

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 242309 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **432836**

(22) Data zgłoszenia: **2020.02.04**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2021.08.09 BUP 19/2021**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.02.06 WUP 06/2023**

(51) MKP:

B27K 5/06 (2006.01)

B27M 1/02 (2006.01)

F26B 21/10 (2006.01)

F26B 21/14 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

**SZKOŁA GŁÓWNA GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO W WARSZAWIE, Warszawa, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:

**MAREK GRZEŚKIEWICZ, Warszawa, PL
JANUSZ ZAWADZKI, Warszawa, PL
MICHAŁ DROŻDŻEK, Warszawa, PL
PAWEŁ KOZAKIEWICZ, Warszawa, PL
AGNIESZKA LASKOWSKA, Żąbki, PL
ANDRZEJ RADOMSKI, Warszawa, PL
JAKUB GAWRON, Łąjski, PL
OLGA BYTNER, Warszawa, PL**

(74) Pełnomocnik:

Anna Rożkowicz, Wrocław, PL

(54) Tytuł:

Sposób modyfikacji drewna

PL 242309 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób modyfikacji drewna.

Modyfikacja termiczna drewna jest techniką obróbki drewna polepszającą znaczną część jego właściwości. W wyniku modyfikacji termicznej poprawiają się takie parametry drewna jak stabilność wymiarowa i odporność biologiczna. Proces ten powoduje także ciemnienie drewna i zmniejszenie jego wilgotności równoważnej. Modyfikacja termiczna drewna nie wiąże się z wprowadzaniem do drewna jakichkolwiek związków chemicznych.

Jest wiele publikacji w stanie techniki poświęconych wpływowi intensywności warunków modyfikacji termicznej drewna na właściwości materiału, ale znacznie mniej jest doniesień dotyczących wpływu atmosfery, środowiska modyfikacji, na końcowe właściwości drewna. Oczywistym jest, że skład chemiczny środowiska modyfikacji wpływa bezpośrednio na reakcje zachodzące podczas termicznej modyfikacji drewna, co przekłada się na ostateczne właściwości wytworzonego produktu. Modyfikację należy prowadzić w atmosferze o niskiej zawartości tlenu, w celu zapobieżenia zapłonowi drewna. Z tego względu zaleca się prowadzenie modyfikacji termicznej w atmosferze obojętnej (gazy spalinowe oraz azot), para przegrzana, olej, lub podciśnieniu (Militz H. 2002: Heat treatment of wood: European Processes and their background, Document No. IRG/WP 02-40241. The International Research Group on Wood Preservation, Cardiff, Wales; Allegretti O., Brunetti M., Cuccui I., Ferrari S., Nocetti M., Terziev N. 2012: Thermovacuum modification of spruce (*Picea abies* Karst.) and fir (*Abies albamill.*) wood, *Bio-resources* 7 (3): 3656-3669; Surini T., Charrier F., Malvestio J., Charrier B., Moubarik A., Castéra P. 2012: Physical properties and termite durability of maritime pine *Pinus pinaster* Ait., heat-treated under vacuum pressure, *Wood Science and Technology* 46 (1-3): 487-501).

Najbardziej powszechną modyfikacją drewna realizowaną w warunkach przemysłowych jest obecnie proces prowadzony w atmosferze pary przegrzanej Thermowood® (Finlandia), Plato (Holandia). Ponadto na świecie modyfikuje się drewno w atmosferze azotu tzw. proces „Rectification” (Francja), drewna mokrego w atmosferze pary tzw. proces „Bois Perdue” (Francja) oraz w oleju roślinnym tzw. proces OHT (Niemcy) (Safin R., Barcik S., Shaikhutdinova A., Safina A., Kaynov P., Razumov E. 2015: Development of the energy-saving technology of thermal modification of wood in saturated steam, *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen* 57(2): 39-47; Sailer M., Rapp A.O., Leithoff H., Peek R.D. 2000: Upgrading of wood by application of an oil-heat treatment, *HOLZ ALS ROH-UND WERKSTOFF* 58 (1-2): 15-22; Militz H. 2002: Heat treatment of wood: European Processes and their background, Document No. IRG/WP 02-40241. The International Research Group on Wood Preservation, Cardiff, Wales).

Proces wysokotemperaturowej modyfikacji drewna w atmosferze ditlenku węgla oraz urządzenia do tego celu opisany jest w patencie PL 229941 (B1).

W stanie techniki znany jest proces modyfikacji drewna prowadzony w atmosferze azotu dla drewna o wilgotności około 12%. Odbywa się on w zakresie temperatur między 200°C a 240°C (przy zawartości tlenu poniżej 2%) (Duchez L., Guyonnet R. 2002: Principles and applications of wood retification. 5th World Conference on Timber Engineering, Montreux, Switzerland, pp. 648-653).

Proces termozagęszczania zamieszczony w patencie PL215663 opisany jest jako sposób dwuetapowej modyfikacji drewna modyfikowanego termicznie w parze wodnej przegrzanej. Dokument patentowy PL215663 dostarcza sposób modyfikacji drewna polegający na termomechanicznym zagęszczeniu drewna poprzez stopniowe prasowanie, z zastosowaniem impulsów prasujących, stopniowo redukujących grubości prasowanych elementów. Powyższy proces modyfikacji można stosować dla drewna naturalnego, drewna parzonego, warzonego czyli modyfikowanego termicznie w atmosferze pary przegrzanej i gorącej wody.

