

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR THE CONSTRUCTION OF CLEAN AND ENERGY EFFICIENT HOUSES WITH COMPOSITE FILLING TIMBER FRAME

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ДОМОВ С КОМПОЗИТНЫМИ НАПОЛНЯЕМЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ

OPRACOWANIE TECHNOLOGII BUDOWY DOMÓW EKOLOGICZNYCH I ENERGOOSZCZĘDNYCH Z KOMPOZYTÓW WYPEŁNIAJĄCYCH SZKIELET DREWNIANY

Volume II/ Том II/ Tom II



Editing/ Редакция/ Redakcja
Viktar Tur

Pope John Paul II State School of Higher Education in Biała Podlaska
Государственная высшая школа им. Папы Римского Иоанна Павла II в городе Бяла-Подляска
Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej

**DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR THE CONSTRUCTION
OF CLEAN AND ENERGY EFFICIENT HOUSES
WITH COMPOSITE FILLING TIMBER FRAME**

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА
ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ДОМОВ
С КОМПОЗИТНЫМИ НАПОЛНЯЕМЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ**

**OPRACOWANIE TECHNOLOGII BUDOWY DOMÓW
EKOLOGICZNYCH I ENERGOOSZCZĘDNYCH
Z KOMPOZYTÓW WYPEŁNIAJĄCYCH SZKIELET DREWNIANY**

Volume II/ Том II/ Tom II

**WYNIKI BADAŃ DOTYCZĄCE OPRACOWANIA
PODSTAWOWEGO SKŁADU UTWARDZACZA
Z DODATKIEM LNU**

**Editing/ Редакция/ Redakcja
Viktar Tur**

Biała Podlaska 2015/ г. Бяла-Подляска 2015

Publisher/ Издатель/ Wydawca

Pope John Paul II State School of Higher Education in Biała Podlaska
Государственная высшая школа им. Римского Папы Иоана Павла II в городе Бяла-Подляска
Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej

Reviewers/ Рецензенты/ Recenzenci

prof. zw. dr hab. inż. Vadzim Nikitsin
prof. zw. dr hab. inż. Mikhaïl Hrytsuk
prof. nadzw. dr hab. inż. Stanisław Fic

Translation/ Перевод/ Tłumaczenie

Anna Bogusz, Jakub Karbowski, Maciej Szelaĝ

Proof and editing/ Корректурa и редакция/ Korekta i redakcja

Anna Bogusz, Paulina Rynkiewicz

© Copyright by Państwowa Szkoła Wyższa
im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej

ISBN 978-83-64881-11-4

Edition/ Тираж/ Nakład: 150 egzemplarzy

Number of printed sheets/ Количество страниц/

Liczba arkuszy wydawniczych: 6,5

The publication is distributed free of charge

Издание распространяется бесплатно

Publikacja dystrybuowana bezpłatnie

Publishing House PSW JPII
Sidorska 95/97, room 334R
21-500 Biała Podlaska
www.pswbp.pl

Издательство ВГШ ИП II
ул. Сидорска 95/97, к. 334R
21-500 Бяла-Подляска
www.pswbp.pl

Wydawnictwo PSW JPII
ul. Sidorska 95/97, p. 334R
21-500 Biała Podlaska
www.pswbp.pl

Cover design, composition and printing

Проект обложки, техническая обработка и печать

Projekt okładki, skład i druk

Agencja Reklamowa TOP, ul. Toruńska 148, 87-800 Włocławek,
tel.: 54 423 20 40, fax: 54 423 20 80, www.agencjatorp.pl

The publication was established in the framework of the project "Development of technology for the construction of clean and energy efficient houses with composite filling timber frame". Project is financed by the European Union within European Neighborhood and Partnership Instrument, Cross Border Cooperation Programme Poland-Belarus-Ukraine 2007–2013, Priority 2. Improving the quality of life, Measure 2.1. Natural environment protection in the borderland, according to the agreement No. IPBU.02.01.00-06-704/11-00. Responsibility for the content of this publication lies entirely on the side of Pope John Paul II State School of Higher Education in Biala Podlaska and State Technical University in Brest, and it can not under any circumstances be regarded as reflection of the European Union's position.

Публикация создана в рамках проекта, озаглавленного «Разработка технологии для строительства экологически чистых и энергоэффективных домов с композитными наполняемыми конструкциями». Проект софинансированный средствами Европейского Союза в рамках Европейского инструмента соседства и партнерства, Программа трансграничного сотрудничества Польша-Белорусь-Украина 2007–2013, Приоритет 2. Исправление качества жизни, Круг деятельности 2.1. Охрана окружающей среды территории пограничья, согласно договору № IPBU.02.01.00-06-704/11-00. Ответственность за содержание настоящей публикации лежит исключительно на стороне Государственной высшей школы им. Римского Папы Иоана Павла II в городе Бяла-Подляска, а также Брестского государственного технического университета и ни в коем случае не является отражением ответственности Европейского Союза.

Publikacja powstała w ramach projektu nt. „Opracowanie technologii budowy domów ekologicznych i energooszczędnych z kompozytów wypełniających szkielet drewniany”. Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Instrumentu Sąsiedztwa i Partnerstwa, Program Współpracy Transgranicznej Polska-Białoruś-Ukraina 2007–2013, Priorytet 2. Poprawa jakości życia, Działanie 2.1. Ochrona środowiska naturalnego w obszarze przygranicznym, zgodnie z umową nr IPBU.02.01.00-06-704/11-00. Odpowiedzialność za zawartość tej publikacji leży wyłącznie po stronie Państwowej Szkoły Wyższej im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej oraz Państwowego Uniwersytetu Technicznego w Brześciu i nie może być w żadnym wypadku traktowana jako odzwierciedlenie stanowiska Unii Europejskiej.

TABLE OF CONTENTS

INTRODUCTION.	11
I. EXPERIMENTAL STUDY ON THERMOINSULATING COMPOSITES WITH ORGANIC FIBROUS FILLERS AND LIME BINDER IN THE HARDENING PROCESS, WITHOUT AUTOCLAVE METHOD	17
1.1 Testing methodology	18
1.2 Program of research	20
1.3 Materials. Characteristics and properties	22
1.4 Production and storage of test samples.....	30
1.5 Testing methods	38
1.6 The results of experimental tests and their analysis. Characteristics of obtained composites	42
1.7 Recommendations for the use of the developed and tested composites ..	46
1.8 Technological scheme of wooden wall panels' production with composite fillers	50
II. ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF INSULATING WALL MATERIALS COMPARATIVE ANALYSIS.....	53
CONCLUSION	58

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	13
----------------	----

I. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ КОМПОЗИТОВ С ОРГАНИЧЕСКИМИ ФИБРОВЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ И ИЗВЕСТКОВЫМИ ВЯЖУЩИМИ НЕАВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ.....	60
1.1 Методика проведения исследований.....	61
1.2 Экспериментальная программа	63
1.3 Материалы. Характеристики и свойства.....	66
1.4 Изготовление и хранение опытных образцов	74
1.5 Методы проведения исследований	83
1.6 Результаты экспериментальных исследований и их анализ. Характеристики полученных составов	87
1.7 Рекомендации по применению композитов разработанных и исследованных составов.....	91
1.8 Технологическая схема производства стеновых панелей из древесины с композитным заполнением	94

II. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНЫХ СТЕНОВЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	97
--	-----------

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	103
------------------	-----

SPIS TREŚCI

WSTĘP	15
I. BADANIA EKSPERYMENTALNE DOTYCZĄCE EKOLOGICZNYCH KOMPOZYTÓW TERMOIZOLACYJNYCH ZAWIERAJĄCYCH ORGANICZNE WYPEŁNIACZE FIBROWE ORAZ SPOIWA WAPIENNE W PROCESIE TWARDNIENIA BEZ UŻYCIA METODY AUTOKLAWOWEJ	
1.1 Metodyka przeprowadzenia badań	105
1.2 Program eksperymentalny	106
1.3 Materiały. Charakterystyka i właściwości	111
1.4 Produkcja i przechowywanie próbek do badań	118
1.5 Metody przeprowadzania badań	127
1.6 Wyniki badań eksperymentalnych i ich analiza. Charakterystyka otrzymanych komponentów	131
1.7 Zalecenia dotyczące użycia opracowanych i zbadanych mieszanek	135
1.8 Schemat technologiczny produkcji drewnianych paneli ściennych z wypełniaczem kompozytowym	138
II. EKONOMICZNA I ŚRODOWISKOWA ANALIZA PORÓWNAWCZA EFEKTYWNOŚCI ŚCIENNYCH MATERIAŁÓW TERMOIZOLACYJNYCH	
	141
ZAKOŃCZENIE	146

Introduction

The publication includes research carried out at the State Technical University in Brest in the framework of the project “Development of technology for the construction of clean and energy efficient houses with composite filling timber frame”, No. IPBU.02.01.00-06-704/11-00, in the period from December 2013 to November 2015. The research were conducted in the laboratory of the State Technical University in Brest, under the direction of Prof. PhD Eng. Viktor Tur, Deputy Project Manager.

The research team consisted of experts:

- Assistant Prof. PhD W.W. Żuk,*
- Assistant Prof. PhD Eng. T.Ł. Szalobyta,*
- Senior Lecturer A.I. Pikuła,*
- Project Manager D.G. Makaruk.*

The monograph is second part of composites’ research on the base of the flax filler. The first part developed in Pope John Paul II State School of Higher Education in Biała Podlaska contains studies and guidelines on the application of composites with fibrous hemp shives filler. Research and technological guidelines made at the State Technical University in Brest may be helpful in the implementation of ecological and energy-efficient buildings for a wide application.

The authors of the studies make up thanks to Rector, prof. Piotr S. Pojta for assistance in the implementation of the project and all other people who have taken part in it.

*Kindest regards
Prof. PhD Eng. Viktor Tur*

Введение

Работа содержит исследования, реализованные в Брестском государственном техническом университете в рамках проекта: «Разработка технологии для строительства экологически чистых и энергоэффективных домов с композитными наполняемыми конструкциями» № IPBU.02.01.00-06-704/11-00, в период с декабря 2013 г. до ноября 2015 г. Исследования проведено в лаборатории Брестского государственного технического университета под руководством проф. кандидата наук Виктора Тура, заместителя руководителя проекта.

В состав научно-исследовательской группы экспертов входили:

- доцент кандидат наук – В.В. Жук,*
- доцент кандидат наук, инженер – Т.Л. Шалобыта,*
- старший преподаватель А.И. Пикула,*
- менеджер проекта, начальник научно-исследовательской части – Д.Г. Макарук.*

Настоящая книга является II частью обработки, касающейся исследования композитов на базе заполнителя из льняной соломы. В I части обработанной в Государственной высшей школе им. Папы Римского Иоанна Павла II в городе Бяла-Подляска затронуто исследования и указания в области применения композитов с заполнителем, сделанным из костр волоконной конопли. Проведённые в Брестском государственном техническом университете исследования и представленные указания могут быть помощными в строении экологических и энергосберегательных зданий для широкого их применения.

Руководство проекта благодарит ЯМ Ректора Брестского государственного технического университета, проф. Петра С. Пойта за оказанную помощь во время реализации проекта, а также всех сотрудников за соучастие в проведении исследований и помощь в реализованной обработке.

*С уважением,
проф. д-р инж. Виктор Тур*

Wstęp

Opracowanie zawiera badania zrealizowane w Państwowym Uniwersytecie Technicznym w Brześciu w ramach projektu pt. „Opracowanie technologii budowy domów ekologicznych i energooszczędnych z kompozytów wypełniających szkielet drewniany” nr IPBU.02.01.00-06-704/11-00, w okresie od grudnia 2013 r. do listopada 2015 r. Badania przeprowadzono w laboratorium Państwowego Uniwersytetu Technicznego w Brześciu pod kierunkiem prof. zw. dra hab. inż. Viktara Tura, zastępcy kierownika projektu.

W skład zespołu naukowo-badawczego wchodziłi eksperci:

- doc. dr W.W. Żuk,*
- doc. dr inż. T.Ł. Szalobyta,*
- starszy wykł. A.I. Pikuła,*
- menadżer projektu D.G. Makaruk.*

Niniejsza książka stanowi II część opracowania dotyczącą badania kompozytów na bazie wypełniacza ze słomy lnianej. W części I opracowanej w Państwowej Szkole Wyższej im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej zawarto badania i wytyczne w zakresie zastosowania kompozytów z wypełniaczem z paździerzy konopi włóknistych. Wykonane w Państwowym Uniwersytecie Technicznym w Brześciu badania i wytyczne technologiczne mogą być pomocne przy realizacji budynków ekologicznych i energooszczędnych do szerokiego zastosowania.

Kierownictwo projektu składa podziękowania JM Rektorowi Państwowego Uniwersytetu Technicznego w Brześciu, prof. zw. dr. hab. inż. Piotrowi S. Pojcie za okazaną pomoc przy realizacji projektu oraz wszystkim uczestnikom biorącym udział w badaniach i opracowaniach.

*Z wyrazami szacunku
prof. zw. dr hab. inż.
Viktar Tur*

CHAPTER I

EXPERIMENTAL STUDY ON THERMOINSULATING COMPOSITES WITH ORGANIC FIBROUS FILLERS AND LIME BINDER IN THE HARDENING PROCESS, WITHOUT AUTOCLAVE METHOD

In order to achieve lasting and stable development of each country and preserve operated ecosystems by the country, more efficient use of natural resources is required. For this purpose it is necessary to restructure the production processes through the elaboration and implementation of ecological innovation in any human activity. However, in the area of eco-innovations, there is a series of market and system crashes, especially in driving force of the economy of each country – in the construction industry. This leads to an underinvestment in research and technology and in consequence, to the deterioration of the ecological parameters of local and global ecosystems, overestimation of construction industry and an increase in its prices and limited availability. Therefore, in order to ensure stable incentives both for eco-innovation and business, the appropriate environmental policy's instruments must be selected, as well as to develop examples of possible scientific-practical solutions, which are devoted to this project.

