



## Wielowarstwowy bloczek ścienny izolacyjny oraz sposób jego wykonania

Przedmiotem wynalazku jest wielowarstwowy bloczek ścienny izolacyjny.

Dziedzina gospodarki jaką jest budownictwo odpowiada za 40% światowej emisji gazów cieplarnianych. Na ślad węglowy budynku, w ilości 30- 40% składa się tzw. ślad węglowy wbudowany. Pochodzi on między innymi z produkcji materiałów budowlanych (poziomu zużycia energii i emisji gazów cieplarnianych przy ich produkcji). Założeniem Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Zielonego Ładu jest redukcja emisji gazów cieplarnianych o 55% do 2030 (jeden z pakietów unijnych Fit for 55). Wiąże się to z koniecznością dekarbonizacji różnych sektorów gospodarki, w tym budownictwa. Popularne materiały termoizolacyjne takie jak styropian lub wełna mineralna z uwagi na niskie przewodnictwo ciepłe ograniczają zapotrzebowanie na zużycie energii do ogrzewania w fazie użytkowania budynku, jednak ich produkcja jest energochłonna, w efekcie czego wykazują wysoki ślad węglowy wbudowany. Istotne jest zatem poszukiwanie materiałów budowlanych izolacyjnych, które będą wykazywały wysoką zdolność izolowania termicznego, ale również będą charakteryzowały się zerowym lub ujemnym śladem węglowym wbudowanym. Dobrym rozwiązaniem jest wykorzystanie materiałów opartych na składnikach roślinnych. Przykładem są paździerze konopne pozyskane z łodyg konopi przemysłowych. Konopie w trakcie wzrostu pochłaniają znaczne ilości dwutlenku węgla z atmosfery. Aby uzyskać 1 tonę paździerzy konopnych, roślina w czasie wzrostu pochłania około 1800 kg dwutlenku węgla wg Pervaiz M. *Carbon storage potential in natural fiber Composites, Resources, Conservation and Recycling* 39, 2003, s. 325- 340. Paździerze wykorzystywane są jako kruszywo organiczne kompozytu na bazie wapna (tzw. kompozyt wapienno- konopny), który stosowany jest jako izolacyjne wypełnienie ściennego szkieletu drewnianego. Paździerze charakteryzują się wysoką porowatością rzędu 79% oraz współczynnikiem przewodności cieplnej rzędu 0,049–0,052 W/(m·K) wg Kosiński P. et al. *Thermal Properties of Hemp Shives Used as Insulation Material in Construction Industry, Energies* 15(7), 2461, 2022. Wartości tych parametrów wskazują, że zasadne jest wykorzystanie paździerzy jako materiał termoizolacyjny.

Kompozyt wapienno- konopny oparty jest na spoiwie w postaci wapna hydratyzowanego z dodatkiem materiałów pucolanowych lub hydraulicznych lub na spoiwie w postaci wapna hydraulicznego. Wykorzystywany jest jako izolacja termiczna ścian w postaci monolitycznej (mieszanka układania w deskowaniu tymczasowym) lub w postaci bloczków.

Zgodnie z artykułami Benfratello S. et al. *Thermal and structural properties of a hemp–lime biocomposite*, *Constr. Build. Mater.* 48, 2013, s. 745–754; Walker. R. and Pavia. S. *Moisture transfer and thermal properties of hemp–lime concretes*, *Constr. Build. Mater.* 64, 2014, s. 270–276 oraz Stevulova N. et al. *Lightweight Composites Containing Hemp Hurds*, *Proced. Eng.* 65, 2013, s. 69–74, współczynnik przewodności cieplnej kompozytu wapienno- konopnego, w zależności od m.in. proporcji spoiwa do paździerzy wynosi 0,074–0,138 W/(m·K). W związku z tym, przy grubości warstwy kompozytu około 40 cm możliwe jest spełnienie wymagań cieplnych stawianych przez Warunki Techniczne (WT 2021).

Na podstawie artykułów m.in. Brzyski P. et al. *Influence of Hemp Shives Size on Hygro- Thermal and Mechanical Properties of a Hemp- Lime Composite*, *Materials* 2020, 13(23), 5383 oraz Brzyski P.

et al. *Composite Materials Based on Hemp and Flax for Low- Energy Buildings*, Materials 2017, 10(5), 510, wytrzymałość na ściskanie kompozytów wapienno- konopnych mieści się w przedziale od 0,24 MPa do 0,85 MPa. Wpływ na wytrzymałość ma proporcja wagowa paździerzy do spoiwa, rodzaj spoiwa oraz stopień zagęszczenia. Wraz ze wzrostem wytrzymałości maleje wzrasta, ale jednak wartość współczynnika przewodności cieplnej, co jest niekorzystnym efektem. W przytoczonej literaturze, kompozyt o wytrzymałości 0,70 MPa charakteryzował się dość znaczną wartością współczynnika przewodności cieplnej, rzędu 0,151 W/(m·K). Dlatego też w przypadku kompozytu na bazie wapna, aby uzyskać wytrzymałość, która zapewniałaby możliwość zastosowania go w prefabrykacji, nieunikniony byłoby spadek zdolności izolowania termicznego.

10 Kompozyt wapienno- konopny na bazie wapna hydratyzowanego z dodatkami charakteryzuje się powolnym i nierównomiernym procesem wiązania. Wiązanie i twardnienie następują w wyniku procesu karbonatyzacji. Dostęp do dwutlenku węgla potrzebnego do związania spoiwa mają jedynie przypowierzchniowe warstwy ściany monolitycznej lub bloczka, natomiast wewnętrzne obszary materiału pozostają nieskarbonatyzowane, czego efektem jest ich słaba mechaniczna struktura.