W praktyce przemysłowej takie modyfikacje wykonuje się w komorach zwanych parzelniami wysokotemperaturowymi. Na rynku amerykańskim funkcjonuje rozwiązanie ujawnione w publikacji US2005/0006004, w którym przedstawiono sposób wytwarzania cienkowarstwowych produktów z drewna topolowego (na przykład forniru i paneli kompozytowych), wykorzystując w procesie technologicznym działanie kombinacji pary, ciepła i modyfikacji termomechanicznej. W wyniku działania zastosowanych warunków uzyskuje się materiały o wysokiej gęstości i wytrzymałości.

Z dokumentu PL 420137 (A1) znane są wyroby, które są produkowane w postaci desek podłogowych warstwowych z warstwą wierzchnią z drewna szlachetnego zagęszczoną termomechanicznie poprzez walcowanie gorącymi walcami. To zgęszczenie ma charakter powierzchniowy.

Procesy modyfikacji termomechanicznej drewna obejmują etap wstępnego ogrzewania drewna w celu rozmiękczenia ligniny, co skutkuje często zmianami barwy drewna, zasadniczego prasowania i obróbki końcowej mającej na celu nadanie odpowiedniej wilgotności materiałowi oraz redukcję redeformacji sprężystych.

Ze stanu techniki znana jest obróbka termomechaniczna drewna o niskiej gęstości, poniżej 500 kg/m^3 (Kutnar A., Kamke F.A. 2012: Influence of temperature and steam environment on set recovery of compressive deformation of wood, *Wood Science and Technology* 46(5): 953–964; Tu D., Su X., Zhang T., Fan W., Zhou Q. 2014: Thermo-mechanical densification of *Populus tomentosa* var. *tomentosa* with low moisture content, *BioResources* 9(3): 3846–3856; Zhan J.-F., Avramidis S. 2014: Needle fir wood modified by surface densification and thermal post-treatment: Hygroscopicity and swelling behavior, *European Journal of Wood and Wood Products* 74(1): 49–56).

Prowadzone są również badania nad zagęszczaniem drewna o wysokiej gęstości np. drewna buka w celu uzyskania jeszcze wyższych właściwości mechanicznych (Blomberg J., Persson B., Blomberg A. 2005: Effects of semiisostatic densification of wood on the variation in strength properties with density, *Wood Science and Technology* 39(5): 339–350; Rautkari L., Properzi M., Pichelin F., Hughes M. 2010: Properties and set-recovery of surface densified Norway spruce and European beech, *Wood Science and Technology* 44(4): 679–691; Gašparik M., Gaff M., Šafaříková L., Vallejo C.R., Svoboda T. 2016: Impact bending strength and Brinell hardness of densified hardwoods, *BioResources* 11(4): 8638–8652).

Z publikacji Ülker i in. (Ülker O., Imirzi Ö., Burdurlu E. 2012: The effect of densification temperature on some physical and mechanical properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), *BioResources* 7(4): 5581–5592) znana jest technologia obróbki termomechanicznej grubych sortymentów drewna sosny (*Pinus sylvestris* L.) tj. o grubości 50 mm. Obróbkę prowadzono w trzech etapach, w prasie hydraulicznej, w warunkach laboratoryjnych. W pierwszym etapie drewno ogrzewano do założonej temperatury 120°C , 140°C i 160°C . W drugim etapie zagęszczano drewno do uzyskania stopnia sprasowania na poziomie 50%. Po uzyskaniu założonej grubości drewna utrzymywano próbkę między ogrzewanymi półkami prasy celem zminimalizowania efektu zmian wymiarowych drewna po procesie obróbki. Wykazano, że najwyższą wytrzymałością na zginanie statyczne, wytrzymałością na ściskanie i ścinanie charakteryzowało się drewno modyfikowane termomechanicznie w temperaturze 120°C . Natomiast najwyższą wartość twardości mierzonej w kierunku promieniowym i stycznym uzyskano dla temperatury obróbki termomechanicznej 140°C .

Znana jest również metoda modyfikacji termomechanicznej drewna prowadzona w trzech etapach przez Fang i in. (Fang Ch.-H., Mariotti N., Cloutier A., Koubaa A., Blanchet P. 2012: Densification of wood veneers by compression combined with heat and steam. *European Journal of Wood and Wood Products* 70(1–3): 155–163). Przeprowadzili oni zagęszczanie drewna topoli (*Populus tremuloides*) i topoli hybrydy (*Populus maximowiczii* * *Populus balsamifera*) w postaci fornirów w trakcie trzyetapowego procesu z wykorzystaniem pary wtryskiwanej przez otwory w płytach. Modyfikacje przeprowadzono w temperaturach 140°C , 160°C , 180°C , 200°C i 220°C w czasie 30 min, w prasie hydraulicznej, w warunkach laboratoryjnych. W wyniku przeprowadzonego procesu otrzymano forniry ciemniejsze, o mniejszej higroskopijności, wyższej twardości (2–3 razy wyższa twardość niż drewna kontrolnego), wyższej wytrzymałości na zginanie statyczne i wyższym module sprężystości. Najmniejsze redeformacje sprężyste wystąpiły w przypadku fornirów ogrzanych do temperatury 220°C .