1.1 Testing methodology

1.1.1 The main criteria for the selection of the mineral adhesives and organic fibrous fillers of vegetable origin

The purpose of this study was to obtain composite materials in accordance with the following criteria:

1. Ecology.
2. The kinetics of the composites' strength in natural hardening conditions.
3. Possibility of high repeatability (reproducibility) in construction industry in local conditions without the use of special, no common hardware, complex and labor-intensive operations.
4. The use of renewable and (or) the initial mixture components for the composite production.
5. The minimum negative impact on the environment of the entire life cycle (LCA according to DIN ISO 14040 [1]) of the obtained material in comparison to traditional materials (with a high content of cement or with increased strength (autoclaves)).
6. To ensure, in accordance with the required standards the thermoinsulating properties with the possibility to obtain the heat transfer coefficient for the structure of a thickness of 50 cm, equal to 3,2 m²C/W (according to TAP 45-2.04-43-2006 [2]).
7. The use in composites' part of materials or waste materials.
8. Sustainability.
9. Active thermoregulation.
10. Fire safety in accordance with the regional standards.
11. The appropriate acoustic insulation and acoustic comfort.
12. Frost resistance.
13. Appropriate technological properties: adhesion, workability, etc.
14. At least 1.5 times shorter recovery period in local terms in comparison to a traditional materials.

The most promising in terms of the use in composite construction materials are wastes of chemical plants, slag, ash, non-technological clay, rocks, wastes from the glass, metals

and alloys processing, ceramic and silicon industry wastes. The application of these materials in the construction industry, can be carried out in two directions:

1. Passive (waste disposal, changing the physical characteristics of the minor effects on the chemical hardening processes).

2. Active (participation in chemical processes, as a reactive component or binding agent with a significant change in the physico-mechanical properties, giving special properties).

The first direction in very rare cases allows to use at least half of the materials' potential or used in them resources. Therefore, modern direction is to apply them as active components, e.g. adhesives.

In this study, in accordance with the direction slime from water treatment process obtained during the grinding and polishing of glass in one of the local companies was used. In some preparations cement was used in the minimum required amount, in order to strengthen the structure and reduce the shrinkage deformation during hardening.

Organic fibrous fillers of vegetable origin (flax shives, rye straw, wheat straw) were used in accordance with the passive scheme.

Flax shives are practically useless waste of flax fiber production with little possibility of eventual use (just as fuel).

Coming from farms part of the straw, directly on the field is crushed and thrown, as organic fertilizer. Most of the straw in the form of rollers or bales is supplied to breeding farms, where it is stored in piles and used for feeding or as bedding for animals. In practice, due to the large size of production, up to 30-45% of the straw is not used and rot on the piles under the open sky, in the fields or on the farms. Such storage leads to rotting and its growth after the end of the winter season. As a result of such storage, a large part of the straw becomes useless and may not be further used.

1.2 Program of research

On the basis of the preliminary results of experimental research, the most promising structures were chosen and a program was created, which is shown in Table 1.1. Aerated-fibrous concretes and construction-thermoinsulating-fibrous concretes with a leaky packaging were investigated. As shown in Table 1.1, all kinds of experimental trials are composite materials with the vast content of lime, flax straw and shives. The working hypothesis was adopted saying that composites will be in accordance with the criteria laid down at the stage of review and preparation for the experiments listed in point 1.1.1.

The main types of adhesives used in the production of the samples (in accordance with the terms of the project) were: lime-aluminum-silica binders, lime-silica and lime-cement-silica (mixed).

Table 1.1 The names and general characteristics of the thermoinsulating and construction-thermoinsulating composites' components

No of series	Material	Basic Components	Expected bulk density in dry state ρ kg/m ³
F R G - 1ALS	Lime-aluminum-silica-thermoinsulating-fibrous concrete with organic fillers of vegetable origin	Quick-, powder, hydrated lime. Metakaolinite, Si – containing wastes from water purification (fine or minced quartz sand), flax shives, straw, alkalis, water glass.	700-1000

F R G - 2LS	Lime-silica- construction- thermoinsulating- fibrous concrete with organic fillers of vegetable origin	Quick-, powder, hydrated lime. Si – containing wastes from water purification (fine or minced quartz sand), flax shives, straw, water glass.	600-1000
F R A - 3CLS	Non-autoclaved- lime-silica- aerated-fibrous concrete with mixed binder, with organic fillers of vegetable origin	Quick-, powder, hydrated lime. Portland cement CEM I 42,5R, Si – containing wastes from water purification (fine or minced quartz sand), flax shives, straw, water glass.	350-550
F R A - 4LS	Non-autoclaved- lime-silica- aerated-fibrous concrete with lime binder, with organic fillers of vegetable origin	Quick-, powder, hydrated lime. Si – containing wastes from water purification (fine or minced quartz sand), flax shives, straw, water glass, gas generator.	350-550

Table 1.2 The major components of the mixtures used in the production of thermoinsulating and construction-thermoinsulating composites during conducted research

No of series	The main components of the mixture									
	Quicklime	Hydrated lime	Metakaolinite	Si – containing wastes from water purification (fine or minced quartz sand)	Flax shives	Rye straw	Cement	Water glass	Alkalies	Gas generator
FRG-1ALS	+	+	+	+	+	+	–	+	+	–
FRG-2LS	+	+	–	+	+	+	–	+	–	–
FRA-3CLS	+	+	–	+	+	+	+	+	–	+
FRA-4LS	+	+	–	+	+	+	–	+	–	+

1.3 Materials. Characteristics and properties

1.3.1 Binders

Of mineral binders available on the domestic market, in accordance with the requirements of the project, the following it is possible to use:

1. The different types of lime.
2. Metakaolinite.
3. Portland cement.
4. Water glass.

The main type of binder used in the project were different types of lime, combined with auxiliary substances in order to improve the physico-mechanical and thermal properties of obtained composites.

Compositions of a complex binders used in the production of composites have been chosen in such way that the compressive strength specified on the beams with dimensions of 4x4x16 cm in accordance with GOST 310.1, GOST 310.4, was not less than 2 MPa after 28 days of hardening under natural conditions in a temperature of $18 \pm 2^\circ\text{C}$.

1.3.1.1 Lime

The main properties of lime used in experiments in order to obtain a comprehensive mineral binder are presented in table 1.3.

Table 1.3 Technical indicators of lime (GOST 9179-77, STB EN 459-1-2007)

Indicator	Hydrated lime without additions	Quicklime, powder lime, without additions	Hydrated lime
Activity (content of $\text{CaO} + \text{MgO}$), %	60<	70<	5-40
Active MgO , no more than	–	5	6
Content of CO_2 , % no more	5	7	5
Humidity, %	5	2	2
Residue on sieve $d = 0.2$, %	1.0	1.0	1.2
Interval of tensile strength of at least 28 days of hardening, MPa	–	–	5

In a view of the fact that the lime is used as the main ingredient of mineral binders, it is mostly used a hydraulic lime and minced quicklime. It is also possible to use hydrated lime in mixture with the addition of cement. The most accessible type of lime in the region is hydrated lime and quicklime.

Based on lime, binders were prepared that can be divided into the following types:

- lime-aluminum-silica binders, which hardening scheme is similar as Portland cement;
- lime-silica binders, which hardening is done through a process of carbonation and the crystallization of calcium hydroxide, caused by desiccation of water and formation of calcium silicate using quicklime and components containing Si;
- lime-cement-silica binders, which hardening is done through a complex mechanism at the expense of all mentioned above processes.

1.3.1.2 Metakaolinite

Technical indicators of metakaolinite (amorphous aluminum silicate obtained by heat treatment of enriched kaolin) are presented in table 1.4.

Table 1.4 Chemical composition and main technical indicators of metakaolinite

Indicator	Value
Al_2O_3 , %	43.8
SiO_2 , %	53.42
Fe_2O_3 , %	0.75
TiO_2 , %	0.58
Cano, %	0.45
Powder density, kg/m^3	304 ... 447
Specific surface area, m^2/g	15

1.3.1.3 Water glass

In the main research regarding thermoinsulating-fibrous composites, in order to neutralize the easily soluble organic substances in the fibrous fillers, sodium-water glass produced by "Domanowski

production-trading company” was used in accordance with the standards GOST 13078. Technical characteristics of sodium-water glass have been shown in table 1.5.

Table 1.5 Technical characteristics of sodium-water glass

Indicator	Value
1	2
External appearance	Yellow-green thick liquid without mechanical impurities and inclusions visible by naked eye
Silica module	2.9
pH	11-12
Density, g/cm ³	1.450-1.470
Content of Na ₂ O, %	8.7-12.2

1.3.2 Fibrous fillers

Among the available on the local market organic, fibrous fillers of vegetable origin, the following can be extracted, suitable for the production of composites:

1. Flax shives.
2. Rye straw.
3. Wheat straw.

Indicative chemical composition of organic fibrous fillers of vegetable origin, which use for the production of tested composites is possible, is given in table 1.6.

Table 1.6 Chemical composition of organic fibrous fillers

Substance	Content of substance for each type of organic fibrous fillers, %		
	Flax shives	Rye straw	Wheat straw
1	2	3	4
Cellulose	43.2	40...49	35...38
Hemicellulose	30.1	18...18.5	20...21
Lignin	24.4	22.9	12...14
Pentosanes	–	27-28	–
Extracting substances	–	2...2.6	–
Crude protein	–	–	0.41...0.81
Lipids	–	–	1.47
Soluble substances in alcohol and ether	–	–	4.2...5.3
Soluble substances in hot and cold water	–	–	4.3...5.6
Ash	1.0	3.1...4.1	3.2...5.3
Hygroscopic water	–	rest	rest
Pectin	1	–	–

Notes to table 4.6: the chemical composition of flax shives depends on weather conditions and crop area.

The average density of the organic fibrous fillers of vegetable origin in uncured state is in the range of 80...110 kg/m³.

During the initial review it was found that the best chemical composition, structure, and durability is characterized by rye straw and flax shives that were used in the selection of the composition.

Rye straw was used as a coarse filler and flax shives as a small filler. The ratio of the coarse and fine organic filler in mixture was

changing on the stage of the mixture optimization respectively from 1:1 to 7:3. The optimal ratio of flax shives and rye straw in the mixture of fibrous filler used in the production of composites was defined as a 3:5.

Particle size of flax shives were variable with a length from 1 mm to 15 mm and thicknesses from 0.3 mm to 1.5 mm. Fraction amounted to no more than 5 mm and accounted for approximately 50% of the volume of the obtained product.

Preliminary preparation of rye straw relied on its chopping in forager tumbler PCB-0.1 type. The length of the chopped straw was specified by setting the regular distance between steel blades on the rotating drum of forager. A fraction of the length of 80 mm was used, part of the fraction to the 40 mm was 55%.

Before use of organic fibrous fillers their chemical modification was made in order to neutralize and partial removal of readily soluble substances, which reduce the strength of the obtained composites. Research was carried out in an environment of calcium hydroxide and water glass solution.

In order to saturate the fiber of flax shives with calcium ions in the test series (such as FRA, FRG) scraps of flax were placed in a saturated solution of calcium ($[Ca^{2+}] = 2 \cdot 10^{-2}M$) for 48 h. After impregnation shives were washed with water and soaked in 30% aqueous solution of water glass for 1-2 hours. Then they were taken out, squeezed and dried (Fig. 1.1).



Figure 1.1 Washing flax shives before mineralization

1.3.3 Mineral fillers additives

They have been applied in order to change the rheological properties of the concrete mix, reduce shrinkage deformation, reduce of water/cement ratio (W/C) and adjust the physico-mechanical properties of obtained materials.

Among the fillers available on the local market, we can mention the following taking into account the way in which they apply:

1. Active (fillers I type, participation in chemical reactions not less than 10%):

- minced quartz sand (specific surface area = $2000\text{--}3000\text{ cm}^2/\text{g}$),
- waste from water purification formed during the process of grinding and polishing of glass in one of the local establishments (Fig. 1.2), (specific surface area = $3100\text{--}5100\text{ cm}^2/\text{g}$). They have the form of a fine glass powder ($> 90\%$) in small, easily breakable piles with a moisture content 20-30%. The behavior of the specific surface area and high chemical activity of production waste is noticeable within 14 days from the moment of creation.



Figure 1.2 Waste from water purification created at sewage tanks, created during the process of grinding and polishing of glass, used in the manufacture of samples

2. Passive (fillers II type, participation in chemical reactions less than 10%):

- washed river sand with fraction of = 1.2-1.7.

1.4 Production and storage of test samples

1.4.1 The samples of FRG series (lime-aluminum-silica- and lime-silica-construction-thermoinsulating-fibrous concrete with organic-fibrous fillers of vegetable origin)

Developed composition of mix and water/cement ratio are indicated in table 1.7.

Table 1.7 The composition of samples of FRG-1ALS and FRG-2LS series

No	Component	Ratio of components in %, for samples	
		FRG-1ALS	FRG-2LS
1	Quicklime, powder lime without additives	25.5	35
2	Hydrated lime without additives	2.5	3
3	Metakaolinite	25	–
4	Waste from water purification created during the process of grinding and polishing of glass (or minced quartz sand)	26	42
5	Flax shives and rye straw in relations 3:5 respectively*	17*	17*
6	Water glass	3	3
7	NaOH	1	–
8	Water/cement (W/C)	0.85	0.6

*- indicative value depending on the characteristics of growth

1.4.1.1 Production technology

Preparatory steps

Quicklime, powder lime, quantity weighed for a single batch, watered in a quantity equal to its weight. A straw minced in forager on the thickness of 2-8 cm. Flax shives are sieved through a sieve with a mesh of 10 mm size. Flax shives and rye straw are prepared in accordance with paragraph 1.3.2. Then fibrous fillers, flax shives and straw are combined in a ratio of 3:5, washed and soaked in 30% aqueous solution of water glass on 1...2 hours. Then the content is removed from the solution, squeezed and dried.

Preparation of mixture

A mixture of the ingredients mentioned above is prepared, taking into account the amount of water used to extinguish the lime.

To concrete mixer (which prevents the buildup of fibrous fillers on the shaft and shovels) are loaded:

1. Metakaolinite (for the FRG-1ALS composition).
2. Waste from water purification created during the process of grinding and polishing of glass (or minced quartz sand)
3. Lime from device to extinguish the lime with water.