15 Spoiwo to nie jest w związku z tym odpowiednie do zastosowań w prefabrykacji, gdzie istotna jest szybkość wiązania, sztywność, jednorodność pod względem stopnia zaawansowania procesu wiązania na całym przekroju elementu, a także odpowiednia wytrzymałość mechaniczna – kompozyty na bazie wapna mają zbyt małą wytrzymałość, w związku z tym prefabrykaty z nich wytworzone są kruche i łatwo ulegają uszkodzeniom.

20 Alternatywą jest spoiwo magnezowe na bazie kalcynowanego tlenku magnezu oraz soli w postaci sześciowodnego chlorku magnezu. Spoiwo to wiąże i twardnieje na powietrzu. Proces wiązania jest jednorodny na całym przekroju próbki materiału. Jest to spoiwo w wystarczającej wytrzymałości, szybkości wiązania i sztywności, aby zastosować je w prefabrykacji. Wystarczającą wytrzymałość można uzyskać przy zdecydowanie mniejszych gęstościach w porównaniu z kompozytem na bazie wapna, a tym samym przy mniejszych wartościach współczynnika przewodności cieplnej.

25 Przykładem są płyty magnezowe MgO produkcji Geo- Industrial S.A, składające się ze spoiwa magnezowego, włókien celulozowych, perlitu, innych dodatków oraz siatki z włókna szklanego. Płyty o grubości 12 mm osiągają wytrzymałość na zginanie do 16 MPa. Z kolei płyta MgO produkcji Fasada System® przy grubości 10- 12 mm osiąga wytrzymałość na zginanie powyżej 8 MPa. Płyty MgO wykazują również wysoki poziom pH (zasadowy), przez co są odporne na rozwój pleśni. Jest to korzystna właściwość w połączenia spoiwa MgO z paździerzami konopnymi.

Znane są z literatury badania nad kompozytami na bazie paździerzy konopnych i spoiwa magnezowego stosowanymi jako wypełnienie szkieletu drewnianego lub jako prefabrykowane płyty. W pracy autorstwa Zorica J. et al. *Hemp Biocomposite Boards Using Improved Magnesium Oxychloride Cement*, Energies 2022, 15(19), 7320 opisano badania nad płytą opartą na paździerzach i spoiwie zawierającym tlenek magnezu, chlorek magnezu, popiół lotny, nanokrzemionkę, kwas cytrynowy. Autorzy dowiedli, że spoiwo magnezowe jest odpowiednie dla zastosowania w prefabrykowanym płytach na bazie paździerzy. Wytrzymałość na ściskanie kompozytu o gęstości 810- 850 kg/m<sup>3</sup>, po 7 dniach wyniosła 2,6- 3,6 MPa, natomiast po 28 dniach 3,8- 4,8 MPa. Są to wartości znacząco większe niż przytoczone wcześniej wartości wytrzymałości kompozytów na bazie spoiwa

wapiennego. Kompozyt o takiej gęstości charakteryzował się współczynnikiem przewodności cieplnej równym 0,275 W/(m·K). Dzięki podwyższonej wytrzymałości, możliwe jest zredukowanie udziału spoiwa względem paździerzy. W efekcie, kompozyt będzie wykazywał mniejszą gęstość oraz niższe przewodnictwo cieplne, bo jest również istotne w zastosowaniu kompozytu jako materiał izolacyjny ścienny.

W pracy autorstwa M. Sinka et al. *Comparative life cycle assessment of magnesium binders as an alternative for hemp concret*, Resour. Conserv. Recycl. 2018, 133C, 288–299 wykazano, że zmniejszając gęstość kompozytu magnezowo- konopnego do 380 kg/m<sup>3</sup> zredukowano współczynnik przewodności cieplnej do 0,085 W/(m·K), co jest wartością porównywalną do charakterystyki kompozytu wapienno- konopnego, jednak zachowano wytrzymałość na ściskanie około 2- 3 krotnie większą porównując do kompozytu na bazie spoiwa wapiennego, co jest korzystne w prefabrykacyjnych zastosowaniach.

W pracy autorstwa M. Sinka et al. *Bio- based construction panels for low carbon development*, Energy Procedia, 147 (2018), s. 220- 226 zademonstrowano przykład zastosowania kompozytu magnezowo- konopnego w prototypowych wielowarstwowych panelach ściennych opartych na drewnianej ramie. Wewnętrzna warstwa o grubości 50 mm składała się z kompozytu o gęstości 330 kg/m<sup>3</sup> i współczynniku przewodności cieplnej 0,077 W/(m·K), natomiast zewnętrzna warstwa o grubości 30 mm o gęstości 450 kg/m<sup>3</sup>, współczynniku przewodności cieplnej 0,112 W/(m·K) i wytrzymałości na ściskanie 1,2 MPa. Środkowa izolacyjna warstwa o grubości 290 mm składała się z kompozytu o gęstości 210 kg/m<sup>3</sup> i współczynniku przewodności cieplnej 0,062 W/(m·K).

Kompozyty na bazie wapna zawierające paździerze konopne charakteryzują się dobranymi właściwościami związanymi z transportem wilgoci. Przykładowo Łapka et al. *Hygro- thermal characterization of the hemp concrete modified with the gum Arabic admixture*, Constr Build Mater 368 (2023) 130392, Walker i Pavia *Moisture transfer and thermal properties of hemp- lime concretes*, Constr Build Mater 64 (2014) 270- 6 oraz Collet i Pretot *Experimental investigation of moisture buffering capacity of sprayed hemp concret*, Constr Build Mater 36 (2012) 58- 65 raportowali paroprzepuszczalności takich kompozytów w zakresie 2- 7·10<sup>-11</sup> kg/m/s/Pa. W przypadku krzywych sorpcji, kompozyty wapienne mogły wiązać do 0.1 g wody na 1 g suchego materiału przy wilgotności względnej otoczenia równej 90%. Są to duże ilości wody akumulowanej w kompozycie, które pomagają regulować mikroklimat w budynku. Zastosowanie spoiwa magnezowego ma wpływ zarówno na paraprzepuszczalność, jaki i na krzywą sorpcji. Ww. parametry są unikalną cechą zaproponowanego wielowarstwowego bloczka ściennego.