Znamienne dla procesów modyfikacji termomechanicznej opisywanych w stanie techniki są wysokie temperatury w czasie procesu prasowania (Fang Ch.-H., Mariotti N., Cloutier A., Koubaa A., Blanchet P. 2012: Densification of wood veneers by compression combined with heat and steam. *European Journal of Wood and Wood Products* 70(1–3): 155–163; Tu D., Su X., Zhang T., Fan W., Zhou Q. 2014: Thermo-mechanical densification of *Populus tomentosa* var. *tomentosa* with low moisture content, *BioResources* 9(3): 3846–3856; Ülker O., Hizioglu S. 2017: Some Properties of Densified Eastern Redcedar as Function of Heat and Pressure. *Materials* 10(11): 1275), które przy aplikacjach przemysłowych mogą stwarzać niebezpieczne sytuacje podczas otwierania prasy wysokich ciśnień takie jak: wyrzucanie elementów w wyniku działania rozprężającej się pary wodnej i gazów powstałych w czasie termicznego rozkładu drewna. Innym problemem procesów wysokotemperaturowych prasowania drewna w przypadku ich praktycznego stosowania jest redukcja poziomu wilgotności drewna, poniżej wymaganej wilgotności w wyrobie finalnym. Drewno wymaga wtórnego nawilżenia, co w przypadku materiałów zagęszczonych jest procesem długotrwałym i trudnym do przeprowadzenia ze względu na zmniejszoną porowatość drewna.

Ponadto pomimo wielu zalet proces termicznej modyfikacji drewna może wpływać niekorzystnie na niektóre właściwości mechaniczne drewna. Po modyfikacji termicznej drewna wzrasta jego twardość (określona dla wilgotności mniejszej niż wilgotność drewna naturalnego, kontrolnego), jednak część jego właściwości mechanicznych może ulec obniżeniu. Należy tu wymienić wytrzymałość na zginanie oraz wytrzymałość na ścinanie. Wielkość zmian wymienionych właściwości zależy od warunków prowadzonego procesu modyfikacji, które powinny być odpowiednio dobrane.

Celem wynalazku było opracowanie sposobu modyfikacji drewna rozwiązującego występujące w stanie techniki problemy.

Przedmiotem wynalazku jest sposób modyfikacji drewna plantacyjnego lub dzikorosnącego, obejmujący następujące etapy, w których: drewno poddaje się modyfikacji termicznej w środowisku azotu w zakresie temperatur od 160°C do 190°C w czasie nie przekraczającym 6 godzin, a następnie drewno poddaje się modyfikacji termomechanicznej, w czasie której zagęszcza się drewno zmodyfikowane termicznie, przy czym proces obróbki termomechanicznej obejmuje etap ogrzewania drewna w prasie hydraulicznej lub w urządzeniu zewnętrznym, zagęszczania drewna w prasie hydraulicznej, z zastosowaniem stopniowego, wieloimpulsowego prasowania, oraz chłodzenia drewna poza prasą.

Korzystnie, fazę modyfikacji prowadzi się w temperaturze 190°C w czasie 6 h.

Korzystnie, obróbkę termomechaniczną drewna prowadzi się w zakresie temperatur od 70°C do 140°C i w zakresie odkształceń względnych od 5% do 60% w całej objętości.

Korzystnie, drewno prasuje się w zakresie temperatur od 80°C do 120°C.

Korzystnie, czas ogrzewania i zagęszczania drewna wynosi od 2 min do 200 min.

Korzystnie, drewno prasuje się stosując jednostkowe ciśnienie prasowania od 0,5 N/mm² do 50 N/mm².

Korzystnie, drewno prasuje się w kierunku prostopadłym do włókien w całej objętości.

Korzystnie, po modyfikacji termicznej w środowisku azotu i termozagęszczaniu drewna surowiec chłodzi się w temperaturze 18°C – 23°C, przy wilgotności względnej powietrza 60% – 70%.

Sposób modyfikacji drewna według wynalazku jest dwuetapowy i polega na przeprowadzeniu w zoptymalizowanych warunkach, w zależności od gatunku drewna, procesu modyfikacji termicznej a następnie modyfikacji termomechanicznej. W pierwszym etapie procesu drewno poddaje się modyfikacji termicznej w środowisku azotu. Drugi etap to modyfikacja termomechaniczna tzw. zagęszczanie termicznie zmodyfikowanego w azocie drewna. Drewno zagęszcza się termomechanicznie poprzez stopniowe prasowanie, z zastosowaniem impulsów prasujących, stopniowo redukujących grubości prasowanych elementów.