The ingredients are mixed vigorously until a single homogeneous mass is created and then added are:

4. Water (including added water with lime from the device) with dissolved in it alkali (for the FRG-1ALS composition).
5. Flax shives and rye straw.

The mixture is stirred by the 120-360 seconds in a blender and then the content is unloaded to form. By changing the content of a fibrous filler in blend, and depending on how the stacking and sealing is made you can create composite materials, which in the dry form have density of 600 to 1000 kg/m³ and more. It is permissible in the case of technical feasibility, extinguish of lime in a blender in the preparation of the initial mixture, by increasing the time of mixing (at the same time

the temperature of the mixture increases and mechanical parameters of obtained composite are improved). The most important element in the preparation of the mixture in any way is the uniform distribution of each raw material without the formation of papules, which should provide a properly selected mixer. It is therefore mostly dry ingredients are initially mixed, both all separately and together.

Binding time of the obtained composite depends on the temperature and the activity of the components of a mixture and in generally is from 7 to 40 days under natural conditions at a temperature of $18 \pm 2^\circ\text{C}$, without further intensification during the summer. In the case of products with a high thickness, which can be mechanically treated, to the compound with a density of more than 750 kg/m^3 additives should be added, which accelerate the process of carbonization.

The binding process (hardening of composite) can be enhanced if it will be placed in a temperature of 65°C , and then in the dryer with temperature up to 90°C , equipped with automatic humidity control system of coolant, which reduces the formation of cracks.



Figure 1.3 Samples of FRG-1ALS series prepared in forms



Figure 1.4 Sample of FRG-1ALS series, disassembled



Figure 1.5 Samples of FRG-2LS series prepared in wooden structure



Figure 1.6 Surface of sample of FRG-2LS series with density in dry conditions about 800-900 kg/m³



Figure 1.7 Surface of sample of FRG-2LS series about density in dry conditions about 600-700 kg/m³

1.4.2 The samples of FRA series

(non-autoclaved-lime-silica-aerated concrete with mixed binder and lime-silica-aerated concrete with lime binder, with organic-fibrous fillers of vegetable origin)

The composition of the mixtures (in % on the basis of the weight), used in order to obtain the two types of thermoinsulating-aerated concretes is presented in table 1.8.

Table 1.8 The composition of the starting mixture for a samples of FRA-3CLS and FRA-4LS series

No	Component	Mass amount of ingredients, %	
		FRA-3CLS	FRA-4LS
1	2	3	4
1	Quicklime, powder lime without any additives	30.0	33.65
2	Hydrated lime without any additives	3.0	3.0
3	Portland cement CEM I 42,5R	14.65	-
4	Waste from water purification created during the process of grinding and polishing of glass (or minced quartz sand)	34	44
5	Flax shives and rye straw in relations 3:5 respectively*	15*	16*
6	Water glass	3	3
7	Aluminum powder PAP2	0.35	0.35
8	Water/cement (W/C)	0.85	0.68

*- indicative value depending on the characteristics of growth

1.4.2.1 Samples preparation technology

Preparatory steps

A straw minced in forager on the thickness of 2-8 cm. Flax shives are sieved through a sieve with a mesh of 10 mm size. Flax

shives and rye straw are prepared in accordance with paragraph 1.3.2. Then fibrous fillers, flax shives and straw are combined in a ratio of 3:5, washed and soaked in 15-30% aqueous solution of water glass on 1...2 hours. Then the content is removed from the solution, squeezed and dried.

Preparation of mixture

A mixture of the ingredients mentioned in Tab. 1.8 was prepared as follows.

To concrete mixer (which prevents the buildup of fibrous fillers on the shaft and shovels) are loaded:

1. Waste from water purification created during the process of grinding and polishing of glass (or minced quartz sand).
2. Quicklime, powder lime without additives.
3. Aluminum powder.
4. Portland cement CEM I 42,5R (for FRA-3CLS composition).

The ingredients are mixed in dry state for 30-60 seconds, then added are:

5. Water.
6. Prepared earlier mix of flax shives and rye straw.

The mixture is stirred by the 60-75 seconds in a blender and then the content is unloaded to form. The most important element in the preparation of the mixture in any way is the uniform distribution of each raw material without the formation of papules, which should provide a properly selected mixer. It is therefore mostly dry ingredients are initially mixed, both all separately and together.

Bloating time was 1 to 2 hours. Binding time of the obtained composite depends on the temperature and the activity of the components of a mixture and in generally is from 20 to 40 days under natural conditions at a temperature of $18 \pm 2^{\circ}\text{C}$, without further intensification during the summer. In the case of products with a high thickness, which can be mechanically treated, to the mixture additives should be added, which accelerate the process of carbonization.



Figure 1.8 Samples of FRA-3CLS series
(non-autoclaved-lime-silica-aerated-fibrous concrete with mixed binder)



Figure 1.9 Samples of FRA-4LS series
(non-autoclaved-lime-silica-aerated-fibrous concrete with lime binder)



Figure 1.10 Surface of sample of FRA-4LS series
(non-autoclaved-lime-silica-aerated-fibrous concrete with lime binder)

1.5 Testing methods

Mechanical and physical properties of tested composites were established on the basis of tests carried out on samples prepared in the forms or cut from a whole block after a 28-40 days. Studies have been carried out at least on three samples of the same size, in the one series.

Determination of the compressive strength of composites took place on the basis of cubic samples – with side dimension of 100 mm in accordance with GOST 10180. In the case of composite materials with a high content of fibers and not having a clear degree of deformation, the strength was determined in accordance with GOST 17177-94 – point 13 in accordance with the strength at 10% of deformation.



Figure 1.11 Compressive strength test – cubic sample of side dimension equal to 100 mm

The strength of binders has been determined in accordance with GOST 310.1 and GOST 310.4 on the basis of tests carried out on beam samples with dimensions of 4x4x16 cm.



Figure 1.12 Determination of tensile and compressive strength of beam samples

The density of composites in the dry form was measured on regular samples in accordance with the requirements of GOST 12730.0 and GOST 12730.1.



Figure 1.13 Drying of the samples in the oven



Figure 1.14 The weighting of the sample with an accuracy of 0.1 gram

Shrinkage deformations of binding materials have been determined on the basis of the results of tests of samples with dimension $40 \cdot 40 \cdot 160$ mm and $50 \cdot 50 \cdot 200$ mm, in accordance with the requirements of the STB 1570 standard and the study of composites' deformation has been carried out through direct deformation measurement on samples.



Figure 1.15 Determination of shrinkage deformations of binders

Determination of the thermal conductivity level of developed composites has been carried out in accordance with STB 1618 standards.

Beam samples with dimensions of 40 • 40 • 160 mm and cubic samples with edge dimension equal to 100 mm were made in the metal forms. The samples immediately after preparation in order to prevent from drying out were covered by polythene foil.

Possible gaps in various weight proportions of components were not previously specified and were chosen again after each cycle of an experiment. The optimal ratio of the ingredients in the mixture was determined on the basis of simultaneous preparation of at least 2 series (in each 6 or more specimens) under the same conditions.

Composition's optimization of composite materials (see table 1.2) was carried out by active planning of experiments taking into account the experience in the central part of the plan. To this end two parameters were changed in relation to the original composition.

For each of the listed blends of at least two optimization cycles were performed.

1.6 The results of experimental tests and their analysis.

Characteristics of obtained composites

The basic characteristics of the developed composites on the basis of flax shives and rye straw determined on the basis of test series FRG-1ALS, FRG-2LS, FRA-3CLS, FRA-4LS are presented in table 1.9.

Table 1.9 Physico-mechanical characteristic of samples of FRG-1ALS, FRG-2LS, FRA-3CLS, FRA-4LS series

No	Series	Density, ρ [kg/m ³]	Thermal conductivity in dry state, λ W/mK	Compressive strength, $f_{c,28}$ N/mm ²	Shrinkage [mm/m] binder/composite	Wall thickness, d_N for $R=3,2 \text{ m}^2\text{C/W}$, [mm]	Weight necessary for thermoregulation of 1 m ² of wall, kg
1.	FRG-1ALS	770	0.21	1.0...2.0	3/7.0	640	490
2.	FRG-2LS	650	0.15	0.3...0.7	4/8.0	480	312
3.	FRA-3CLS	375	0.10	0.3...0.6	3/9.0	320	120
4.	FRA-4LS	435	0.11	0.15...0.4	4/14.0	355	155

Notes:

1. The properties of the samples were determined after 28 days.
2. Thermal conductivity, wall thickness and weight in real conditions for a balanced humidity of composite materials and the surrounding environment may be higher by 20%.
3. Strength of samples of FRG-2LS and FRA-4LS series was determined in accordance with GOST 17177-94, point 13.

Received composites of FRG-1ALS, FRG-2LS series were characterized by highest density and the highest thermal conductivity of all samples, which in the conditions of use (B), in accordance with TKP 45-2.04-43-2006 [2], may be 0.24 W/m°C. However, composites of these compounds also have the greatest density (density in dry state above 750 kg/m³), which allows to classify them as a structural material, which in addition to its own weight may also take additional loads. It should be noted that of all the composites these have the smallest shrinkage. In the case of the above composites, by changing the content of the fibrous filler and depending on the laying and sealing technology composites

in the dry state with density from 600 to 1000 kg/m³ can be created, with compressive strength of 0.3 MPa to 2.5 MPa.

However, to obtain the required heat resistance according to TKP 45-2.04-43-2006 [2] the thickness of the walls should be in the range of 450 to 640 mm and more, which in turn is the negative result relative to the criteria indicated in section 1.1.1. The composite can be used in a tiered structures with outer thermal insulation layer, thus increasing the stability of room temperature at the expense of the large heat capacity. Composite type FRG-2LS is the easiest in terms of production technology and is the cheapest.

The obtained composite of FRA-3CLS series is characterized by medium density and thus, medium level of thermal conductivity, which in the conditions of use (B) in accordance with TKP 45-2.04-43-2006 [2], may be 0.12 W/m°C. This composite structure has a small strength (up to 0.6 MPa), which means that it can be only insulating material, which can only take a load of its own weight with reduced height. Thanks to the use of cement as a binder, a composite material of the structure has small shrinkage and shorter time of binding than structure of FRA-4LS series. In order to achieve the required heat resistance according to TKP 45-2.04-43-2006 [2], the wall thickness can be at 320...380 mm, which is acceptable in relation to the criteria set out in point 1.1.1.

The obtained composite of FRA-4LS series is characterized by small density and thus, medium level of thermal conductivity, which in the conditions of use (B) in accordance with TKP 45-2.04-43-2006 [2] may be 0.14 W/m°C. The composite has the smallest strength of all (0.1...0.4 MPa), which means that it can be only insulating material, which can only take a load of its own weight with reduced height. However, due to the lack of cement the structure is more ecological, but has the largest shrinkage and longer time of hardening than FRA-3CLS series. In order to achieve the required thermal resistance, according to TKP 45-2.04-43-2006 [2], the wall thickness can be 350...410 mm, which is acceptable in relation to the criteria set out in point 1.1.1.