Znane są z opisu zgłoszenia patentowego EP1765560 (A2) bloczki kompozytowe z paździerzy konopnych i wapna stosowane do budowy ścian. Jak również mieszanka kompozytowa z granulowanych konopi, spoiwa wapiennego oraz metakaolinowego i wody. Ochroną kompozytów przed wodą opadową mogą być tynki zewnętrzne lub inne okładziny. Jednakże wykonanie tynku na placu budowy wiąże się z wysoką pracochłonnością oraz wprowadzaniem sporej ilości wody w ułożony wcześniej kompozyt wapienno – konopny.

W opisie patentowym PL241823B1 przedstawiona jest płyta elewacyjno- izolacyjna składająca się z dwóch warstw: wewnętrznej izolacyjnej, wykonanej z kompozytu wapienno- konopnego oraz

z zewnętrznej wykończeniowej, wykonanej z tynku na bazie wapna hydratyzowanego i dodatków/domieszek.

5 W opisie zgłoszenia patentowego EP3277751A1 przedstawiono materiał kompozytowy zawierający konopie lub len połączone żywicą termoplastyczną.

10 Zgodnie z Krajową Oceną Techniczną ICiMB- KOT- 2022/0170 wydanie 1 znane są prefabrykowane elementy termoizolacyjne o nazwie handlowej HEMPCRETE DOMIR będące mieszanką paździerzy konopnych, wapna hydratyzowanego i hydraulicznego w postaci prostopadłościennych bloczków jednowarstwowych w różnych konfiguracjach wymiarowych. Przeznaczone są do wypełnienia ścian w drewnianej konstrukcji szkieletowej.

15 Znane są jednowarstwowe prostopadłościenne bloczki ściennie o nazwie handlowej ISOHEMP, jak również jednowarstwowe bloczki ściennie produkcji firmy Schönthaler oraz bloczki jednowarstwowe BIOSYS, łączone na zaprawę lub pióro wpust w różnych wariantach wymiarowych. Bloczki te oparte są na paździerzach konopnych oraz spoiwie na bazie wapna hydratyzowanego z dodatkami.

20 Niezależnie od rodzaju zastosowanego spoiwa w kompozycie na bazie paździerzy konopnych, stosując ten materiał w postaci monolitycznej na budowie jako wypełnienie szkieletu drewnianego, problemem jest długotrwały proces wysychania ścian, ich twardnienia oraz duża pracochłonność wypełniania ścian. Rozwiązaniem są gotowe elementy ściennie takie jak bloczki, które wbudowywane są w postaci stwardniałej i wysuszonej, a ich wymiary skutkują szybszym wykonaniem 1 m<sup>2</sup> ściany.

25 W przypadku bloczków jednowarstwowych wykonanych z kompozytu wapienno- konopnego, aby uzyskać odpowiednio niską wartość współczynnika przewodności cieplnej, konieczne jest zredukowanie ilości spoiwa, co w przypadku zastosowania jako spoiwa wapna hydratyzowanego skutkuje kruchością materiału, zwłaszcza przy krawędziach bloczków. Rozwiązaniem, które poprawiłoby sztywność bloczków przy możliwie jak największej redukcji ilości spoiwa może być zastosowanie spoiwa magnezowego oraz zastosowanie dodatkowych warstw zewnętrznych o większej gęstości i wytrzymałości. Warstwy zewnętrzne będą zabezpieczały lekką, izolacyjną warstwę środkową przed uszkodzeniami np. w transporcie i podczas wbudowywania w ścianę. Dodatkowo warstwa usytuowana od wewnątrz z uwagi na podwyższoną gęstość oraz pojemność 30 ciepłą poprzez zastosowanie materiału zmiennofazowego może pełnić funkcję akumulacyjną i stabilizującą temperaturę wewnątrz budynku, poprawiając stateczność ciepłą pomieszczeń. Z kolei zewnętrzna warstwa, również wykonana z kompozytu o większej gęstości, z uwagi na mniejszą porowatość niż izolacyjna warstwa środkowa, może stanowić dodatkowe zabezpieczenie przed przemoczeniem wodą deszczową warstwy izolacyjnej. Brakuje na rynku bloczków wielowarstwowych, 35 zawierających warstwy o różnych parametrach, pełniących różne funkcje.

40 Problemem technicznym do rozwiązania jest wykonanie prefabrykowanego bloczka wielowarstwowego ściennego izolacyjnego przeznaczonego zwłaszcza do wypełnienia drewnianego szkieletu ściennego. Jedna warstwa bloczków ma zapewniać spełnienie wymagań cieplnych stawianych przez Warunki Techniczne ( $U \leq 0,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ). Bloczki mają zapewniać łączenie na spoinę

poziomą i pionową ciepłochronną opartą np. na spoiwie wapiennym, kruszywie w postaci perlitu ekspandowanego oraz paździerzy konopnych drobnej frakcji (długość max. 5 mm).