Procesowi modyfikacji według wynalazku można poddawać zarówno drewno liściaste jak i drewno iglaste. Można też do tego celu stosować drewno plantacyjne np. topolowe w celu poprawy jego właściwości. Drewno plantacyjne ze względu na szybszy wzrost w stosunku do drewna z naturalnych lasów charakteryzuje się obniżonymi właściwościami mechanicznymi, co można poprawić poprzez modyfikację drewna. Stosując modyfikację dwuetapową wg wynalazku tj. termiczną w atmosferze azotu i termomechaniczną, z drewna topolowego uzyskuje się materiał o atrakcyjnym wyglądzie, stabilny wymiarowo, o mniejszych różnicach barwy w przypadku drewna z przebarwieniami, zwiększonej gęstości i w przypadku zastosowania łagodnych parametrów modyfikacji termicznej i stopniowego prasowania można uzyskać poprawę właściwości mechanicznych, jak na przykład w zakresie modułu sprężystości przy zginaniu. Tym samym zwiększa się potencjalny obszar zastosowań drewna topolowego.

Drewno modyfikowane termicznie w środowisku azotu zabarwia się i nabiera lepszych właściwości w relacjach z wodą, charakteryzuje się mniejszą wilgotnością równoważną i niższym skurczem i spęgnięciem liniowym. Drewno modyfikowane termicznie w środowisku azotu ma nieco odmienny skład w stosunku do drewna wygrzewanego w atmosferze pary wodnej. Dla takiej samej temperatury modyfikacji oraz czasu wygrzewania w przypadku środowiska azotu zachodzą mniejsze zmiany w składzie chemicznym drewna. Zawartość hemiceluloz jest większa, ubytek celulozy jest mniejszy, w mniejszym stopniu zmienia się stopień polimeryzacji celulozy, która w dużej mierze odpowiada za właściwości wytrzymałościowe drewna. Modyfikacja drewna w środowisku azotu mniej destrukcyjnie wpływa na drewno, jest ono mniej kruche. Ma to szczególne znaczenie w przypadku grubszych sortymentów, które poddawane są zagęszczaniu.

Modyfikację termiczną należy prowadzić na wysuszonym drewnie. Proces suszenia najlepiej prowadzić w zakresie temperatur 105°C – 140°C, nie wpływa na strukturę drewna. W tym zakresie temperatur jest jedynie odprowadzana wilgoć przez parowanie. Natomiast sam proces modyfikacji termicznej

może być prowadzony w następującym zakresie temperatur: 160°C – 220°C (Ferrari S., Cuccui I., Allegretti O. 2013: Thermo-vacuum Modification of some European Softwood and Hardwood Species Treated at Different Conditions, *Bioresources* 8 (1): 1100–1109), 180°C – 250°C (Pétrissans M., Pétrissans A., Gérardin P. 2013: Pore size diameter, shrinkage and specific gravity evolution during the heat treatment of Wood, *Innovation In Woodworking Industry And Engineering Design* 1(3): 18–24), 180°C – 260°C (Hill C.A.S. 2006: Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, UK), w czasie od 45 min do 5 h (Ferrari S., Cuccui I., Allegretti O. 2013: Thermo-vacuum Modification of some European Softwood and Hardwood Species Treated at Different Conditions, *Bioresources* 8 (1): 1100–1109), od 24 h do 62 h (Oliver-Villanueva J.V., Gascón-Garrido P., Ibiza-Palacios M. de S. 2013: Evaluation of thermally-treated wood of beech (*Fagus sylvatica* L.) and ash (*Fraxinus excelsior* L.) against Mediterranean termites (*Reticulitermes* spp.). *European Journal of Wood and Wood Products* 71: 391–393). Czas utrzymywania maksymalnej temperatury modyfikacji wynosi od 2 h do 4 h (Zauer M., Kretzschmar J., Großmann L., Pfriem A., Wagenführ A. 2014: Analysis of the pore-size distribution and fiber saturation point of native and thermally modified wood using differential scanning calorimetry. *Wood Science and Technology* 48: 177–193). Dodatkowo proces modyfikacji może być prowadzony pod zmniejszonym ciśnieniem: 160, 210, lub 330 mbar (Ferrari S., Cuccui I., Allegretti O. 2013: Thermo-vacuum Modification of some European Softwood and Hardwood Species Treated at Different Conditions, *Bioresources* 8 (1): 1100–1109).

Po modyfikacji termicznej w azocie drewno, nawilżone w końcowej fazie procesu, ogrzewa się wstępnie poza prasą hydrauliczną, w zewnętrznych urządzeniach grzewczych np. z wykorzystaniem generatora wielkiej częstotliwości lub ogrzewania kontaktowego, tak by zwiększyć wydajność procesu prasowania.

Modyfikacja termomechaniczna polega na ogrzaniu drewna np. w prasie, pomiędzy gorącymi półkami, w przypadku cienkich sortymentów drewna jak forniry, obłogi lub w zewnętrznym urządzeniu grzewczym w przypadku grubszych sortymentów. Do szybkiego ogrzania drewna można wykorzystać również pola wielkiej częstotliwości lub urządzenia wykorzystujące mikrofałę. Drewno należy ogrzać powyżej temperatury mięknienia ligniny. Drewno prasuje się stopniowo, pulsacyjnie, tak by w wyniku prasowania spowodować złożenie struktury drewna bez powodowania nadmiernej destrukcji drewna.