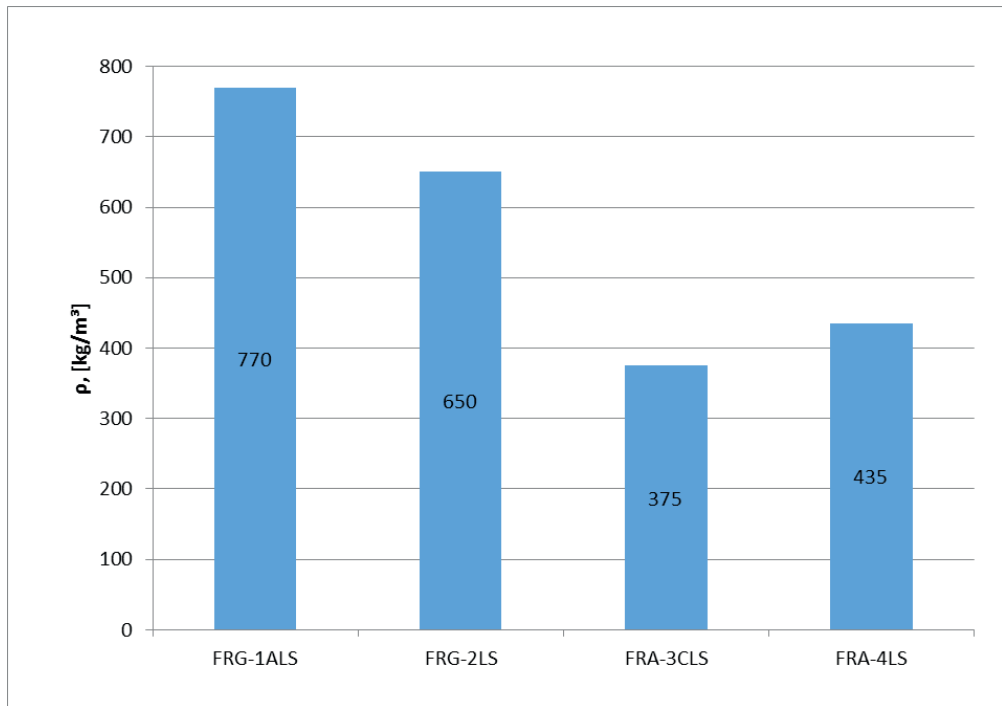


Figure 1.16 Changes in the density of the tested composites

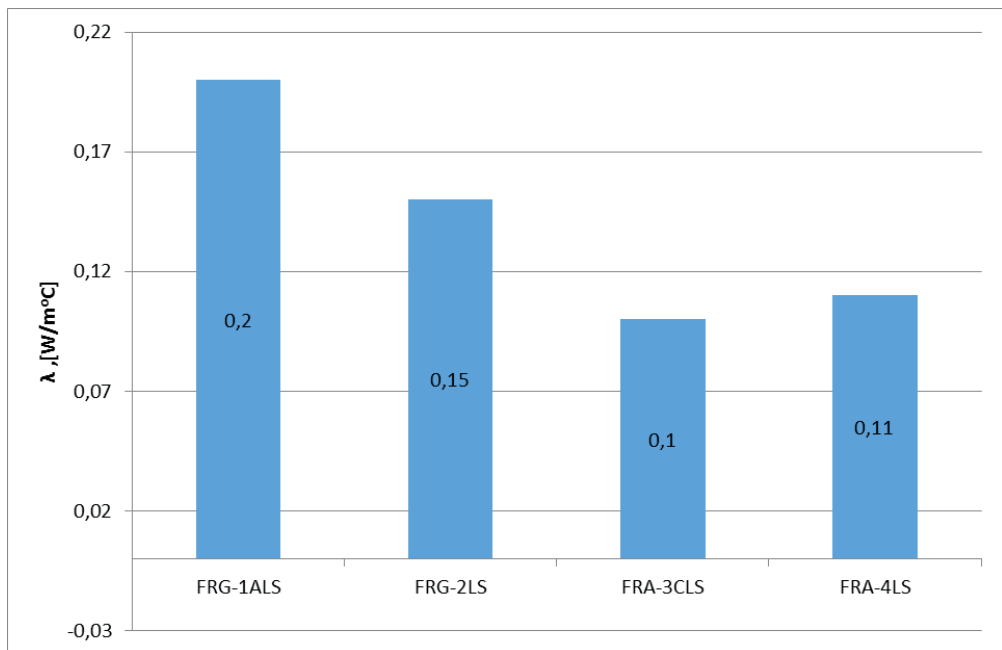


Figure 1.17 The average thermal conductivity of produced composites

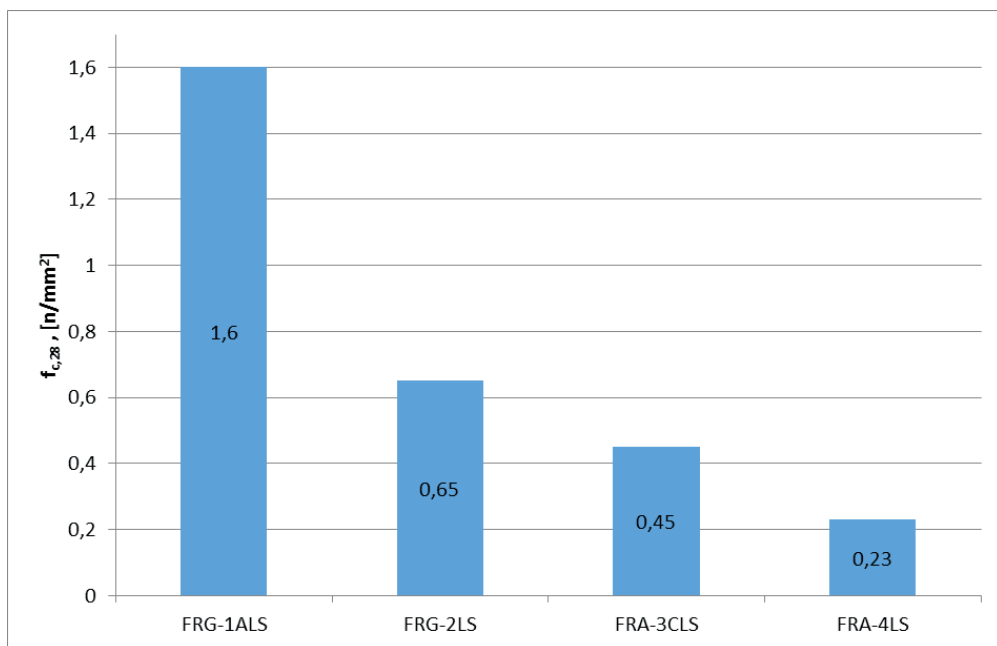


Figure 1.18 Change in the strength of the produced composites

1.7 Recommendations for the use of the developed and tested composites

The composition of mixtures used for composite's series of FRG-1ALS, FRG-2LS is suitable for the manufacture of wall bearing blocks (with a density of more than 750 kg/m^3). They are porous, construction-thermoinsulating, ecological materials without the use of cement.

Composite of FRG-2LS type is the simplest and cheapest in production technology. This type of composite with a density of $600\text{-}700 \text{ kg/m}^3$ is most effective when used at the recommended construction of the wall, shown in Fig. 1.19 and Fig. 1.20.

Composite of FRA-3CLS series is suitable for the manufacture of wall non-bearing blocks or monolithic construction made directly on the site. It is highly porous thermoinsulating material with minimal use of cement. Using special technological measures, it can be used at the recommended construction of the wall, shown in Fig. 1.19 and Fig. 1.20.

Composite of FRA-4LS series is suitable for the manufacture of wall non-bearing blocks or monolithic construction made directly on the site. It is highly porous thermoinsulating material without cement. Using special technological measures, it can be used at the recommended construction of the wall, shown in Fig. 1.19 and Fig. 1.20.

Recommended variant of external, construction wall in multi-storey houses

The above construction of external wall in cross section shows two panels of the same type, manufactured in a factory or directly on site, in the warm season of the year. The plates can be produced in a horizontal position, the front page (a thick lime-silicate layer) down or up, in accordance with technological scheme showed in 1.8 point in Figure 1.21. After reaching the almost equivalent humidity, plates are set a dense protective layer outside. The difference between the plates reduces the moisture content of thermoinsulating layer of composite on first use. The plates can be produced of different thickness, in order to secure the necessary characteristics of heat transfer in structures in different areas.

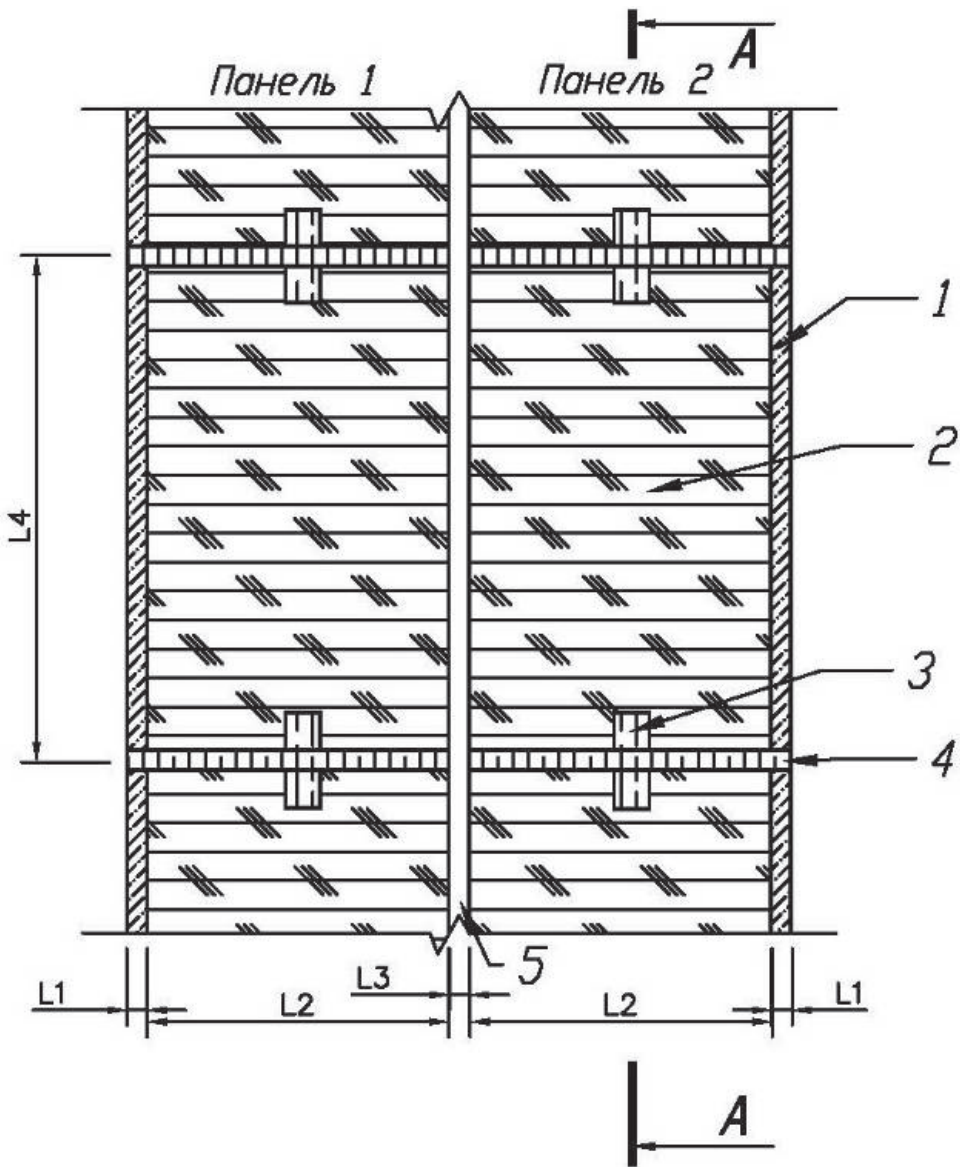


Figure 1.19 Cross section of B-B wall

- 1 – Lime-silica external (internal) layer
- 2 – Internal filler from composite material of FRG-1ALS, FRG-2LS, FRA-3CLS, FRA-4LS series
- 3 – Horizontal beams, which mount the thermoinsulating composite
- 4 – Horizontal elements of plate construction
- 5 – Air layer between plates (10-20 mm) in order to remove moisture

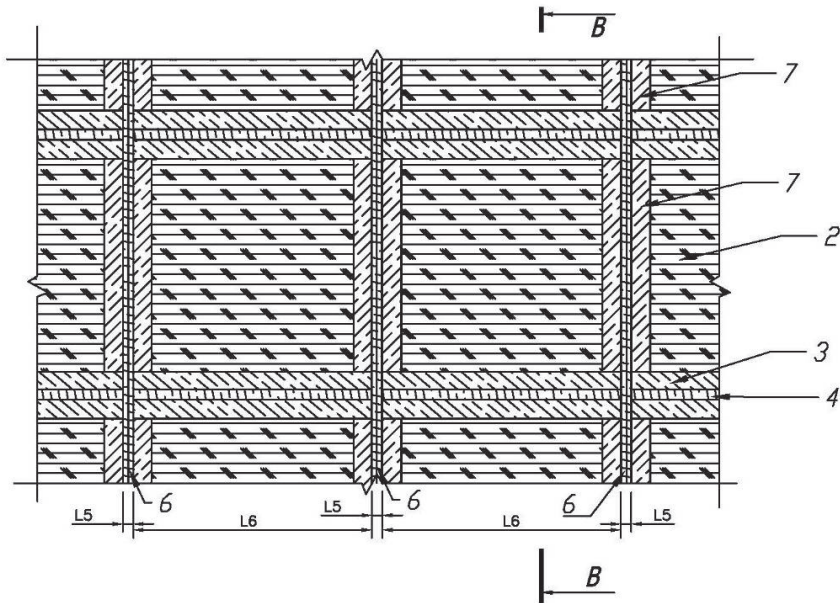


Figure 1.20 Longitudinal section of A-A wall

2 – Internal filler from composite material of FRG-1ALS, FRG-2LS, FRA-3CLS, FRA-4LS series

3 – Horizontal beams, which mount the thermoinsulating composite

4 – Horizontal elements of plate construction

6 – Vertical elements of plate construction

7 – Vertical beams, which mount the thermoinsulating composite

The dimensions indicated on the Fig. 1.19 and Fig. 1.20:

L1 – thickness of external (internal) lime-silica layer (10-15 mm),

L2 – thickness of filler from composite material of one plate (170-250 mm),

L3 – thickness of air layer between plates (10-20 mm) in order to remove the moisture,

L4 – height of filler from composite material of one plate's cell (500 -700 mm),

L5 – thickness of brackets made from both sides (30-50 mm),

L6 – width of filler from composite material of one plate (500-750 mm).

The above solution is a technological solution from the point of view of the organization of the factory plates production and high speed of erection of residential buildings.

1.8 Technological scheme of wooden wall panels' production with composite fillers

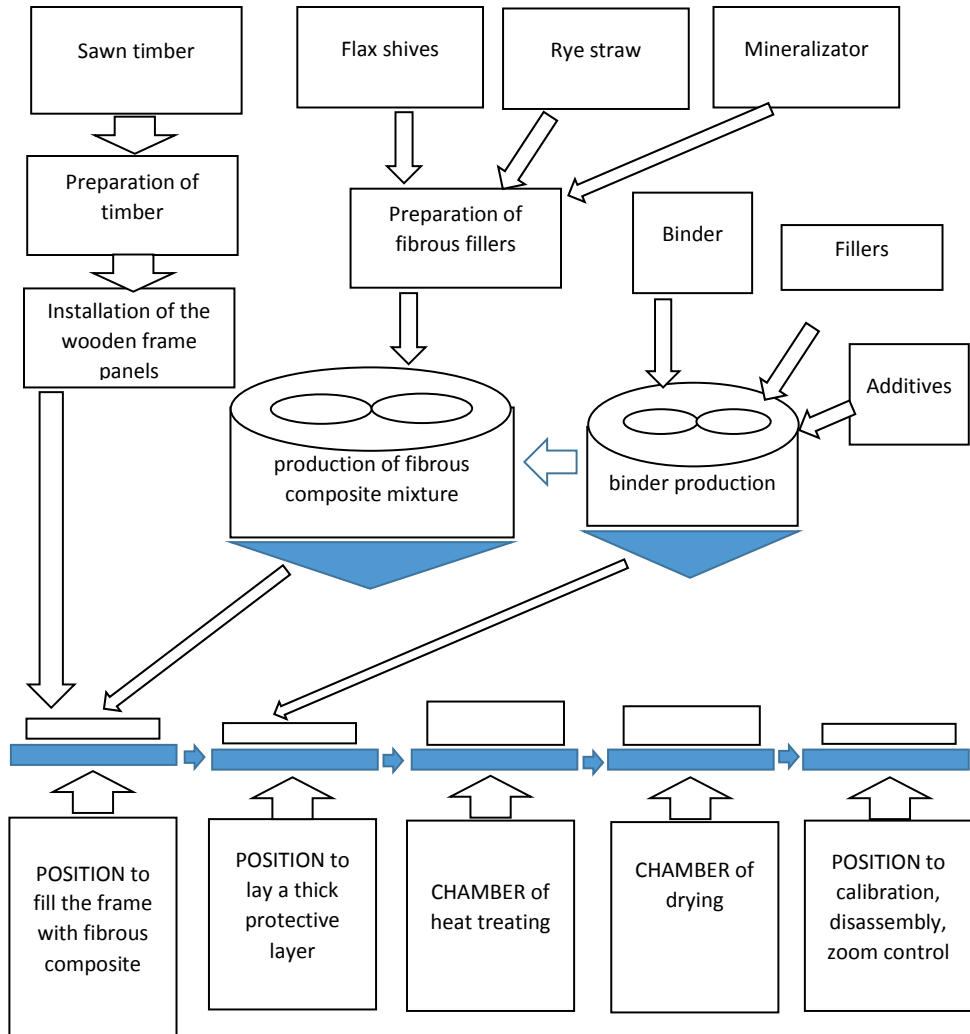


Figure 1.21 Technological scheme of wall panels production for framed building construction

The above technological scheme provides the following actions:

1. Preparation of wooden frame:

- cut the wood with specific length;
- flat elements assembly;
- volume elements (panels) assembly with installation of deformed contributions to compensate for the humidity contraction;
- hydration of volume panels.

