikowanego

PLA stanowią największy mankament tego polimeru, dlatego w przypadku wytwarzania laminatów bazujących na tym polimerze poprawa tych właściwości dla materiału osnowy przyczynia się również do polepszenia cech mechanicznych kompozytu.

Istotą wynalazku jest biokompozyt w postaci laminatu z osnową polimerową i wzmocnieniem włóknistym, w którym osnowa polimerowa zawiera mieszaninę polilaktydu (PLA) oraz poli(adypinian butylenu-co-tereftalan butylenu) (PBAT), przy czym zawartość fazy PBAT wynosi od 5 do 60% wagowych w stosunku do PLA. Natomiast wzmocnienie włókniste, w ilości 40% wagowych, stanowi tkanina, mata lniana lub włókna ciągłe w postaci nawoju wykonane z włókien lnianych.

Istotą wynalazku jest także sposób wytwarzania biokompozytu polimerowego z osnową polimerową i wzmocnieniem włóknistym. W sposobie tym osnowę kompozytową w postaci mieszaniny PLA/PBAT, wytworzoną metodą wytłaczania w temperaturze procesu od 150 do 270°C, przy zawartości fazy PBAT od 5 do 60% wagowych w stosunku do PLA, łączy się ze wzmocnieniem włóknistym, w ilości 40% wagowych, w postaci tkaniny, maty lnianej lub włókna ciągłego w postaci nawoju wykonanego z włókien lnianych, techniką prasowania na gorąco.

Biokompozyt w postaci laminatu z osnową polimerową i wzmocnieniem włóknistym według wynalazku przedstawiono na następujących przykładach.

Lista właściwości mechanicznych polilaktydu zastosowanego do badań została zamieszczona w tabeli 1, zestawienie wyników obejmuje również kompozyt PLA + len stanowiący odnośnik dla laminatów PLA/PBAT + len, które stanowią przedmiot omawianego wynalazku. Technika otrzymywania kompozytu referencyjnego PLA + len jest identyczna w stosunku do przykładów kompozytów prezentowanych w przykładzie 1 i 2.

Tabela 1
Właściwości czystego niemodyfikowanego PLA oraz laminatu PLA/tkanina lniana

	Wytrzymałość doraźna, przy rozciąganiu	Moduł sprężystości, przy rozciąganiu	Wydłużenie przy zerwaniu, przy rozciąganiu	Wytrzymałość, przy zginaniu	Moduł sprężystości, przy zginaniu
	MPa	MPa	%	MPa	MPa
PLA	62	2850	3	83	3500
kompozyt PLA+len	48	5400	2,3	??	??

Przykład 1

Niemodyfikowany granulat PLA oraz granulaty PBAT zostają wymieszane na wytłaczarce dwuślimakowej w temperaturze 180°C, przy czym zakres temperaturowy procesu wytłaczania może się zawierać w granicach od 150 do 280°C, w zależności od zastosowanego typu granulatu oraz ewentualnych dodatków poprawiających stabilność termiczną materiałów polimerowych. Stosunek wagowy PLA do PBAT wynosi 90%/10%. Tak otrzymana mieszanina zostaje w następnym kroku uformowana metodą wytłaczania do postaci folii o grubości 100 µm, przy czym zakres ten może wynosić 25–500 µm. Proponowaną metodą wytwarzania folii jest metoda wytłaczania z rozdmuchem lub metoda wytłaczania folii wylewanej. W wybranych przypadkach dopuszcza się jednak zastosowanie innych metod kształtowania jak prasowanie, walcowanie lub otrzymywanie folii metodą rozpuszczalnikową. Tak przygotowany materiał zostaje w kolejnym kroku połączony z kompozytowym wzmocnieniem w formie tkaniny lnianej o gramaturze 150 g/cm³. Udział wagowy tkaniny lnianej w kompozycie dla podanego przykładu wynosi 40%, dopuszczalna jest również inna forma włóknistego wzmocnienia jak mata lub włókna ciągłe w postaci nawoju. W celu przygotowania laminatu stół prasy hydraulicznej zostaje rozgrzany do temperatury 180°C. Pomiędzy rozgrzаныmi płytami prasy umieszczone zostają naprzemiennie warstwy tkaniny lnianej oraz folii polimerowej, w referencyjnym przykładzie realizacji pięć warstw tkaniny i cztery warstwy folii. Po etapie wstępnego rozgrzania do temperatury prasy, przy ciśnieniu docisku 10 bar i czasie 3 minut, laminat jest następnie prasowany z siłą docisku 50 bar w czasie 10 minut. Po tym okresie następuje etap chłodzenia, gdzie laminat jest chłodzony do temperatury otoczenia. W omawianym przykładzie odbywało się to przy pomocy obiegu wodnego, czas chłodzenia do temperatury 20°C wynosił 15 minut.