W sposobie według wynalazku, drewno wybranych gatunków po modyfikacji termicznej w azocie w zoptymalizowanych warunkach (w zakresie temperatur 160°C–200°C) poddawane jest kolejno następującym po sobie cyklom obróbki termomechanicznej. Parametry prowadzenia procesu ustala się w zależności od oczekiwanego efektu, tj. założonej poprawy właściwości drewna takich jak twardość, wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na zginanie, chropowatość oraz oczekiwanego lub akceptowanego stopnia zmiany barwy drewna.

Znamienne dla procesu wg wynalazku jest stosowanie niskich temperatur prasowania dla drewna na poziomie 80°C – 120°C po modyfikacji termicznej w azocie. Drewno ogrzane i prasowane ma cechy materiału sprężystego i plastycznego. Według niniejszego wynalazku drewno prasuje się w całej objętości i w wyniku prasowania uzyskuje się homogeniczne profile gęstości.

Drewno po obróbce termicznej w azocie stosuje się o tak dobranej wilgotności początkowej, by po zakończeniu procesu prasowania posiadało ono wilgotność zbliżoną do wilgotności równoważnej w wyrobie finalnym.

Po ostudzeniu drewna i określeniu jego wilgotności, drewno, w sytuacjach kiedy jest to wymagane, nawilża się do wilgotności równoważnej dla warunków eksploatacji wyrobu gotowego.

W wyniku zastosowanej obróbki uzyskuje się stopień sprasowania drewna od 3% do 50%. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że drewno modyfikowane termicznie w atmosferze azotu, następnie poddane wieloimpulsowej obróbce termomechanicznej charakteryzuje się znacznym wzrostem gęstości, twardości, wytrzymałości na ściskanie, wytrzymałości na zginanie statyczne i modułu sprężystości, spadkiem chropowatości w porównaniu do drewna kontrolnego. Cechy te są istotne w przypadku wytwarzania materiałów podłogowych i konstrukcyjnych. Prasowane drewno może być również stosowane jako warstwy wierzchnie elementów podłogowych np. warstwowych desek podłogowych, materiałów podłogowych z podłożem z litego drewna, obłogów, sklejki i płyt HDF. Wytworzone zgodnie z wynalazkiem materiały drzewne można wykorzystać do systemów ogrzewania podłogowego i wykończenia elementów meblowych o zwiększonych wymaganiach, co do parametrów techniczno-użytkowych powierzchni np. płyt roboczych lub płyt wierzchnich jak również elementów stosowanych w budownictwie np.: okładziny ścienne i sufitowe, listwy przypodłogowe i elementy konstrukcyjne. Dodatkowym efektem obróbki termomechanicznej w podwyższonych temperaturach jest zmiana barwy

drewna przejawiająca się jego ściemnieniem tj. obniżeniu parametru jasności drewna, przy czym zmiana barwy jest większa w przypadku stosowania wyższych temperatur w czasie wygrzewania i prasowania drewna.

Przedmiotowy wynalazek dostarcza nieoczekiwane rozwiązanie w postaci udoskonalonej technologii, która łączy oba procesy, dzięki czemu uzyskuje się drewno modyfikowane o nowych, pożądanych właściwościach. Proces pozwala na uzyskanie większej wydajności materiałowej wynikającej z mniejszej kruchości drewna.

Zakres otrzymanych właściwości drewna jest bardzo szeroki, dotąd nieosiągalny w przypadku stosowania niezależnie etapów modyfikacji termicznej bądź modyfikacji termomechanicznej.

Rozwiązanie pozwala na otrzymanie drewna o poprawionych właściwościach fizycznych i mechanicznych, a jednocześnie umożliwia łatwe dostosowanie parametrów obróbki do odmiennych gatunków drewna o różnych właściwościach. Wyższa sprężystość, twardość, niższa wilgotność równoważna drewna, lepsze przewodzenie ciepła to cechy kluczowe drewna modyfikowanego sposobem wg wynalazku. Obserwowalny jest wzrost gęstości i modułu sprężystości drewna modyfikowanego sposobem wg wynalazku o kilkanaście do kilkudziesięciu procent w stosunku do naturalnego drewna jak w przypadku drewna dębowego, bukowego, jesionu, sosny. W przypadku drewna dębowego zagęszczonego do gęstości 900–1000 kg/m³ twardość wzrasta dwukrotnie. Ponadto, wynalazek pozwala na uzyskanie atrakcyjnego w wyglądzie, łatwego w utylizacji, ekologicznego materiału bez dodatków chemicznych, ograniczającego zużycie kleju i materiałów wykańczających.

Sposób modyfikacji drewna wg wynalazku przedstawiono na poniższych przykładach.