2. Preparation of binder:

- dosing powder components;
- lime extinguish;
- mixing in a blender;
- the release of a binder mixture for forming a protective layer and to the mixer with a fibrous mass;

3. Preparation of fibrous composite mixture:

- straw shredding;
- shives sieving;
- mixing fibrous fillers;
- washing and mineralization of the fibrous mass;
- mixing the fibrous mass and binder;
- the release of mixture for forming;

4. Panels forming:

- laying a fibrous mass;
- compression;
- laying a protective layer;
- smoothing and (or) upper surface finish;

5. Heat treatment of the panels:

- heating and isothermal maintenance in hardening chamber;
- drying in humidity-controlled environment to minimize the deformation caused by the humidity gradient;

6. Final action:

- calibration (disassembly) of the panels in order to compress the inner filler (when necessary);
- quality control of individual panels;
- initial panels assembly (when necessary).

Bibliography

- [1] ISO 14040 (2006): Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. International Organization for Standardization (ISO).
- [2] TKI 45-2.04-43-2006: Budowlana technika grzewcza. Projektowe normy budowlane.
- [3] Guinée (2001): Life cycle assessment. An operational guide to the ISO standards. Part 1: LCA in perspective. Part 2a: Guide. Part 2b: Operational annex. Part 3: Scientific Background. Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM) and Centre of Environmental Science, Leiden, Nederlande.

CHAPTER II

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF INSULATING WALL MATERIALS COMPARATIVE ANALYSIS

In the life-cycle impact assessment (LCA) a variety of construction materials on the environment, you can use the CML method [5]. The method takes into account a variety of effects on the environment, with appropriate performance indicators.

In order to make such a comparison, it extracts the two main environmental indicators:

1. GWP (the global warming factor, equivalent of kg CO₂) it takes into account the emission of gases (e.g., CO₂, CH₄, N₂O and other), which are accompanied by global warming.

2. ADP (abiotic resource depletion coefficient, kg equivalent to Sb (kg)) to be used as an indicator of the consumption of natural, non-living, non-renewable resources (e.g., ore, oil).

Depending on the type of construction materials, to the eco-balance are included a sorts of indicators, e.g. acidification, eutrophication, eco-toxicity, ionizing radiation, destruction of the ozone layer and others.

In the case of environmental assessment the above materials, non-autoclaved composites with fibrous fillers of vegetable origin, depending on the organization of the manufacturing technology and applied materials, they show improvement of environmental efficiency indicators up to 20-75%, compared with the traditional at the moment insulation with polystyrene, mineral wool and aerated concrete. Another, no less important and interdependent aspects of

effective application of thermal insulation materials is their positive economic effect. Main economic indicators are the cost of production and the recovery period, where more effective can be eco-friendly, non-autoclaved composites with fibrous fillers of vegetable origin, as indicated above.

The total cost of materials for building structures made of non-autoclaved-lime-silica-fibrous-thermoinsulating concrete with organic fibrous fillers of vegetable origin, non-autoclaved-thermoinsulating-aerated-fibrous concrete with cement binder and aerated concrete, counting on 1 m³, according to prices in September 2015, presented are in Tab. 2.1.

Table 2.1 Comparison of the materials costs for construction

No	Component	Comparable characteristics of composition		
		Non-autoclaved-lime-silica-thermoinsulating-fibrous concrete with organic fillers of vegetable origin	Non-autoclaved-aerated-fibrous-thermoinsulating concrete with cement binder	Aerated concrete
1	Quicklime, powder lime without additives	387.5	–	238.5
2	Hydrated lime without additives	10	7.4	–
3	Cement CEM I 42.5R	–	372.1	153.2
4	Minced quartz sand	1 333.8	1 186.6	1 729.0

5	Flax shives and rye straw in ratio 3:5	30	–	–
6	Polypropylene fibers (BCM II 12)	–	72.0	–
7	Water glass	52.8	–	–
8	Gas preparations, aluminum powder	–	31.8	37.1
9	Water	1 012.0	1 251.2	1 058.0
10	Growth rate	1.05	–	–
	TOTAL	2 826.1	2 921.1	3 215.8

Figure 2.1 presents the final cost of materials for the construction on the basis of mentioned above technologies.

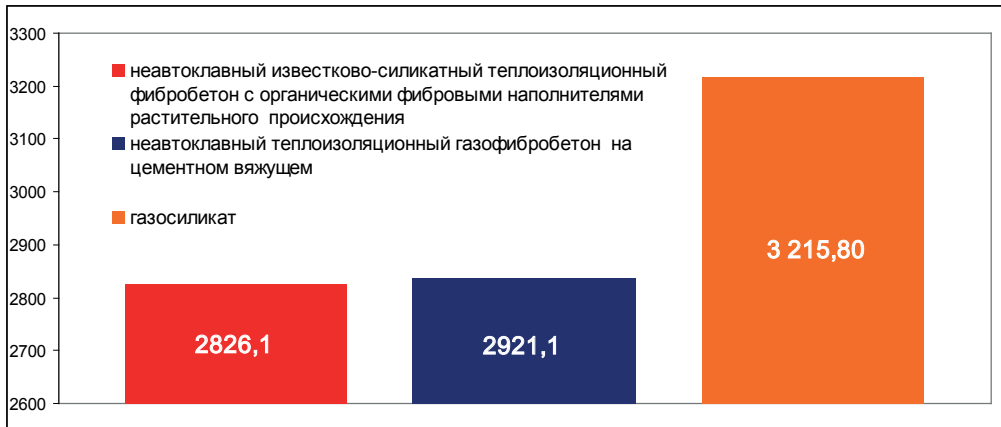


Figure 2.1 The cost of 1 m³ of wall structure with consideration of different technologies, presented in thousands of rubles.

Values:

2826.1 – non-autoclaved-lime-silica-thermoinsulating-fibrous concrete with fillers of vegetable origin;

2921.1 – non-autoclaved-aerated-fibrous-thermoinsulating concrete with cement binder;

3 215.80 – aerated concrete.

The most expensive wall material is aerated concrete, compared to non-autoclaved-lime-silica-thermoinsulating-fibrous concrete with fillers of vegetable origin is cheaper about 12.15% and non-autoclaved-aerated-fibrous-thermoinsulating concrete with cement binder is cheaper about 9.16%.

Taking into account the fact that the distinguishing feature of the production technology of fibrous concrete with organic fillers of vegetable origin is the need for the preparation of fibrous fillers, the final cost could slightly increase. It is necessary to cut, double, triple washing and mineralization (lime, water glass).

Two other technologies, it also processes leading to an increase in the cost of materials. And so, for the production of aerated-fibrous concrete with cement binder carefully must be adjusted the water temperature depending on the exterior conditions, a high probability of absence in the event of failure to technology. Absolutely essential is also the tightness of the formwork, because the mixture has the consistency of water. In the case of aerated concrete autoclave is necessary and fine grinding of lime along with sand with high power consumption, which means that the last material is even more expensive and not competitive.

Considering that the cost of the wall material in the construction of a typical house is 30%, the value of such house (the skeleton) made of aerated concrete is 705.4 million rubles, the cost of the house made of fibrous concrete with fillers of vegetable origin is 658.53 million. rubles or is 6.64% cheaper when you apply non-autoclaved-thermoinsulating-aerated-fibrous concrete with cement binder, the cost is 686.0 million rubles or is 2.75% cheaper.

In addition to the benefits listed above, the use of fibrous concrete with organic filler of vegetable origin resulting in a reduction of CO₂ emissions, because in the case of the above technologies cement is not applied. In the production of cement emits about 5% of the world's CO₂ emissions connected with

human activity, and 3% of the world's emissions of all greenhouse gases. For comparison, the transport sector accounts for about 15% of global greenhouse gas emissions, and therefore the production of cement has a significant impact on the environment.

Bibliography

- [1] <http://chm.pops.int/Portals/0/download.aspx?d=UNEP-POPS-POPRC8FU-COMM-LE-HBCD-Recommend.Ru.pdf>
- [2] <http://www.allbeton.ru/wiki/Тексабромциклодекан+характеристика+рисков/>
- [3] ISO 14040 (2006): Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. International Organization for Standardization (ISO).
- [4] Ecoinvent (2010). Database. Ecoinvent version 2.1.
- [5] Guinée (2001): Life cycle assessment. An operational guide to the ISO standards. Part 1: LCA in perspective. Part 2a: Guide. Part 2b: Operational annex. Part

CONCLUSION

With each passing day, more and more popular become energy-efficient technologies. The rational use of energy allows to significantly reduce the cost of homes and apartments heating. Energy savings is now one of the top priorities for each company. The effect of the introduction of the above technologies refers not only to the construction companies, but the final owner of the house, an office building or shopping center. Investors participating in energy-saving projects, have the opportunity to have a great investment.

However, an increasing number of people in the world begin to care about the environmental performance of construction and the use of renewable energy sources. The cause of the phenomenon is the high cost of energy carriers, their limits, as well as environmental pollution. The use of these or other materials in the industry and in the construction industry, in particular, it is a matter of time and the development of society. Formerly houses was insulated with straw and sawdust, then these materials were replaced with insulation with polystyrene and mineral wool. Currently, they do not meet the requirements for insulating materials used in today's energy-saving and ecologically clean construction. In order to meet the standards of energy efficiency and safety of the construction, new materials and technologies are required. Energy efficiency and environmental performance, should be the main factors at the design stage and construction of buildings, and structures.

Findings allow to draw the following conclusions:

1. Natural, renewable materials of vegetable origin, in particular flax shives and rye straw are quite attractive raw material for the production of lightweight composites, both with gas- and foam-producing preparations, and without them. In addition, you can extract the two main directions of their destination: they can act as a filler of composite structure, or as a fibrous reinforcement element, which improve endurance properties. In addition, at the moment, they are some of the cheapest blowing agents and reinforcement of impermeable composite materials based on mineral binders, with zero negative impact on the environment.

2. Tested mixtures of lightweight composites using flax shives and rye straw allow to receive the insulating building materials with a density of 375 kg/m^3 to 1000 kg/m^3 and more.

FRG-2LS composite has a number of advantages in terms of production technology, the necessary raw materials and low performance cost compared with other composites described in this study. At a density of $600\text{-}700 \text{ kg/m}^3$, the composite can be effectively used in the construction of monolithic walls, as filling of wall panels, structures, presented in this study.

Composites of FRA-3CLS and FRA-4LS series can be effectively applied to the production of non-load bearing wall blocks or

РАЗДЕЛ I

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ КОМПОЗИТОВ С ОРГАНИЧЕСКИМИ ФИБРОВЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ И ИЗВЕСТКОВЫМИ ВЯЖУЩИМИ НЕАВТОКЛАВНОГО ТВЕРЖДЕНИЯ

Для выхода на траекторию устойчивого и стабильного развития любого государства и **сохранения эксплуатируемых им экосистем**, требуется повышение эффективности использования природных ресурсов. Для этого необходима перестройка производственных процессов на базе разработки и внедрения экологических инноваций в любых сферах человеческой деятельности. Однако для сферы экологических инноваций присущ ряд рыночных и системных «провалов», особенно в локомотиве экономики любого государства – строительной отрасли. Это приводит к недоинвестированию в научные исследования и инженерные разработки и, соответственно, ухудшению экологических параметров локальных и мировых экосистем, переинвестированию в строительство и его удорожанию, снижению его доступности. Поэтому для обеспечения устойчивых стимулов к экологическим и одновременно, экономическим инновациям требуется подобрать адекватные инструменты экологической политики, а также разработать примеры возможных вариантов научно-практических решений, чему и посвящен данный проект.

1.1 Методика проведения исследований

1.1.1 Основные критерии для выбора композиций минеральных вяжущих и органических фибровых наполнителей растительного происхождения

Целью выполненных исследований являлось получение композиционных материалов удовлетворяющих следующим критериям:

1. Экологичность.
2. Заданная кинетика набора прочности композитом в условиях естественного твердения.
3. Возможность высокой повторяемости (воспроизводимости) при строительстве в местных условиях без применения специфичного, малораспространенного оборудования, сложных и трудоёмких технологических операций.
4. Использование возобновляемых и (или) доступных исходных компонентов смеси для изготовления композита.
5. Минимальное негативное экологическое воздействие всего жизненного цикла (LCA по DIN ISO 14040 [1]) полученного материала в сравнении с традиционными материалами (с большим содержанием цемента, либо автоклавного твердения).
6. Обеспечение требуемых нормами теплоизоляционных свойств с возможностью получения коэффициента сопротивления теплопередачи ограждающей конструкции толщиной до 50 см, равного $3,2 \text{ м}^2\text{С/Вт}$ (в соответствии с требованиями ТКП 45-2.04-43-2006 [2]).
7. Применение в композициях части материалов с низкой возможностью альтернативного использования или отходов производства.
8. Долговечность.
9. Активная гидрорегуляция.