W tabeli 2 przedstawiono porównanie właściwości mechanicznych laminatu modyfikowanego przy pomocy 10% dodatku PBAT.

Tabela 2
Właściwości mechaniczne laminatu PLA/PBAT (90/10) + len

	Wytrzymałość doraźna, przy rozciąganiu	Moduł sprężystości, przy rozciąganiu	Wydłużenie przy zerwaniu, przy rozciąganiu	Wytrzymałość, przy zginaniu	Moduł sprężystości, przy zginaniu
	MPa	MPa	%	MPa	MPa
PLA/PBAT (90/10) +len 40%	72	6900	2,5	120	7100

Przykład 2

Niemodyfikowany granuląt PLA oraz granuląt PBAT zostały wymieszane na wylączarce dwuślimakowej w temperaturze 180°C, przy czym zakres temperaturowy procesu wytłaczania może się zawierać w granicach od 150 do 280°C, w zależności od zastosowanego typu granulatu oraz ewentualnych dodatków poprawiających stabilność termiczną materiałów polimerowych. Stosunek wagowy PLA do PBAT wynosi 70%/30%. Tak otrzymana mieszanina zostaje w następnym kroku uformowana metodą wytłaczania do postaci folii o grubości 100 µm, przy czym zakres ten może wynosić 25–500 µm. Proponowaną metodą wytwarzania folii jest metoda wytłaczania z rozdmuchem lub metoda wytłaczania folii wylewanej. W wybranych przypadkach dopuszcza się jednak zastosowanie innych metod kształtowania jak prasowanie, walcowanie lub otrzymywanie folii metodą rozpuszczalnikową. Tak przygotowany materiał zostaje w kolejnym kroku połączony z kompozytowym wzmocnieniem w formie tkaniny lnianej o gramaturze 150 g/cm³. Udział wagowy tkaniny lnianej w kompozycie dla podanego przykładu wynosi 40%, dopuszczalna jest również inna forma włóknistego wzmocnienia jak mata lub włókna ciągłe w postaci nawoju. W celu przygotowania laminatu stół pracy hydraulicznej zostaje rozgrzany do temperatury 180°C. Pomiędzy rozgrzаныmi płytami prasy umieszczone zostają naprzemiennie warstwy tkaniny lnianej oraz folii polimerowej, w tym przykładzie pięć warstw tkaniny i cztery warstwy folii. Po etapie wstępnego rozgrzania do temperatury prasy, przy ciśnieniu docisku 10 bar i czasie 3 minut, laminat jest następnie prasowany z siłą docisku 50 bar w czasie 10 minut. Po tym okresie następuje etap chłodzenia, gdzie laminat jest chłodzony do temperatury otoczenia, w omawianym przykładzie odbywało się to przy pomocy obiegu wodnego, czas chłodzenia do temperatury 20°C wynosił 15 minut.

W tabeli 3 przedstawiono porównanie właściwości mechanicznych laminatu modyfikowanego przy pomocy 30% dodatku PBAT.

Tabela 3
Właściwości laminatu typu PLA-PBAT (70/30) + tkanina lniana

	Wytrzymałość doraźna, przy rozciąganiu	Moduł sprężystości, przy rozciąganiu	Wydłużenie przy zerwaniu, przy rozciąganiu	Wytrzymałość, przy zginaniu	Moduł sprężystości, przy zginaniu
	MPa	MPa	%	MPa	MPa
Kompozyt PLA/PBAT (70/30) +len 40%	66	6500	2,7	88	6800

Zastrzeżenia patentowe

1. Biokompozyt w postaci laminatu z osnową polimerową i wzmocnieniem włóknistym, **znamienny tym**, że osnowa polimerowa zawiera mieszaninę polilaktydu (PLA) oraz poli(adypinian butylenu-co-tereftalan butylenu) (PBAT), przy czym zawartość fazy PBAT wynosi od 5 do 60% wagowych w stosunku do PLA a wzmocnienie włókniste, w ilości 40% wagowych, stanowi tkanina, mata lniana lub włókna ciągłe w postaci nawoju wykonane z włókien lnianych.
2. Sposób wytwarzania biokompozytu polimerowego w postaci laminatu z osnową polimerową i wzmocnieniem włóknistym, **znamienny tym**, że osnowę kompozytową w postaci mieszaniny PLA/PBAT, wytworzoną metodą wytłaczania w temperaturze procesu od 150 do 270°C, przy czym zawartość fazy PBAT wynosi od 5 do 60% wagowych w stosunku do PLA, łączy się ze wzmocnieniem włóknistym, w ilości 40% wagowych, w postaci tkaniny, maty lnianej lub włókna ciągłego w postaci nawoju wykonanego z włókien lnianych, techniką prasowania na gorąco.