Przykład 1

Wysuszone i ostrugane dwustronnie drewno topoli czarnej (*Populus nigra* L.), w postaci cienkich desek o grubości 20 mm, poddano modyfikacji termicznej w środowisku azotu. Zasadnicza faza modyfikacji była prowadzona w zakresie temperatur 160°C – 200°C, w czasie od 2 h do 10 h. W wyniku takiej modyfikacji drewna topoli nastąpił niewielki spadek gęstości, który nie przekroczył 5% w stosunku do masy drewna natywnego. Równocześnie w wyniku modyfikacji otrzymano lepsze właściwości sorpcyjne modyfikowanego drewna, do których należy znaczące zmniejszenie dynamiki pęcznienia drewna w kierunku promieniowym i stycznym. Mniejsze jest również jednostkowe spęczenie całkowite które zmalało od 1 do nawet 3 punktów procentowych w kierunku stycznym. Szybkość nasiąkania również uległa zmniejszeniu, co przekłada się na trzykrotnie mniejszą wilgotność drewna po 24 godzinach moczenia w wodzie. Obniżyła się także wartość wilgotności równoważnej od 2 do 4 punktów procentowych. Równocześnie zmianom uległy właściwości mechaniczne drewna. Nastąpił minimalny wzrost wytrzymałości na ściskanie (w zakresie od 1 do 4 MPa). Obniżeniu uległa wytrzymałość na zginanie statyczne maksymalnie o 30% oraz modułu sprężystości o 10% (przy wyższej temperaturze modyfikacji termicznej tj. ponad 190°C). Po zakończonym procesie wygrzewania w końcowej fazie procesu (w podwyższonej temperaturze) drewno było nawilżone z wykorzystaniem pary mokrej do poziomu wilgotności ok. 7%. Korzyścią jest skrócenie całkowitego czasu procesu modyfikacji termicznej. Po ostruganiu do grubości ok. 16 mm drewno wtórnie ogrzano, w zewnętrznym urządzeniu grzewczym do temp. ok. 95°C. Ogrzane elementy wprowadzono pomiędzy gorące półki prasy wysokich ciśnień o temperaturze 95°C. Drewno poddano stopniowemu zagęszczaniu, z wykorzystaniem trzech impulsów prasujących, do zadanych poziomów grubości 13, 10 i 7 mm. Po procesie prasowania elementy uległy częściowej redeformacji sprężystej. Poprzedzająca modyfikacja termiczna drewna topoli w środowisku azotu pozwala na uzyskanie większej wydajności w czasie termomechanicznego zagęszczania drewna.

Po wyjęciu z prasy deski schłodzono w całej objętości do temperatury ok. 20°C a następnie deski poddano szlifowaniu kalibrującemu do grubości 8,5 mm. W ten sposób uzyskano elementy drewna topolowego, modyfikowanego termicznie w środowisku azotu i zagęszczone termo-mechanicznie, mające zastosowanie między innymi jako materiały podkładowe do zastosowania w warstwowych elementach posadzkowych. Sposób umożliwia uzyskanie substytutu ciemnego drewna egzotycznego bez dodatkowych środków chemicznych.

Przykład 2

Drewno sosny (*Pinus sylvestris* L.) poddano procesowi modyfikacji termicznej w atmosferze azotu w dwóch różnych wariantach przez 6 h, różniących się temperaturą maksymalną procesu: 160°C lub 190°C. Modyfikacji poddano próbki z drewna sosnowego o tej samej średniej gęstości w obrębie wskazanych wariantów. Trzecia grupa próbek (niemodyfikowanych termicznie) stanowiła grupę kontrolną. W wyniku modyfikacji termicznej w atmosferze azotu drewno sosnowe korzystnie wyrównało swoją

barwę, wyraźnie ciemniejąc (upodabniając się barwą do szlachetnego drewna orzechowego). Nasyce nie końcowej barwy (ciemny brąz) było dodatnio skorelowane z temperaturą modyfikacji. Oprócz walorów estetycznych materiał drzewny musi spełniać szereg wymagań w zakresie właściwości fizycznych i mechanicznych oraz obróbczych. Modyfikacja termiczna drewna w temperaturach 160°C i 190°C spowodowała nieznacznie obniżenie gęstości rzędu 2% – 5% oraz nie spowodowała spadku modułu sprężystości. Istotnemu zmniejszeniu uległa wytrzymałość na zginanie tj. od 2% do maksymalnie 20%. Modyfikacja termiczna drewna sosnowego w atmosferze azotu w wybranym zakresie temperatur nie wpływa w istotny sposób na jego właściwości obróbcze i podatność na klejenie klejami poliuretanowymi i polioctanowinyłowymi, a także aplikację środków malarsko-lakierniczych. W przypadku klejów na bazie wody np. klejów polioctanowinyłowych należy stosować ich odmiany do klejenia drewna, które w mniejszym stopniu pochłania wodę. W przypadku aplikacji materiałów wykończeniowych lakierniczych i olejowosków nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy wykańczaniem naturalnego drewna i drewna modyfikowanego termicznie, poza tym, że trzeba uwzględnić większą porowatość drewna modyfikowanego termicznie i zwiększyć ilość naniesienia materiałów wykończeniowych. Korzystne dla obróbki drewna jest zmniejszenie poziomu żywicy w drewnie modyfikowanym termicznie. Drewno modyfikowane termicznie w opisanych wyżej warunkach charakteryzowało się też wysoką stabilnością barwy (po 100 godzinach naświetlania promieniami UV zmiana barwy modyfikowanego termicznie drewna nie była zauważalna dla niedoświadczonego obserwatora). Twardość drewna na przekrojach wzdłużnych w stosunku do twardości drewna kontrolnego uległa obniżeniu z wartości 27 MPa dla drewna kontrolnego do 24 MPa (modyfikacja w temp. 160°C) i 21 MPa (modyfikacja w temp. 190°C). Uszlachetnianie powierzchni drewna modyfikowanego termicznie w środowisku azotu lakierowaniem i olejowaniem nie wpływało na twardość drewna.