10. Пожарная безопасность в соответствии с региональными стандартам.
11. Удовлетворительная звукоизоляция и акустический комфорт.
12. Морозостойкость.
13. Приемлемые технологические свойства: адгезия, обрабатываемость и т.д.
14. Не менее чем в 1,5 раза меньший срок окупаемости в местных условиях по сравнению с традиционными материалами.

Наиболее перспективными в плане возможности использования в строительных композитных материалах являются отходы химических производств, шлаки, золы, нетехнологичные глины, побочные горные породы, отходы стеклообработки, механической обработки металлов и сплавов, отходы керамической промышленности, силикатных производств. Применение этих материалов в строительстве может идти по двум направлениям:

1. Пассивное (утилизация отходов, изменение физических свойств с незначительным влиянием на химические процессы твердения).

2. Активное (участие в химических процессах как реагирующий компонент или вяжущее со значительным изменением физико-механических свойств, придание специальных свойств).

Первое направление в очень редких случаях позволяет использовать хотя бы половину потенциала материалов либо вложенных в них ресурсов, поэтому основным современным направлением является именно использование их в качестве активных компонентов, например вяжущих.

В данном исследовании по активной схеме применения использовался шлам водоочистки, образующийся при шлифовке и полировке стекла на одном из местных предприятий. В некоторых составах использовались цементные вяжущие в минимально

необходимом количестве для первичного закрепления структуры и уменьшения усадочных деформаций при твердении.

Органические фибровые наполнители растительного происхождения (костра льна, ржаная солома, пшеничная солома), использовались по пассивной схеме применения.

Костра льна является практически неиспользуемым отходом производства льняного волокна с низкой возможностью альтернативного использования (только как топливо).

Производимая на сельхозпредприятиях часть соломы непосредственно на полях измельчается и разбрасывается как органическое удобрение. Большая часть соломы в рулонах или тюках с полей доставляется на животноводческие фермы, где складывается в скирдах и используется в дальнейшем для скармливания или подстилки скоту. На практике, из-за больших объемов производства, до 30-45% соломы не используется и сгнивает в скирдах под открытым небом на полях или на территориях животноводческих комплексов. Такое хранение приводит к загниванию соломы и её прорастанию после зимнего сезона. В результате такого хранения значительная часть соломы приходит в негодность и не подлежит к дальнейшему использованию.

1.2 Экспериментальная программа

Основываясь на результатах предварительных постановочных экспериментальных исследований, были выбраны наиболее перспективные составы и составлена программа, приведенная в таблице 1.1. Были изучены теплоизоляционные газопенобетонные и конструкционно-теплоизоляционные пенобетонные с неплотной упаковкой. Как показано в таблице 1.1 все типы экспериментальных образцов представляют собой композитные материалы с преимущественным содержанием извести, льняной костры и соломы. Принята рабочая гипотеза о том, что разрабатываемые

композиты будут отвечать установленным на стадии проведения обзора и подготовки к экспериментальным исследованиям критериям, перечисленным в пункте 1.1.1.

Основными видами вяжущих, используемых при изготовлении опытных образцов (в соответствии с условиями разрабатываемого проекта) были: известково-алюмо-силикатное, известково-силикатное и известково-цементно-силикатное (смешанное) вяжущие.

Таблица 1.1 Наименование и общее описание составов теплоизоляционных и конструктивно-теплоизоляционных композитов

№ серии	Наименование материала	Исходные компоненты	ожидаемая плотность в сухом состоянии, ρ
F R G - 1ALS	Известково-алюмосиликатный конструктивно-теплоизоляционный фибробетон с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения	Известь воздушная негашеная, порошкообразная, известь гидратная. Метакаолин, Si-содержащие отходы водоочистки (мелкий либо молотый кварцевый песок), костра льна, солома, щелочь, жидкое стекло	700-1000

F R G - 2LS	Известково-силикатный конструкционно-теплоизоляционный фибробетон с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения	Известь воздушная негашеная, порошкообразная, известь гидратная. Si-содержащие отходы водоочистки (мелкий либо молотый кварцевый песок), костра льна, солома, жидкое стекло.	600-1000
F R A - 3CLS	Неавтоклавный известково-силикатный газопфибробетон на смешанном вяжущем с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения	Известь воздушная негашеная, порошкообразная, известь гидратная. Портландцемент СЕМ I 42.5R, Si-содержащие отходы водоочистки (мелкий либо молотый кварцевый песок), костра льна, солома, жидкое стекло, газообразователь	350-550
F R A - 4LS	Неавтоклавный известково-силикатный газопфибробетон на известковом вяжущем с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения	Известь воздушная негашеная, порошкообразная, известь гидратная. Si-содержащие отходы водоочистки (мелкий либо молотый кварцевый песок), костра льна, солома, жидкое стекло, газообразователь	350-550

Таблица 1.2 Основные компоненты смесей использованных для изготовления теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных композитов при проведении исследований

№ серии	Основные компоненты смеси									
	Негашеная известь	Гидратная известь	Метакаолин	Si содержащие отходы водоочистки (мелкий либо молотый кварцевый песок)	костра льна	ржаная солома	Цемент	жидкое стекло	Щелочь	Газообразователь
FRG-1ALS	+	+	+	+	+	+	–	+	+	–
FRG-2LS	+	+	–	+	+	+	–	+	–	–
FRA-3CLS	+	+	–	+	+	+	+	+	–	+
FRA-4LS	+	+	–	+	+	+	–	+	–	+

1.3 Материалы. Характеристики и свойства

1.3.1 Вяжущие

Из минеральных вяжущих веществ, доступных в местном регионе и соответствующих условиям проекта, можно выделить следующие, возможные для применения:

1. Известь различных видов.
2. Метакаолин.
3. Портландцемент.
4. Жидкое стекло.

Основным видом вяжущего, используемого в проекте, являлась известь различных видов, которая комбинировалась с вспомогательными веществами для улучшения физико-механических и теплотехнических характеристик получаемых композитов

Композиции сложных вяжущих, используемых при изготовлении композитов, подбирали таким образом, чтобы прочность при сжатии, определяемая на балочках 4х4х16 см по ГОСТ 310.1, ГОСТ 310.4, была не менее 2МПа в возрасте 28 суток при твердении в естественных условиях при температуре $18 \pm 2^\circ\text{C}$.

1.3.1.1 Известь

Основные характеристики извести, использованной в опытах для получения комплексного минерального вяжущего, приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 Технические показатели извести (ГОСТ 9179-77, СТБ ЕН 459-1-2007)

Наименование показателей	Известь гидратная без добавок	Известь воздушная негашеная порошкообразная, без добавок	гидравлическая известь
Активность (содержание $\text{CaO} + \text{MgO}$), %	60<	70<	5-40
Активный MgO , не более	–	5	6
Содержание CO_2 , % не более	5	7	5
Влажность, %	5	2	2
Остаток на сите $d = 0.2$, %	1,0	1,0	1,2
Предел прочности образцов, через 28 сут твердения не менее, МПа	–	–	5

Так как известь используется в качестве основного компонента минерального вяжущего, то предпочтительно использование гидравлической извести и воздушной молотой негашеной извести. Также возможно использование гидратной извести в смесях с добавлением цемента. Наиболее доступными видами извести в регионе являются гидратная и воздушная негашеная известь.

На основе извести изготавливались минеральные вяжущие вещества, которые можно условно разделить на следующие типы:

- известково-алюмо-силикатное вяжущее, твердеющее по схеме близкой к портландцементу;
- известково-силикатное вяжущее, твердеющее по механизму карбонизации и кристаллизации гидроксидов кальция, вызванных испарением воды, а также образованием гидросиликата кальция при использовании негашеной извести и реакционно способных Si-содержащих компонентов;
- известково-цементно-силикатное вяжущее, твердеющее по сложному механизму за счет реализации всех вышеперечисленных процессов.

1.3.1.2 Метакраолин

Технические показатели метакраолина (аморфный силикат алюминия, полученный при термической обработке обогащенного краолина) приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 Химический состав и основные технические показатели метакраолина

Наименование показателя	Значение
Al_2O_3 , %	43,8
SiO_2 , %	53,42
Fe_2O_3 , %	0,75
TiO_2 , %	0,58
CaO , %	0,45
Насыпная плотность, кг/м ³	304 ... 447
Удельная поверхность, м ² /г	15

1.3.1.3 Жидкое стекло

В основных исследованиях при изготовлении теплоизоляционных волокнистых композитов для нейтрализации легкорастворимых органических веществ, находящихся в волокнистых наполнителях, использовали натриевое жидкое стекло, производимое на ОАО «Домановский производственно-торговый комбинат» и отвечающее требованиям ГОСТ 13078. Технические характеристики натриевого жидкого стекла представлены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 Технические характеристики натриевого жидкого стекла

Наименование показателя	Показатель
1	2
Внешний вид	Густая жидкость желто-зеленого цвета без механических включений и примесей, видимых невооруженным глазом
Силикатный модуль	2,9
рН	11-12
Плотность, г/см ³	1,450-1,470
Содержание Na ₂ O, %	8,7-12,2

1.3.2 Волокнистые наполнители

Из доступных в местном регионе органических волокнистых наполнителей растительного происхождения можно выделить следующие, подходящие для изготовления композитов:

1. Костра льна.
2. Ржаная солома.
3. Пшеничная солома.

Ориентировочный химический состав органических волокнистых наполнителей растительного происхождения возможных для изготовления разработанных композитов, приведен в таблице 1.6.

Таблица 1.6 Химический состав органических волокнистых наполнителей

Вещество	Содержание вещества для каждого вида органических волокнистых наполнителей, %		
	костра льна	ржаная солома	пшеничная солома
1	2	3	4
Целлюлоза	43,2	40...49	35...38
Гемицеллюлоза	30,1	18...18,5	20...21
Лигнин	24,4	22,9	12...14
Пентозаны	–	27-28	–
Вещества, экстрагируемые дихлорэтаном	–	2...2,6	–
Сырой протеин	–	–	0,41...0,81
Липиды	–	–	1,47
Растворимые вещества в спирте и эфире	–	–	4,2...5,3
Растворимые вещества в горячей и холодной воде	–	–	4,3...5,6
Зола	1,0	3,1...4,1	3,2...5,3
Гигроскопическая вода	–	остальное	остальное
Пектины	1	–	–

Примечание к таблице 1.6: химический состав костры льна зависит от погодных условий и района произрастания льна.

Средняя плотность органических волокнистых наполнителей растительного происхождения в неуплотненном состоянии находится в пределах 80...110 кг/м³.

При проведении предварительного обзора было установлено, что наилучшим химическим составом, структурой и долговечностью обладает ржаная солома и костра льна, которые и использовались в подборках состава.

Ржаную солому вводили как крупный наполнитель, а костра льна выступала в качестве мелкого наполнителя. Соотношение крупного и мелкого волокнистых наполнителей в смеси варьировали на стадии оптимизации смесей от 1:1 до 7:3 соответственно. Оптимальное соотношение костры льна и ржаной соломы в смеси волокнистого наполнителя, использованного при изготовлении композитов, определено на уровне 3:5 соответственно.

Размеры частиц костры льна изменялись от 1 мм до 15 мм по длине и от 0,3 мм до 1,5 мм по толщине. Фракция не более 5 мм составляла около 50% от получаемого объема продукта переработки.

Предварительная подготовка ржаной соломы заключалась в её рубке на барабанной соломорезке типа РСБ-0.1. Длина рубленых трубок соломы задавалась регулировкой расстояния между стальными ножами на вращающемся барабане соломорезки. Использовались фракции с длиной до 80 мм. При этом доля фракций до 40 мм составляла 55%.

Перед применением органических волокнистых наполнителей производилась их химическая модификация с целью нейтрализации и частичного удаления из них легкорастворимых веществ, снижающих прочность получаемых композитов. Подготовка проводилась в среде гидроксида кальция и раствора жидкого стекла.

Для того, чтобы насытить волокна костры льна ионами кальция, в опытных сериях (образцы FRA, FRG), срезы льна помещали в насыщенный известью раствор ($[Ca^{2+}] = 2 \cdot 10^{-2}M$) на 48 ч. После пропитки костру промывали водой

и дополнительно замачивали в 30% растворе жидкого стекла на 1-2 часа. Затем доставали, отжимали и подсушивали (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 Промывка костры льна перед минерализацией

1.3.3 Минеральные добавки наполнители

Применялись для изменения реологических свойств бетонной смеси, уменьшения усадочных деформаций, уменьшения водотвердого соотношения (В/Т) смеси и регулировки физико-механических характеристик получаемых материалов.

Из доступных в местном регионе наполнителей можно выделить следующие, возможные для применения:

1. По активной схеме применения (наполнители I типа, участие в химических реакциях не менее 10%):

- молотый кварцевый песок ($S_{уд} = 2000 - 3000 \text{ см}^2/\text{г}$),
- отходы водоочистки, образующиеся при шлифовке и полировке стекла на одном из местных предприятий (рисунок 1.2), ($S_{уд} = 3100 - 5100 \text{ см}^2/\text{г}$). Представляют собой тонкодисперсный порошок стекла (>90%) в небольших, легко разбиваемых комках с влажностью 20-30%. Сохранение удельной поверхности и высокая химическая активность у данного местного отхода производства наблюдается в течение 14 дней после образования.



Рисунок 1.2 Отходы водоочистки, образующиеся в отстойниках сточных вод при шлифовке и полировке стекла, использованные для изготовления опытных образцов

2. По пассивной схеме применения (наполнители II типа, участие в химических реакциях менее 10%):

- мелкий мытый речной песок с модулем крупности $M_{кр} = 1,2-1,7$.

1.4 Изготовление и хранение опытных образцов

1.4.1 Образцы серий FRG (известково-алюмосиликатный и известково-силикатный конструкционно-теплоизоляционный фибробетон с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения)

Разработанный массовый состав и водотвердое соотношение приведены в таблице 1.7.