Przedmiotem wynalazku jest wielowarstwowy bloczek ścienny izolacyjny wykonany z tlenku magnezu, paździerzy konopnych, roztworu wodnego chlorku magnezu, kwasu cytrynowego i wody wodociągowej oraz sposób jego wykonania. Istotą prefabrykowanego bloczka wielowarstwowego ściennego izolacyjnego **jest to, że** składa się z:

a. warstwy wewnętrznej o grubości od 0,15 do 0,175 grubości całego bloczka oraz o podwyższonej gęstości, zagęszczonej w kierunku prostopadłym do podstawy warstwy, składającej się z:

- 10 – paździerzy konopnych w ilości od 130 kg/m<sup>3</sup> do 135 kg/m<sup>3</sup>, korzystnie 132,5 kg/m<sup>3</sup>;
- tlenku magnezu MgO w ilości od 240,5 kg/m<sup>3</sup> do 249,8 kg/m<sup>3</sup>, korzystnie 245,1 kg/m<sup>3</sup>;
- roztworu wodnego chlorku magnezu w stosunku masowym 1:1, w ilości od 151,5 kg/m<sup>3</sup> do 157,3 kg/m<sup>3</sup>, korzystnie 154,4 kg/m<sup>3</sup>;
- kwasu cytrynowego w ilości od 1,203 kg/m<sup>3</sup> do 1,249 kg/m<sup>3</sup>, korzystnie 1,226 kg/m<sup>3</sup>;
- 15 – materiału zmiennofazowego - PCM o temperaturze przemiany fazowej od 18 do 28 st. C, korzystnie od 21 do 25 st. C w ilości od 24,1 kg/m<sup>3</sup> do 25 kg/m<sup>3</sup>, korzystnie 24,5 kg/m<sup>3</sup>,  
przy czym do produkcji pierwszej warstwy wykorzystano wodę wodociągową w ilości od 214,5 kg/m<sup>3</sup> do 222,8 kg/m<sup>3</sup>, korzystnie 218,6 kg/m<sup>3</sup>

b. warstwy środkowej o grubości od 0,675 do 0,725 grubości całego bloczka oraz o obniżonej gęstości, zagęszczonej w kierunku prostopadłym do podstawy warstwy, składającej się z:

- 20 – paździerzy konopnych w ilości od 115 kg/m<sup>3</sup> do 120 kg/m<sup>3</sup>, korzystnie 117,5 kg/m<sup>3</sup>;
- tlenku magnezu MgO w ilości od 77,1 kg/m<sup>3</sup> do 80,4 kg/m<sup>3</sup>, korzystnie 78,7 kg/m<sup>3</sup>;
- roztworu wodnego chlorku magnezu w stosunku masowym 1:1, w ilości od 48,5 kg/m<sup>3</sup> do 50,7 kg/m<sup>3</sup>, korzystnie 49,6 kg/m<sup>3</sup>;
- 25 – kwasu cytrynowego w ilości od 0,385 kg/m<sup>3</sup> do 0,402 kg/m<sup>3</sup>, korzystnie 0,394 kg/m<sup>3</sup>,  
przy czym do produkcji drugiej warstwy wykorzystano wodę wodociągową w ilości od 215,1 kg/m<sup>3</sup> do 224,4 kg/m<sup>3</sup>, korzystnie 219,75 kg/m<sup>3</sup>

c. warstwy zewnętrznej o grubości od 0,125 do 0,15 grubości całego bloczka oraz o podwyższonej gęstości, zagęszczonej w kierunku prostopadłym do podstawy warstwy, składającej się z:

- 30 – paździerzy konopnych w ilości od 130 kg/m<sup>3</sup> do 135 kg/m<sup>3</sup>, korzystnie 132,5 kg/m<sup>3</sup>;
- tlenku magnezu MgO w ilości od 240,5 kg/m<sup>3</sup> do 249,8 kg/m<sup>3</sup>, korzystnie 245,1 kg/m<sup>3</sup>;
- roztworu wodnego chlorku magnezu w stosunku masowym 1:1 w ilości od 151,5 kg/m<sup>3</sup> do 157,3 kg/m<sup>3</sup>, korzystnie 154,4 kg/m<sup>3</sup>;
- kwasu cytrynowego w ilości od 1,203 kg/m<sup>3</sup> do 1,249 kg/m<sup>3</sup>, korzystnie 1,226 kg/m<sup>3</sup>,  
35 przy czym do produkcji trzeciej warstwy wykorzystano wodę wodociągową w ilości od 223,6 kg/m<sup>3</sup> do 232,2 kg/m<sup>3</sup>, korzystnie 227,9 kg/m<sup>3</sup>

tudzież włókna paździerzy konopnych ułożone są równolegle do docelowej powierzchni zewnętrznej bloczka.

Korzystnie w każdej z trzech warstw długość paździerzy konopnych wynosi od 5 do 30 mm.

Wskazane jest również, gdy zagęszczenie warstwy środkowej jest mniejsze niż warstwy wewnętrznej i zewnętrznej.

Istotą sposobu wykonania prefabrykowanego wielowarstwowego bloczka ściennego izolacyjnego poprzez łączenie i utwardzanie poszczególnych warstw **jest to, że**

5 przygotowuje się materiał wewnętrznej warstwy, w ten sposób, że:

- miesza się paździerze konopne z wodą masowo w stosunku 1:1,
- nasączone paździerze miesza się z tlenkiem magnezu,
- przygotowuje się roztwór chlorku magnezu rozpuszczając chlorek magnezu w wodzie w stosunku masowym 1:1, po czym rozpuszcza się w nim kwas cytrynowy i miesza się z materiałem zmiennofazowym PCM,
- 10 – otrzymany roztwór dodaje się do mieszanki paździerzy i tlenku magnezu, po czym miesza się wszystkie składniki,
- dodaje się pozostałą część wody i miesza aż do uzyskania homogenicznej mieszanki.

Dodatkowo przygotowuje się materiał środkowej warstwy, w ten sposób, że:

- 15 – miesza się paździerze konopne z wodą masowo w stosunku 1:1,
- nasączone paździerze miesza się z tlenkiem magnezu,
- przygotowuje się roztwór chlorku magnezu rozpuszczając chlorek magnezu w wodzie w stosunku masowym 1:1 po czym rozpuszcza się w nim kwas cytrynowy,
- otrzymany roztwór dodaje się do mieszanki paździerzy i tlenku magnezu, po czym miesza się wszystkie składniki,
- 20 – dodaje się pozostałą część wody i miesza aż do uzyskania homogenicznej mieszanki.