Drewno sosnowe wykazuje pełną przydatność do zagęszczania termomechanicznego. Modyfikacja termiczna drewna sosnowego w azocie poprzedzająca termomechaniczne zagęszczanie pozwala na uzyskanie większej wydajności. Drewno sosnowe kontrolne oraz modyfikowane na trzech różnych poziomach temperatur można stopniowo zagęścić, dwoma impulsami prasującymi, z grubości początkowej, nominalnej 20 mm do grubości końcowej ok. 14 mm $\pm$ 2 mm (różny poziom redeformacji sprężystych, najmniejszy dla drewna modyfikowanego w temperaturze 220°C). Prasowanie polega na ogrzaniu drewna w całej objętości, w temp. ok. 100°C w czasie 30 min, w celu rozmiękczenia ligniny a następnie stopniowemu, dwu impulsowemu prasowaniu elementów o grubości nominalnej 20 mm do grubości 17 mm $\pm$ 2 mm i końcowej grubości ok. 14 mm $\pm$ 2 mm. Wilgotność drewna prasowanego, wcześniej sezonowanego w klimacie zimowym typowym dla pomieszczeń z centralnym ogrzewaniem w strefie klimatu umiarkowanego (temperatura 20°C i wilgotność względna powietrza 35%), wynosiła 7,5% dla drewna kontrolnego, 6,1% dla drewna modyfikowanego w temp. 160°C i 4,6% dla drewna modyfikowanego w temp. 190°C. W czasie termomechanicznego zagęszczania drewna, zmianom grubości elementów z drewna, towarzyszą zmiany jego gęstości z 527 kg/m³ na 743 kg/m³, z 523 kg/m³ na 706 kg/m³, z 510 kg/m³ na 691 kg/m³, odpowiednio dla drewna kontrolnego, modyfikowanego w temperaturze 160°C i 190°C. Zagęszczone drewno charakteryzuje się większą twardością określoną metodą Brinella, odpowiednio, jak wcześniej: 40 MPa, 41 MPa i 36 MPa.

Przykład 3

Drewno daglezji jedlicy (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) z rodziny sosnowatych poddano modyfikacji termicznej w atmosferze pary przegrzanej w warunkach przemysłowych i w atmosferze azotu w warunkach laboratoryjnych, w prototypowej komorze do modyfikacji drewna. Zasadnicza faza procesu modyfikacji termicznej drewna przebiegała w temperaturze 190°C w czasie 6 h. Po procesie modyfikacji termicznej drewno o wilgotności zbliżonej do 0% szczelnie zapakowano w folię aluminiową i schłodzono do temperatury ok. 20°C. Następnie określono wytrzymałość na zginanie i moduł sprężystości drewna. W wyniku badań stwierdzono spadek wytrzymałości na zginanie statyczne z poziomu 88 MPa dla drewna kontrolnego do 72 MPa dla drewna modyfikowanego oraz spadek modułu sprężystości dla drewna modyfikowanego w środowisku pary przegrzanej z poziomu 10 164 MPa dla drewna kontrolnego do 9 850 MPa dla drewna modyfikowanego termicznie. W przypadku drewna daglezji modyfikowanego w środowisku azotu stwierdzono wzrost modułu sprężystości do wartości 10 715 MPa i utrzymanie wytrzymałości na zginanie statyczne na poziomie drewna kontrolnego. Wartości jednostkowego spęczenia liniowego drewna w kierunku promieniowym i stycznym zarówno dla drewna modyfikowanego termicznie w środowisku pary przegrzanej jak i azotu były zbliżone i wynosiły odpowiednio dla kierunku promieniowego 3,0% i 2,9% i dla kierunku stycznego 4,7% i 4,6% (dla drewna kontrolnego były to wartości 4,7% i 5,4%). O łagodniejszych procesach modyfikacji termicznej drewna daglezji

w środowisku azotu może świadczyć parametr jasności barwy L^* , który dla drewna kontrolnego wynosił 71,0; dla drewna modyfikowanego w środowisku azotu 56,6; a dla drewna modyfikowanego w środowisku pary wodnej przegrzanej 48,8.