Таблица 1.7 Состав образцов серии FRG-1ALS, FRG-2LS

№	Наименование компонента	Соотношение компонентов в %, для образцов	
		FRG-1ALS	FRG-2LS
1	Известь воздушная негашеная, порошкообразная, без добавок	25,5	35
2	Известь гидратная без добавок	2,5	3
3	Метакаолин	25	–
4	Отходы водоочистки, образующиеся при шлифовке и полировке стекла (либо молотый кварцевый песок)	26	42

5	костра льна и ржаная солома в соотношении 3:5 соответственно*	17*	17*
6	жидкое стекло	3	3
7	NaOH	1	–
8	В/Т	0.85	0,6

*- ориентировочное значение в зависимости от особенностей произрастания

1.4.1.1 Технология производства. Подготовительные операции.

Известь воздушную негашеную, порошкообразную, отвешенную в количестве массы, необходимом на один замес, гасят количеством воды, соответствующей её массе. Солому измельчают на соломорезке до фракций 2-8 см. Костру льна предварительно просеивают через вибросито с размером ячеек 10 мм. Костра льна и солома подготавливаются в соответствии с п. 1.3.2. Затем волокнистые наполнители, костру льна и солому смешивают в соотношении 3:5, промывают и замачивают в 30% растворе жидкого стекла на 1...2 часа. Затем извлекают из раствора жидкого стекла, отжимают и подсушивают.

Приготовление смеси

Приготавливается смесь состава, приведенного выше, при этом учитывается количество воды в гасителе извести.

В смеситель принудительного перемешивания (конструкции, исключающей наматывание волокнистых наполнителей на вал и лопасти), загружаются:

1. Метакаолин (для состава FRG-1ALS).
2. Отходы водоочистки, образующиеся при шлифовке и полировке стекла (либо молотый кварцевый песок).
3. Известь из гасителя вместе с водой.

Вязущее интенсивно перемешивается до получения однородной гомогенной массы, затем добавляются

4. Вода (с учетом воды, добавленной с известью из гасителя) с растворенной в ней щелочью (для состава FRG-1ALS).

5. Костра льна и ржаная солома.

Смесь перемешивается 120-360 сек в смесителе принудительного действия и выгружается в формы или опалубку. Варьируя содержание волокнистого наполнителя в составе смеси и в зависимости от технологии укладки и уплотнения, можно создавать композиты с плотностью в сухом состоянии от 600 до 1000 кг/м³ и более. При наличии технической возможности, допустимо осуществлять гашение извести в смесителе при изготовлении исходной смеси, увеличивая время перемешивания (при этом увеличивается температура смеси, и улучшаются механические параметры получаемого композита). Главной особенностью изготовления смеси любым способом является равномерное распределения каждого сырьевого материала в общей массе без образования флоккул, что должно обеспечиваться правильным подбором смесителя. Поэтому предпочтительно предварительное интенсивное перемешивание сухих компонентов, как по отдельности, так и всех вместе.

Время твердения получаемого композита зависит от температуры и активности компонентов, входящих в состав смеси, и составляет, как правило, от 7 до 40 суток в естественных условиях при температуре $18 \pm 2^\circ\text{C}$, без дополнительной интенсификации, в летний период. При большой толщине изделий и их возможной механической обработке необходимо в составы с плотностью более 750 кг/м³ вводить добавки ускорители карбонизации.

Процесс набора прочности (твердение композита) может быть интенсифицирован при размещении его в камере с температурой до 65°C и, в дальнейшем – в камере сушки с температурой до 90°C, оборудованной автоматизированной системой контроля влажности теплоносителя для уменьшения трещинообразования.



Рисунок 1.3 Образцы серии FRG-1ALS, изготовленные в формах



Рисунок 1.4 Образец FRG-1ALS, выпиленный из массива



Рисунок 1.5 Образцы серий FRG-2LS, изготовленные в деревянном каркасе

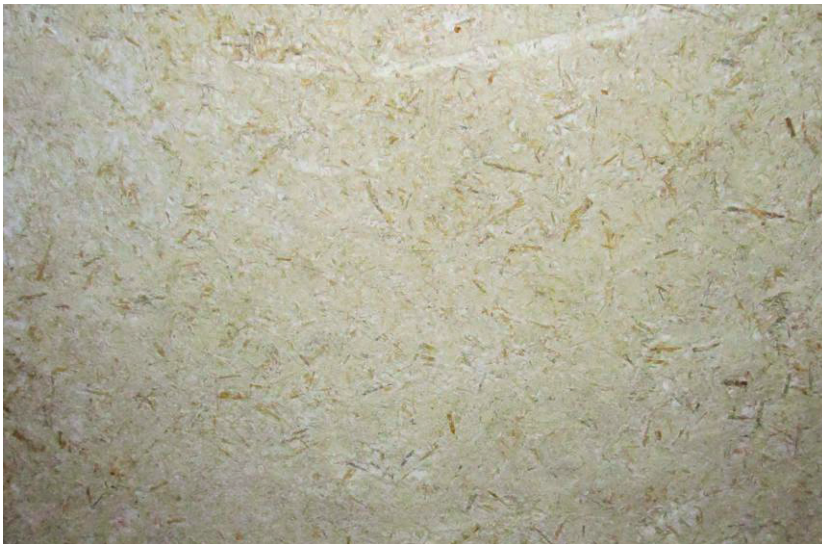


Рисунок 1.6 Поверхность образца серии FRG-2LS
плотностью в сухом состоянии 800-900 кг/м³



Рисунок 1.7 Поверхность образца серии FRG-2LS
плотностью в сухом состоянии 600-700 кг/м³

1.4.2 Образцы серий FRA (неавтоклавный известково-силикатный газопластобетон на смешанном вяжущем и известково-силикатный газопластобетон на известковом вяжущем с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения)

Составы смесей (в % по весу), примененных для получения двух видов теплоизоляционных газобетонов, приведены в таблице 1.8.

Таблица 1.8 Состав исходной смеси для получения образцов серии FRA-3CLS, FRA-4LS

№	Наименование компонента	Массовое количество для составов, %	
		FRA-3CLS	FRA-4LS
1	2	3	4
1	Известь воздушная негашеная, порошкообразная, без добавок	30,0	33,65
2	Известь гидратная без добавок	3,0	3,0
3	Портландцемент СЕМ I 42,5R	14,65	–
4	Отходы водоочистки, образующиеся при шлифовке и полировке стекла (либо молотый кварцевый песок)	34	44
5	костра льна и ржаная солома в соотношении 3:5 соответственно	15*	16*
6	жидкое стекло	3	3
7	Алюминиевый порошок ПАП2	0,35	0,35
8	В/Т	0.85	0,68

*- ориентировочное значение в зависимости от особенностей произрастания

1.4.2.1 Технология изготовления опытных образцов. Подготовительные операции.

Солому измельчали на соломорезке до фракций 2-8 см. Костру льна предварительно просеивали через вибросито с размером ячеек 10 мм. Затем костру льна и солому подготавливали в соответствии с п. 1.3.2. Затем волокнистые наполнители костры льна и соломы смешивали в соотношении 3:5, промывали и замачивали в 15-30% растворе жидкого стекла на 1-2 часа. Затем смесь волокнистых наполнителей извлекали из раствора, отжимали и подсушивали.

Приготовление смеси

Исходную смесь, имевшую состав, приведенный в таблице 1.8 приготавливали в следующей очередности.

В смеситель принудительного перемешивания (конструкции исключающей наматывание волокнистых наполнителей на вал и лопасти) загружали:

1. Сухие отходы водоочистки, образующиеся при шлифовке и полировке стекла (мелкий либо молотый кварцевый песок).
2. Известь воздушную негашеную, порошкообразную без добавок.
3. Алюминиевую пудру.
4. Портландцемент СЕМ I 42,5R (для состава FRA-3CLS).

Перечисленные компоненты перемешивают в сухом состоянии в течение 30-60 сек, затем, после перемешивания добавляются:

5. Вода.
6. Ранее приготовленная смесь костры льна и ржаной соломы.

Компоненты смеси перемешивают в течение 60-75 сек в смесителе принудительного действия и выгружают в формы или опалубку. Главной особенностью изготовления смеси является равномерное распределение каждого сырьевого материала в общей массе без образования флоккул, что должно обеспечиваться правильным подбором смесителя. Поэтому предпочтительно предварительное интенсивное перемешивание сухих компонентов, как по отдельности, так и всех вместе. Время вспучивания составляло 1-2 часа. Время твердения было обусловлено влиянием температуры и активностью компонентов и составляло от 20 до 40 суток без дополнительной интенсификации, в естественных условиях при температуре $18 \pm 2^{\circ}\text{C}$. При большой толщине изделий и их возможной механической обработке необходимо в данный состав вводить добавки ускорители карбонизации.



Рисунок 1.8 Образцы из серий FRA-3CLS
(неавтоклавный известково-силикатный газозифибробетон на смешанном вяжущем)



Рисунок 1.9 Образец серии FRA-4LS
(неавтоклавный известково-силикатный газозифибробетон на известковом вяжущем)



Рисунок 1.10 Поверхность образца серии FRA-4LS (неавтоклавный известково-силикатный газопластбетон на известковом вяжущем)

1.5 Методы проведения исследований

Механические и физические свойства исследуемых композитов определяли испытаниями серий образцов, изготовленных в металлических формах или выпиленных из массива, в возрасте 28-40 суток. Количество испытываемых образцов одного размера, включенных в одну серию, составляло не менее трех.

Определение прочности на сжатие композитов производили испытанием образцов-кубов с длиной ребра 100мм по ГОСТ 10180. Для композитов, имеющих большое содержание волокна и не имеющих четко выраженного разрушения, прочность определяли по ГОСТ 17177-94 п.13 по усилию при 10% деформации.



Рисунок 1.11 Испытание образцов кубов с длиной ребра 100мм на сжатие

Прочность вяжущих определяли по ГОСТ 310.1, ГОСТ 310.4 на образцах балочках 4x4x16см.



Рисунок 1.12 Определение прочности при изгибе и сжатии вяжущих на образцах балочках

Плотность композитов в сухом состоянии определяли на образцах правильной геометрической формы по ГОСТ 12730.0 и ГОСТ 12730.1.



Рисунок 1.13 Высушивание образцов в сушильном шкафу



Рисунок 1.14 Взвешивание образцов с точностью 0,1 грамм

Деформации усадки вяжущих материалов были установлены по результатам испытаний образцов-призм с размерами $40 \cdot 40 \cdot 160$ мм и $50 \cdot 50 \cdot 200$ мм по СТБ 1570, а собственно композитов, измерением величин деформаций непосредственно на образцах (массивах).



Рисунок 1.15 Определение деформаций усадки вяжущих

Определение теплопроводности разрабатываемых композитов производилось по СТБ 1618.

Образцы балочки 40•40•160 мм и образцы кубы с длиной ребра 100 мм изготавливали в металлических формах. Образцы непосредственно после изготовления, для защиты от высыхания, укрывали полиэтиленовой пленкой.

1.6 Результаты экспериментальных исследований и их анализ. Характеристики полученных составов

Основные характеристики разработанных композитов, на основе костры льна и ржаной соломы, определенные по результатам испытаний опытных серий FRG-1ALS, FRG-2LS, FRA-3CLS, FRA-4LS, приведены в таблице 1.9. и показаны на рисунках 1.16, 1.17 и 1.18.

Таблица 1.9 Физико-механические характеристики образцов серии FRG-1ALS, FRG-2LS, FRA-3CLS, FRA-4LS

№	Серия	Плотность, ρ [kg/m ³]	Теплопроводность в сухом состоянии, λ Вт/м°C	Прочность при сжатии, $f_{c,28}$ N/mm ²	Усадка [мм/м] вяжущее / композит	Толщина стены, d_N для $R = 3,2$ м ² C/Вт, [мм]	Масса необходимая для теплоизоляции 1 м ² стены, кг
1.	FRG-1ALS	770	0.21	1.5	3/7.0	640	490
2.	FRG-2LS	650	0.15	0.5	4/8.0	480	312
3.	FRA-3CLS	375	0.10	0.45	3/9.0	320	120
4.	FRA-4LS	435	0.11	0.28	4/14.0	355	155

Примечания:

1. Характеристики образцов определяли в возрасте 28 суток.
2. Теплопроводность, толщина стены и масса в реальных условиях равновесной влажности композитов с окружающей средой могут быть выше до 20%.
3. Прочность образцов серий FRG-2LS и FRA-4LS определялась по ГОСТ 17177-94 п.13.

Полученные композиты серии FRG-1ALS, FRG-2LS характеризовались наиболее высокой плотностью и соответственно, наибольшей из всех составов теплопроводностью, которая для условий эксплуатации Б по ТКП 45-2.04-43-2006 [2] может достигать 0,24 Вт/м²С. Однако композиты этих составов также характеризуются и наибольшей прочностью (при плотности в сухом состоянии более 750 кг/м³), что позволяет классифицировать их как конструкционные материалы, способные воспринимать кроме своего собственного веса и дополнительные нагрузки. Следует отметить, что эти составы имеют наименьшую из всех составов усадку. Из данных составов, варьируя содержание волокнистого наполнителя и в зависимости от технологии укладки и уплотнения, можно создавать композиты с плотностью в сухом состоянии от 600 до 1000 кг/м³ с прочностью на сжатие от 0,3 МПа до 2,5 МПа.

Однако, для достижения требуемого сопротивления теплопередаче по ТКП 45-2.04-43-2006 [2] толщина стены может варьироваться от 450 до 640 мм и более, что является неприемлемым результатом для назначенных критериев в п. 1.1.1. Однако, композит этого состава может применяться в слоистых конструкциях с отдельным наружным теплоизоляционным слоем, повышая температурную стабильность помещений за счет большей собственной теплоемкости. Композит типа FRG-2LS является наиболее простым в технологии производства и обладает наименьшей стоимостью.

Полученный композит серии FRA-3CLS характеризуется невысокой плотностью и, соответственно, небольшой теплопроводностью, которая для условий эксплуатации Б по ТКП 45-2.04-43-2006 [2] может достигать 0,12 Вт/м²С. При этом композит этого состава имеет небольшую прочность (до 0,6 МПа), что делает его только теплоизоляционным материалом, способным воспринимать нагрузку только от собственного веса ограниченной высоты. За счет применения в вяжущем цемента, композит этого состава имеет меньшую усадку и меньшие сроки набора прочности, чем состав серии FRA-4LS. Для достижения требуемого сопротивления теплопередаче

по ТКП 45-2.04-43-2006 [2] толщина стены может достигать 320...380 мм, что является приемлемым результатом для назначенных критериев в п. 1.1.1.