Przygotowuje się materiał zewnętrznej warstwy, w ten sposób, że:

- miesza się paździerze konopne z wodą masowo w stosunku 1:1,
- nasączone paździerze miesza się z tlenkiem magnezu,
- 25 – przygotowuje się roztwór chlorku magnezu rozpuszczając chlorek magnezu w wodzie w stosunku masowym 1:1 po czym rozpuszcza się w nim kwas cytrynowy,
- otrzymany roztwór dodaje się do mieszanki paździerzy i tlenku magnezu, po czym miesza się wszystkie składniki,
- dodaje się pozostałą część wody i miesza aż do uzyskania homogenicznej mieszanki.

30 Wkłada i zagęszcza się warstwy w następującej kolejności:

Układa się pierwszą część wewnętrznej warstwy i zagęszcza się ją poprzez nacisk płytą z siłą w zakresie od 5 do 5,5 kN/m<sup>2</sup> do uzyskania grubości od 0,75 do 0,83 grubości warstwy wewnętrznej.

Następnie wsypuje się luźną drugą część wewnętrznej warstwy o docelowej grubości od 0,17 do 0,25 warstwy wewnętrznej oraz pierwszą część warstwy środkowej o docelowej grubości od 0,24 do 0,26 grubości warstwy środkowej.

W dalszej kolejności zagęszcza się poprzez nacisk płytą z siłą od 3,8 do 4,2 kN/m<sup>2</sup> luźno usypaną drugą część warstwy wewnętrznej wraz z pierwszą częścią warstwy środkowej o docelowej grubości od 0,24 do 0,26 grubości warstwy środkowej,

40 Następnie zasypuje się kolejne części, warstwy środkowej każda o docelowej grubości od 0,24 do 0,26 grubości warstwy środkowej i zagęszcza się je poprzez nacisk płytą z siłą od 3,8 do 4,2 kN/m<sup>2</sup>.

W dalszej kolejności zasypuje się luźną ostatnią część warstwy środkowej o docelowej grubości od 0,03 do 0,04 warstwy środkowej.

Następnie układa się warstwę zewnętrzną o docelowej grubości od 0,125 do 0,15 grubości całego bloczka i zagęszcza się ją wraz z wcześniej usypaną luźną ostatnią częścią warstwy środkowej o docelowej grubości od 0,03 do 0,04 warstwy środkowej, poprzez nacisk płytą z siłą w zakresie od 5 do 5,5 kN/m<sup>2</sup>. Wszystkie warstwy zagęszczane są w kierunku prostopadłym do docelowej powierzchni zewnętrznej bloczka.

Wielowarstwowy bloczek ścienny izolacyjny w przykładzie wykonania przedstawiono na schematycznym rysunku, na którym poszczególne figury przedstawiają:

Fig. 1 – Wielowarstwowy bloczek ścienny izolacyjny w widoku izometrycznym,

Fig. 2 – Wielowarstwowy bloczek ścienny izolacyjny w widoku izometrycznym z zaznaczoną kolejnością układania warstw.

Zaletą trójwarstwowego układu, spośród którego jedna warstwa zawiera materiał zmienno-fazowy jest to, że bloczek może być układany w płaszczyźnie poziomej w dwóch kierunkach. W zależności od oczekiwanych rezultatów związanych z magazynowaniem ciepła oraz w zależności od charakterystyki pracy zastosowanego PCM, warstwa zawierająca PCM może być wyeksponowana na zewnątrz lub do wewnątrz pomieszczenia. Jeżeli materiał zmiennofazowy będzie w warstwie zewnętrznej należy użyć PCM o temperaturę przemiany fazowej od 0 do 20 st. C, korzystnie od 5 do 15 st. C.

#### Przykład wykonania

Do wytworzenia mieszank na wielowarstwowy bloczek izolacyjny zastosowano:

- Odpad przemysłu rolniczego – paździerz konopne odmiany Białoברzeskie, które zostały wyprodukowane przez firmę Podlaskie Konopie. „Białoברzeskie” jest to odmiana dopuszczona na rynku polskim, nie zawierająca substancji psychoaktywnej THC w ilościach większych niż 0,2% w suchej masie kwiatu, przy czym kwiat nie jest wykorzystywany do produkcji mieszank kompozytu. Długość paździerzy mieści się w przedziale od 5 do 30 mm. Paździerze zostały oczyszczone z nadmiaru włókna i pyłu.
- Tlenek magnezu kaustyczny kalcynowany o zawartości MgO 78%, CaO 6%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2,7%, SiO<sub>2</sub> 6%. Charakteryzuje się wskaźnikiem pH 12, gęstością nasypową 0,7- 0,8 kg/dm<sup>3</sup>, początkiem czasu wiązania od 20 do 250 min i końcem czasu wiązania od 40 do 280 min (produkcji GrayWolf W. Szwaja).
- Sześciowodny chlorek magnezu MgCl<sub>2</sub>×6H<sub>2</sub>O w płatkach zawierający 47 % MgCl<sub>2</sub>. Charakteryzuje się wskaźnikiem pH max. 8. Wyprodukowany przez firmę GrayWolf W. Szwaja.
- kwas cytrynowy (produkcji Biomus). Został zastosowany jako opóźniacz czasu wiązania.
- mikrokapsułki PCM (materiał zmiennofazowy produkcji MikroCaps). Zostały zastosowane w jednej z warstw w celu podniesienia zdolności akumulowania ciepła przez kompozyt. Jest to bezformaldehadowa, skoncentrowana wodna dyspersja wosku parafinowego w mikrokapsułkach.

Zawartość PCM w dyspersji to 41- 45% wagowo. Zawartość PCM w suchej kapsułce to 82- 86% wagowo. Zawartość suchej masy w dyspersji: 49- 52% wagowo. Obszar topnienia PCM to 21- 25°C. Pojemność cieplna (suszonych mikrokapsulek) to 140- 175 J/g.

– wodę wodociągową.