Przykład 4

Drewno dębu (*Quercus robur* L.), najczęściej stosowane w materiałach podłogowych w Europie na warstwę wierzchnią elementów posadzkowych i do wytwarzania parkietu z drewna litego, wysuszone do wilgotności ok. 8%, w postaci obłogi o grubości 4,8 mm uzyskanego w wyniku rozpiłowania tarcicy, zostało poddane modyfikacji termicznej w środowisku azotu. W zasadniczej fazie modyfikacji zastosowano temperaturę 190°C w czasie 6 h. Drewno to charakteryzowało się niewielkimi zmianami właściwości mechanicznych w stosunku do drewna natywnego (spadek gęstości o 2%, wytrzymałości na zgięcie o 15%, wytrzymałości na ściskanie o 3% oraz brak zmian w zakresie modułu sprężystości). Po zakończeniu procesu drewno nawilżono z wykorzystaniem pary mokrej do wilgotności ok. 8%. Wystudzone obłogi poddano szlifowaniu kalibrującemu do grubości 4,5 mm. Następnie obłogi poddano prasowaniu w prasie hydraulicznej o maksymalnym nacisku do 50 N/mm². W tym przypadku nie stosowano ogrzewania w specjalnej komorze do wygrzewania drewna poza prasą. Zastosowano ogrzewanie obłogów pomiędzy półkami prasy, których temperatura wynosiła 105°C. Po ogrzaniu obłogów w całej objętości, do stałej temperatury, obłogi poddano 3 stopniowemu zagęszczaniu do zadanych poziomów grubości. W wyniku procesu uzyskano obłogi o grubości ok. 3,7 mm o średniej gęstości 750 kg/m³. W wyniku modyfikacji termicznej zmniejsza się gęstość drewna i w konsekwencji jego twardość. Zagęszczenie obłogów termomechaniczne powoduje wzrost twardości drewna o 40%. Obłogi poddano jednostronnemu szlifowaniu w celu przygotowania do naklejenia na podłoże. Tak modyfikowane obłogi mogą znaleźć zastosowanie jako np. warstwa wierzchnia dwuwarstwowych elementów posadzkowych na podłożu ze sklejki brzozej lub jako okładziny elementów meblowych.

Realizacja wynalazku w zakresie drewna dębowego ma istotny potencjał komercyjny ze względu na fakt, że ten rodzaj drewna cieszy się największym uznaniem wśród użytkowników materiałów posadzkowych. Dzięki termomechanicznemu zagęszczeniu drewna dębowego wcześniej modyfikowanego termicznie w środowisku azotu a następnie jego zagęszczeniu można uzyskać istotny wzrost twardości drewna co przekłada się na wyższe parametry techniczno-użytkowe elementów posadzkowych i dłuży czas eksploatacji wyrobu, co ma znaczenie w przypadku prognozowanej, zmniejszonej podaży drewna dębowego w Europie i wzrostowi cen tego materiału.

Przykład 5

Z zagęszczonego termomechanicznie drewna topoli czarnej (*Populus nigra* L.) i dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.) wcześniej modyfikowanych termicznie w atmosferze azotu, uzyskano elementy posadzkowe, dwuwarstwowe poprzez sklejenie podkładu i warstwy wierzchniej z wykorzystaniem kleju poliuretanowego, a następnie kalibracji uzyskanych elementów do grubości 12 mm. Tak uzyskany materiał posadzkowy charakteryzował się niższą wilgotnością równoważną w stosunku do drewna niemodyfikowanego. Zagęszczenie drewna poprawia również przewodzenie ciepła, dzięki czemu uzyskany materiał może być zastosowany do systemów ogrzewania podłogowego. Łagodny proces modyfikacji termicznej w atmosferze azotu (tj. w temperaturach od 160°C do 190°C w czasie nie przekraczającym 6 godzin) przyczynia się do mniejszej ilości wewnętrznych pęknięć w materiale drzewnym. Stwierdzono również wyższą wydajność materiałową w przypadku elementów modyfikowanych termicznie w środowisku azotu, a następnie zagęszczanych, w czasie ich formatowania (usuwania wybruszonych części brzegowych).

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób modyfikacji drewna plantacyjnego lub dzikorosnącego, obejmujący następujące etapy, w których
 - a) drewno poddaje się modyfikacji termicznej w środowisku azotu w zakresie temperatur od 160°C do 190°C w czasie nie przekraczającym 6 godzin, a następnie
 - b) drewno poddaje się modyfikacji termomechanicznej, w czasie której zagęszcza się drewno zmodyfikowane termicznie, przy czym proces obróbki termomechanicznej obejmuje etap ogrzewania drewna w prasie hydraulicznej lub w urządzeniu zewnętrznym, zagęszczania drewna w prasie hydraulicznej, z zastosowaniem stopniowego, wieloimpulsowego prasowania, oraz chłodzenia drewna poza prasą.

2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że fazę modyfikacji prowadzi się w temperaturze 190°C w czasie 6 h.
3. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że obróbkę termomechaniczną drewna prowadzi się w zakresie temperatur od 70°C do 140°C i w zakresie odkształceń względnych od 5% do 60% w całej objętości.
4. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że drewno prasuje się w zakresie temperatur od 80°C do 120°C.
5. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że czas ogrzewania i zagęszczania drewna wynosi od 2 min do 200 min.
6. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że drewno prasuje się stosując jednostkowe ciśnienie prasowania od 0,5 N/mm² do 50 N/mm².
7. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że drewno prasuje się w kierunku prostopadłym do włókien w całej objętości.
8. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że po modyfikacji termicznej w środowisku azotu i termozagęszczaniu drewna surowiec chłodzi się w temperaturze 18°C – 23°C, przy wilgotności względnej powietrza 60% – 70%.