5 Składniki ilościowe potrzebne do wykonania trzech mieszanek do produkcji wielowarstwowego bloczka ściennego izolacyjnego przedstawiono w Tabelach 1- 3. Przedstawiono przykłady mieszanek opierające się na różnych zawartościach paździerzy, ponieważ paździerze konopne są materiałem niejednorodnym i w zależności od partii dostawy (zróżnicowane rozmiary paździerzy), ich gęstość nasypowa może się różnić. Ilości pozostałych składników przyjęte zostały jako proporcja masowa  
10 w stosunku do masy paździerzy.

Przyjęto następującą kolejność dodawania składników do mieszalnika przy wykonywaniu próbek kompozytu stanowiącego poszczególne warstwy:

15 W pierwszej kolejności wymieszano paździerze konopne z częścią wody (masowo w stosunku 1:1). Miało to na celu ograniczenie efektu wchłaniania wody potrzebnej do prawidłowego zajścia procesu wiązania. Następnie wymieszano nasączone paździerze z tlenkiem magnezu. Kolejno  
20 przygotowano roztwór chlorku magnezu oraz rozpuszczono w nim kwas cytrynowy (w mieszance na warstwę wewnętrzną dodano również PCM i wymieszano). Otrzymany roztwór dodano do mieszanki paździerzy i tlenku magnezu, po czym wymieszano. W ostatnim etapie dodano pozostałą część wody i mieszano aż do uzyskania homogenicznej mieszanki. Do przygotowania mieszanki wykorzystano  
25 mieszalnik o pojemności 600 l, z pionową osią obrotu, o mocy 4,5 kW. Próbkę zagęszczano warstwowo elementem o powierzchni 50 mm x 50 mm, warstwami o grubości nieprzekraczającej 50 mm. Kierunek zagęszczanie próbek był prostopadły do największej powierzchni próbki. Próbkę kompozytu stanowiącego warstwę wewnętrzną i zewnętrzną w docelowym wielowarstwowym bloczku zagęszczano siłą w zakresie 13 - 14 N czyli 5 - 5,5 kN/m<sup>2</sup>, natomiast próbki kompozytu stanowiącego  
30 warstwę środkową w docelowym bloczku zagęszczano siłą w zakresie 10 - 11 N, czyli 3,8 - 4,2 kN/m<sup>2</sup>. Po zagęszczeniu próbek, zdjęto boczne ścianki formy, a próbki pozostawiono do wysychania w warunkach naturalnych pod zadaszeniem.

Po upływie 28 dni wykonano badania cech fizycznych i mechanicznych trzech warstw kompozytu, których wyniki przedstawiono w Tabelach 4- 6.

30 Gęstość objętościową zbadano zgodnie z normą PN- EN 12390- 7. Przed pomiarami próbki wysuszono do stałej masy. Próbkę o nominalnych wymiarach 100 mm x 100 mm x 100 mm zmierzono za pomocą suwmiarki z dokładnością do 0,1 mm. Przy pomocy wagi laboratoryjnej próbki zostały zważone z dokładnością do 0,5 g. Gęstość objętościową obliczono jako masę w stanie suchym podzieloną przez objętość próbki. Wynikiem była średnia z pomiarów trzech próbek.

35 Do wyznaczenia przewodności cieplnej badanych próbek użyto aparat Bocka – Lasercomp FOX314. Badanie polegało na umiejscowieniu próbki o wymiarze 50 mm x 250 mm x 250 mm w aparacie, pomiędzy płytą chłodzącą, a grzewczą. Pomiar polega na wyznaczeniu energii przekazywanej przez badany materiał od płyty grzejnej do chłodnicy po uzyskaniu przez górną i dolną płytę stałej, określonej temperatury. Ustawiono na płycie chłodnicy temperaturę równą 0°C, a na płycie

grzejnej 25°C dla wszystkich próbek. Przepływ ciepła podczas badania następował równolegle do kierunku zagęszczania. Wynik stanowił średnia z pomiarów trzech próbek.

5 Badanie nasiąkliwości polegało na zanurzeniu w wodzie próbek sześciennych o wymiarach 100 mm × 100 mm × 100 mm i pomiarze przyrostu masy w określonych odstępach czasu, aż do momentu braku przyrostu masy. Wynik stanowi procentowa zawartość wody w próbce względem jej masy w stanie stałym. Do badań wykorzystano po trzy próbki z każdej receptury. Wynikiem była średnia z pomiarów trzech próbek.

10 Test wzrostu kapilarnego przeprowadzono na próbkach o wymiarach: 60 mm × 120 mm × 240 mm. Podstawa próbki miała wymiary 60 mm x 120 mm. Przed badaniem próbki suszono do stałej masy. Następnie boczne powierzchnie próbek zabezpieczono dyspersyjną masą asfaltowo-  
15 kauczukową (Disprobit, Tytan) w celu ograniczenia parowania wody i zapewnienia, że jedynie podstawa próbek będzie wchłaniała wodę. Po wyschnięciu masy asfaltowo- gumowej próbki ponownie zważono. Próbki zanurzano w wodzie na głębokość około 10 mm. Następnie próbki ważono w określonych odstępach czasu aż do ustabilizowania masy. Przed pomiarem masy próbki  
20 odpowiednio odsączono, a następnie wytarto w celu usunięcia nadmiaru wody z zewnętrznych powierzchni próbek. Jako miarodajny wynik przedstawiono wartość współczynnika podciągania kapilarnego po 24 godzinach absorpcji. Wynikiem była średnia z pomiarów trzech próbek.

Badanie wytrzymałości na ściskanie wykonano przy wykorzystaniu prasy hydraulicznej MTS 809. Podczas testu rejestrowano siłę ściskającą oraz przemieszczenie głowicy. Siłę przyłożono w kierunku  
25 prostopadłym do kierunku zagęszczania. Przyjęto przemieszczenie głowicy ściskającej równe 5 mm/min. Do badań kompozytu na bazie paździerzy wykorzystano po 3 próbki o wymiarach 100 mm × 100 mm × 100 mm z każdej receptury (z trzech warstw). Wynikiem była średnia z pomiarów trzech próbek.

Badanie wytrzymałości na rozciąganie metodą trójpunktowego zginania wykonano przy  
25 wykorzystaniu prasy hydraulicznej MTS 809. Przyjęto przemieszczenie głowicy równe 0,5 mm/min. Przemieszczenie głowicy było liczone od momentu przyłożenia siły (kontaktu rolki z próbka), dlatego też wartość przemieszczenia można traktować jako wartość ugięcia próbki. Podczas testu rejestrowano siłę oraz przemieszczenie głowicy. Siłę przyłożono w kierunku prostopadłym do kierunku zagęszczania. Do badań wykorzystano po 3 próbki o wymiarach 100 mm × 100 mm × 500 mm  
30 z każdej receptury (z trzech warstw). Wynikiem była średnia z pomiarów trzech próbek.

Następnie wykonano wielowarstwowy bloczek ścienny izolacyjny charakteryzujący się wymiarami: a = 400 mm, b = 600 mm, h = 240 mm (Fig. 1). Bloczki składają się z trzech warstw o różnych grubościach: warstwy wewnętrznej w1 = 60 mm, warstwy środkowej w2 = 290 mm warstwy zewnętrznej w3 = 50 mm (Fig. 1). Kolejność dozowania składników do przygotowania mieszanek na  
35 poszczególne warstwy była taka sama jak w przypadku przygotowania próbek kompozytu do badań, opisana wyżej. Bloczek uformowano w rozbieralnej formie z ze sklejki wodoodpornej. Warstwy bloczka są zagęszczane płytą ze sklejki wodoodpornej o wymiarze przekroju poprzecznego 120 mm × 120 mm o różnej sile w zależności od danej warstwy. Kierunek zagęszczania był prostopadły do powierzchni bloczka o wymiarach b x h. Na Fig. 2 przedstawiono schematycznie  
40 kolejność dozowanych warstw. Można ją opisać następująco (opis cyfr od 1 do 8):

1+2: Warstwa wewnętrzna o grubości 60 mm: W pierwszej kolejności ułożona i zagęszczona siłą 72 - 80 N, 5 - 5,5 kN/m<sup>2</sup> warstwa 1 o docelowej grubości 50 mm, następnie wsypana luźno warstwa 2 o docelowej grubości 10 mm.

5 3-7: Warstwa środkowa o grubości 290 mm: W pierwszej kolejności ułożona i zagęszczona siłą 55- 60 N, czyli 3,8- 4,2 kN/m<sup>2</sup> warstwa o grubości około 75 mm wraz z luźną warstwą 2 o grubości 10 mm. Następnie zasypywane i zagęszczane w docelowej grubości warstwy 75 mm siłą 55 - 60 N, czyli 3,8 - 4,2 kN/m<sup>2</sup>, aż do uzyskania grubości 280 mm. Następnie zostaje luźno usypana warstwa 7 o docelowej grubości 10 mm.

10 8: Warstwa zewnętrzna o grubości 50 mm zostaje ułożona i zagęszczona siłą 72 - 80 N, 5 - 5,5 kN/m<sup>2</sup>. Następnie, bezpośrednio po zakończeniu procesu zagęszczania zdjęto ściany boczne formy, a uformowany bloczek odstawiono na podstawie do wysychania w warunkach naturalnych pod zadaniem. W procesie zagęszczania, celowe jest pozostawienie 10 mm warstwy luźnej 2 i 7 oraz zagęszczenie ich wraz z warstwą kolejną/ poprzednią, w celu skuteczniejszego przewiązania warstw z materiałów o różnej zawartości spoiwa.

15

Tabela 1 – Składniki ilościowe potrzebne do wykonania wewnętrznej warstwy bloczka

Składnik	Przykład 1	Przykład 2	Przykład 3
Paździerze konopne (kg/m <sup>3</sup> )	130,0	132,5	135,0
MgO (kg/m <sup>3</sup> )	240,5	245,1	249,8
Roztwór H <sub>2</sub> O + MgCl <sub>2</sub> w stosunku masowym 1:1 (kg/m <sup>3</sup> )	151,5	154,4	157,3
Woda (kg/m <sup>3</sup> )	214,5	218,6	222,8
Kwas cytrynowy (kg/m <sup>3</sup> )	1,203	1,226	1,249
PCM (kg/m <sup>3</sup> )	24,1	24,5	25,0

Tabela 2 – Składniki ilościowe potrzebne do wykonania środkowej warstwy bloczka

Składnik	Przykład 1	Przykład 2	Przykład 3
Paździerze konopne (kg/m <sup>3</sup> )	115,0	117,5	120,0
MgO (kg/m <sup>3</sup> )	77,1	78,7	80,4
Roztwór H <sub>2</sub> O + MgCl <sub>2</sub> w stosunku masowym 1:1 (kg/m <sup>3</sup> )	48,5	49,6	50,7
Woda (kg/m <sup>3</sup> )	189,8	193,9	198,0
Kwas cytrynowy (kg/m <sup>3</sup> )	0,385	0,394	0,402

20

Tabela 3 – Składniki ilościowe potrzebne do zewnętrznej warstwy bloczka

Składnik	Przykład 1	Przykład 2	Przykład 3
Paździerze konopne (kg/m <sup>3</sup> )	130,0	132,5	135,0
MgO (kg/m <sup>3</sup> )	240,5	245,1	249,8
Roztwór H <sub>2</sub> O + MgCl <sub>2</sub> w stosunku masowym 1:1 (kg/m <sup>3</sup> )	151,5	154,4	157,3
Woda (kg/m <sup>3</sup> )	223,6	227,9	232,2
Kwas cytrynowy (kg/m <sup>3</sup> )	1,203	1,226	1,249

Tabela 4 – Właściwości kompozytu stanowiącego warstwę wewnętrzną bloczka

Parametr	Rodzaj kompozytu		
	Przykład 1	Przykład 2	Przykład 3
Gęstość objętościowa (kg/m <sup>3</sup> )	434	441	447
Porowatość całkowita (%)	77,6	77,8	77,9
Współczynnik przewodności cieplnej (W/(m·K))	0,103	0,106	0,108
Nasiąkliwość masowa (%)	84,7	85,5	86,1
Współczynnik podciągania kapilarnego po 24 godzinach (kg/(m <sup>2</sup> ·h <sup>0,5</sup> ))	2,72	2,78	2,83
Współczynnik przepuszczalności pary wodnej (kg/m/s/Pa)	7,21·10 <sup>-11</sup>	4,52·10 <sup>-11</sup>	6,65·10 <sup>-11</sup>
Zawartość wilgoci w warunkach równowagi z otoczeniem o temperaturze 23°C i wilgotności względnej 90% (g wody / g suchego kompozytu)	0,3237	0,3237	0,3237
Wytrzymałość na ściskanie (MPa)	1,38	1,41	1,43
Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu (MPa)	0,41	0,43	0,44

Tabela 5– Właściwości kompozytu stanowiącego warstwę środkową bloczka

Parametr	Rodzaj kompozytu		
	Przykład 1	Przykład 2	Przykład 3
Gęstość objętościowa (kg/m <sup>3</sup> )	205	212	217
Porowatość całkowita (%)	87,8	88,0	88,1
Współczynnik przewodności cieplnej (W/(m·K))	0,065	0,067	0,068
Nasiąkliwość masowa (%)	158,4	157,5	157,0
Współczynnik podciągania kapilarnego po 24 godzinach (kg/(m <sup>2</sup> ·h <sup>0,5</sup> ))	3,29	3,23	3,20
Współczynnik przepuszczalności pary wodnej (kg/m/s/Pa)	1,07·10 <sup>-10</sup>	1,07·10 <sup>-10</sup>	8,95·10 <sup>-11</sup>
Zawartość wilgoci w warunkach równowagi z otoczeniem o temperaturze 23°C i wilgotności względnej 90% (g wody / g suchego kompozytu)	0,3903	0,3903	0,3903
Wytrzymałość na ściskanie (MPa)	0,18	0,19	0,19
Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu (MPa)	0,071	0,074	0,076

Tabela 6 – Właściwości kompozytu stanowiącego warstwę zewnętrzną bloczka

Parametr	Rodzaj kompozytu		
	Przykład 1	Przykład 2	Przykład 3
Gęstość objętościowa (kg/m <sup>3</sup> )	452	460	468
Porowatość całkowita (%)	77,3	77,5	77,6
Współczynnik przewodności cieplnej (W/(m·K))	0,112	0,114	0,115
Nasiąkliwość masowa (%)	82,6	83,4	83,9
Współczynnik podciągania kapilarnego po 24 godzinach (kg/(m <sup>2</sup> ·h <sup>0,5</sup> ))	2,51	2,55	2,57
Współczynnik przepuszczalności pary wodnej (kg/m/s/Pa)	7,28·10 <sup>-11</sup>	4,59·10 <sup>-11</sup>	6,73·10 <sup>-11</sup>
Zawartość wilgoci w warunkach równowagi z otoczeniem o temperaturze 23°C i wilgotności względnej 90% (g wody / g suchego kompozytu)	0,3557	0,3557	0,3557
Wytrzymałość na ściskanie (MPa)	1,45	1,48	1,5
Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu (MPa)	0,48	0,5	0,51

W przypadku mieszanek konopnych układanych monolitycznie w deskowaniu ściennym, mieszanka zagęszczana jest równoległe do wysokości ściany i prostopadle do przepływu ciepła przez ścianę, przy czym kierunek przepływu ciepła jest prostopadły do zewnętrznej/wewnętrznej powierzchni ściany. W rozwiązaniu z niniejszego wynalazku przyjęto sposób zagęszczania w kierunku prostopadłym do kierunku wbudowania bloczka w ścianę i w równoległym do przepływu ciepła w realnych warunkach pracy bloczka w ścianie. Stosując takie rozwiązanie włókna paździerzy konopnych mają tendencję do układania się prostopadle (w poprzek) do kierunku zagęszczania oraz do kierunku przepływu ciepła. Kompozyty na bazie paździerzy konopnych wykazują właściwości anizotropowe. Takie ułożenie paździerzy w bloczku jest korzystniejsze z uwagi na obniżone przewodnictwo cieplne. Zgodnie z wynikami badań współczynnika przewodności cieplnej kompozytów wchodzących w skład proponowanego bloczka, współczynnik lambda kompozytu zagęszczanego równoległe do przepływu ciepła był niższy o 17% w porównaniu z kierunkiem prostopadłym. Analogię i potwierdzenie można zauważyć w normie *PN- EN ISO 10456 Materiały i wyroby budowlane - Właściwości cieplno- wilgotnościowe - Tabelaaryczne wartości obliczeniowe i procedury określania deklarowanych i obliczeniowych wartości cieplnych*. Zgodnie z jej treścią, wartość współczynnika lambda materiału włóknistego jakim jest drewno sosnowe jest niższa w przypadku przepływu ciepła w poprzek włókien w porównaniu z przepływem wzdłuż włókien. Rozwiązanie to pozwala na redukcję grubości warstw bloczka. Zgodnie z przeprowadzonymi badaniami, takie ułożenie paździerzy konopnych skutkuje również większą sztywnością materiału, przy obciążaniu w kierunku prostopadłym do kierunku zagęszczania, a więc zgodnym z pracą statyczną bloczka wbudowanego w ścianę. Kierunek zagęszczania w stosunku do wymiarów bloczka przedstawiono na Fig. 2.

RZECZNIK PATENTOWY  
*Maciej Nowicki*  
mgr inż. Maciej Nowicki  
Nr wp. 3476