Полученный композит серии FRA-4LS характеризуются невысокой плотностью и, соответственно, небольшой теплопроводностью, которая для условий эксплуатации Б по ТКП 45-2.04-43-2006 [2] может достигать 0,14 Вт/м[°]С. При этом композит приведенного состава имеет наименьшую из всех прочность (0,1...0,4 МПа), что делает его только теплоизоляционным материалом, способным воспринимать нагрузку только от собственного веса ограниченной высоты. Однако, за счет отсутствия цемента, этот состав является более экологичным, но имеет наибольшую усадку и большие сроки набора прочности, чем состав серии FRA-3CLS. Для достижения требуемого сопротивления теплопередаче по ТКП 45-2.04-43-2006 [2] толщина стены может достигать 350...410 мм, что является приемлемым результатом для назначенных критериев в п. 1.1.1.

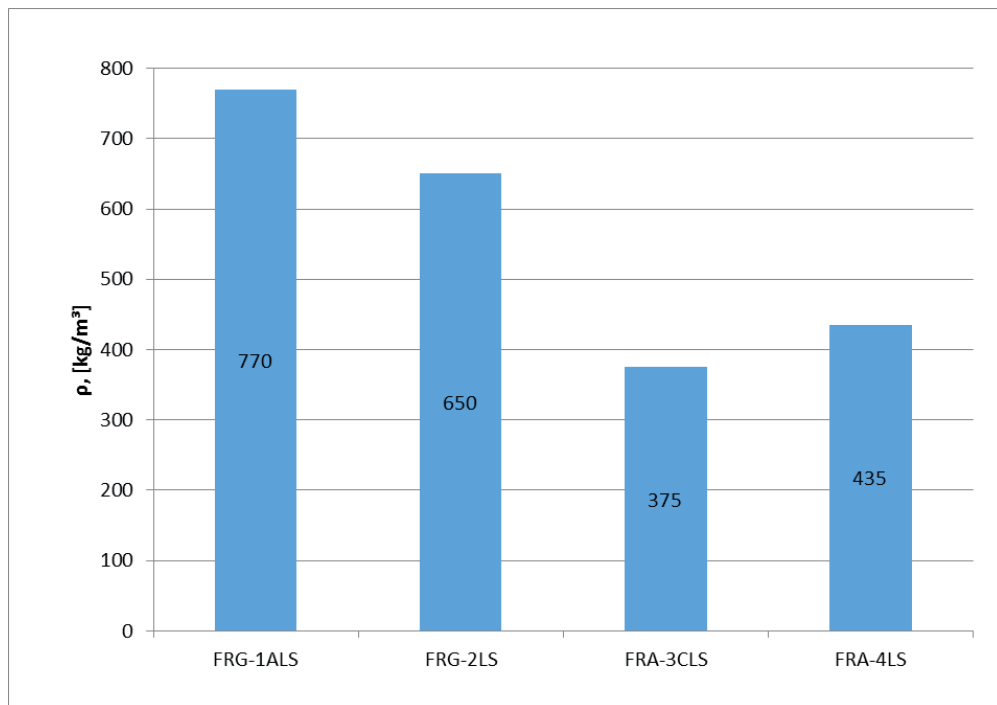


Рисунок 1.16 Средняя плотность изготовленных композитов

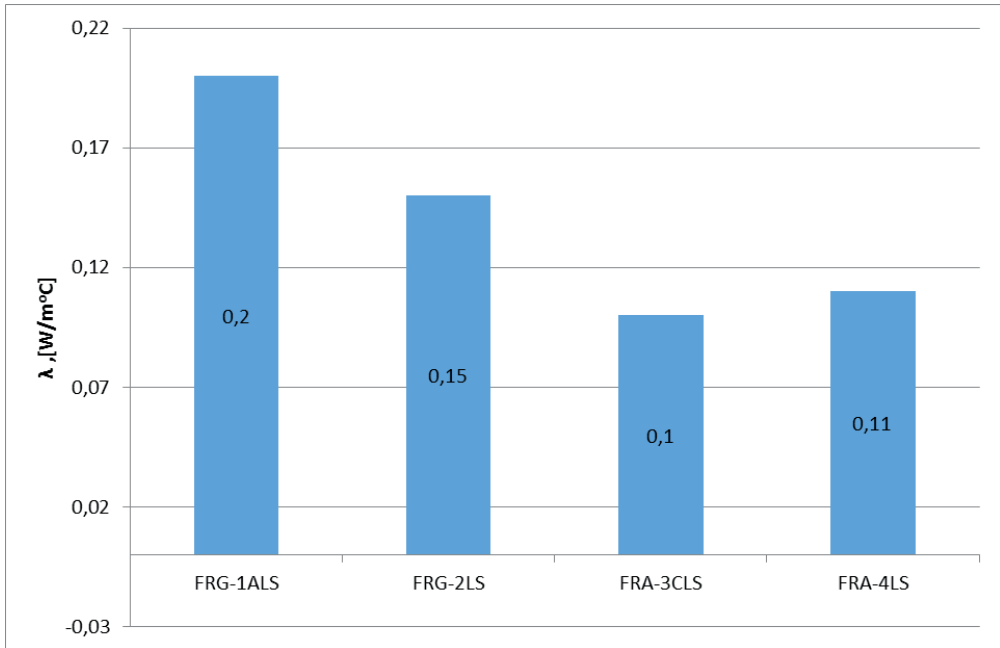


Рисунок 1.17 Средняя теплопроводность изготовленных композитов

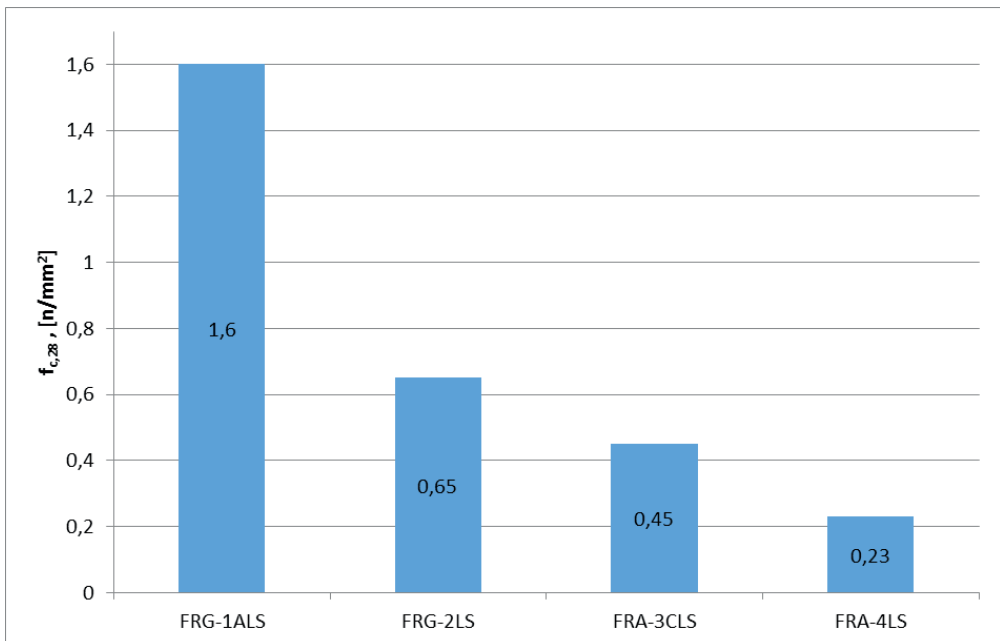


Рисунок 1.18 Средняя прочность при сжатии изготовленных композитов

1.7 Рекомендации по применению композитов разработанных и исследованных составов

Составы смесей, примененные при получении композитов серии FRG-1ALS, FRG-2LS, являются пригодными для изготовления стеновых несущих блоков (при плотности более 750 кг/м^3). Являются пористыми конструкционно-теплоизоляционными экологичными материалами без применения цемента.

Композит типа FRG-2LS является наиболее простым в технологии производства и недорогим. Композит типа FRG-2LS при плотности $600\text{-}700 \text{ кг/м}^3$ является самым эффективным при применении в рекомендуемой конструкции стены, приведенной на рисунках 1.19, 1.20.

Композит серии FRA-3CLS, является пригодным для изготовления стеновых ненесущих блоков или монолитных конструкций, заливаемых непосредственно на объекте. Является высокопористым теплоизоляционным материалом с минимальным применением цемента. При применении специальных технологических мер возможно его применение в рекомендуемой конструкции стены, приведенной на рисунках 1.19, 1.20.

Композит серии FRA-4LS является пригодным для изготовления стеновых ненесущих блоков или монолитных конструкций, заливаемых непосредственно на объекте. Является высокопористым теплоизоляционным материалом без применения цемента. При применении специальных технологических мер, возможно его применение в рекомендуемой конструкции стены, приведенной на рисунках 1.19, 1.20.

Рекомендуемый вариант наружной стеновой ограждающей конструкции для малоэтажных индивидуальных домов

Данная конструкция наружной стены в поперечном сечении представляет собой 2 однотипные панели,

изготавливаемые на заводе или непосредственно на возводимом объекте в тёплое время года. Панели могут изготавливаться в горизонтальном положении, лицом (плотным известково-силикатным слоем) вниз или вверх, по технологической схеме, приведенной в пункте 1.8 на рисунке 1.21. После достижения влажности, близкой к равновесной, панели устанавливаются плотным защитным слоем 1 наружу. Зазор между панелями способствует снижению влажности композита теплоизоляционного слоя в первое время эксплуатации. Панели могут изготавливаться различной толщины для точного обеспечения нужных характеристик по теплопередаче при строительстве в разных районах.

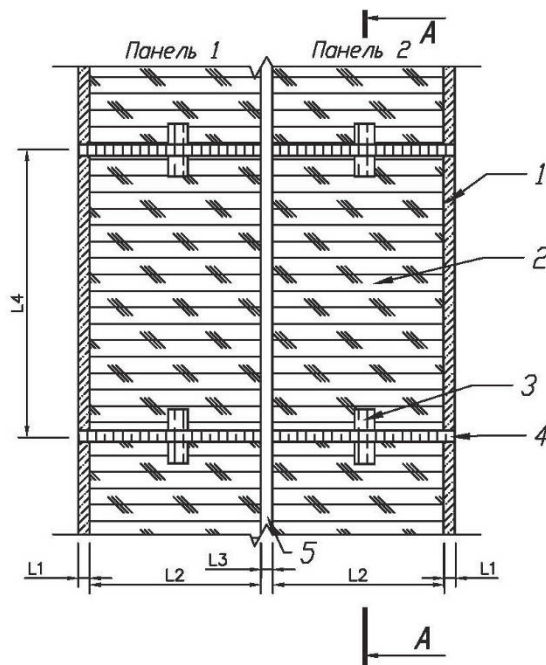


Рисунок 1.19 Поперечный разрез стены В-В

- 1 – Наружный (внутренний) известково-силикатный слой
- 2 – Внутреннее заполнение из композитного материала серии FRG-1ALS, FRG-2LS, FRA-3CLS, FRA-4LS
- 3 – Горизонтальные обвязочные бруски фиксации заполнения теплоизоляционным композитом
- 4 – Горизонтальные элементы каркаса панели
- 5 – Воздушная прослойка между панелями (10-20мм) для удаления влаги

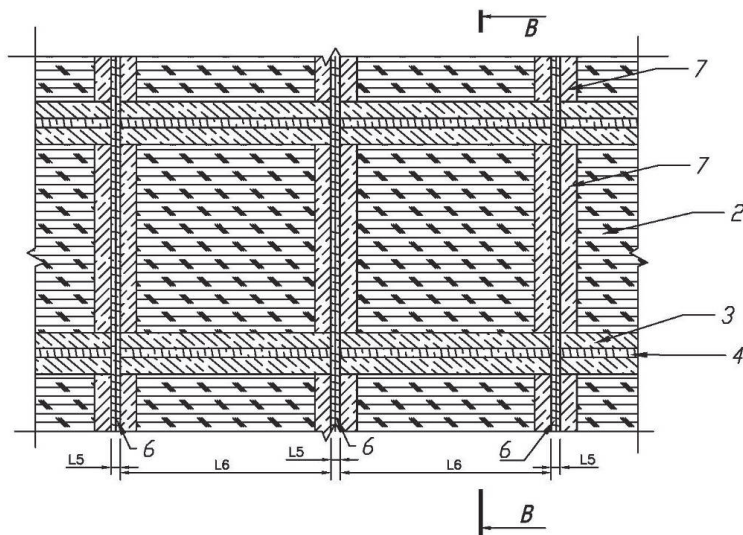


Рисунок 1.20 Продольный разрез стены А-А

2 – Внутреннее заполнение из композитного материала серии FRG-1ALS, FRG-2LS, FRA-3CLS, FRA-4LS

3 – Горизонтальные обвязочные бруски фиксации заполнения теплоизоляционным композитом

4 – Горизонтальные элементы каркаса панели

6 – Вертикальные элементы каркаса панели

7 – Вертикальные обвязочные бруски фиксации заполнения теплоизоляционным композитом

Обозначенные размеры на рисунках 1.19, 1.20:

L1 – толщина наружного (внутреннего) известково-силикатного слоя (10-15 мм),

L2 – толщина заполнения из композитного материала одной панели (170-250 мм),

L3 – толщина воздушной прослойки между панелями (10-20мм) для удаления влаги,

L4 – высота заполнения из композитного материала одной ячейки панели (500 -700 мм),

L5 – толщина вертикальных стоек, образуемых двумя сторонами (30-50 мм),

L6 – ширина заполнения из композитного материала одной панели (500-750 мм).

Данное решение является технологичным с точки зрения заводской организации производства панелей и высокой скорости возведения из них жилых домов.

1.8 Технологическая схема производства стеновых панелей из древесины с композитным заполнением

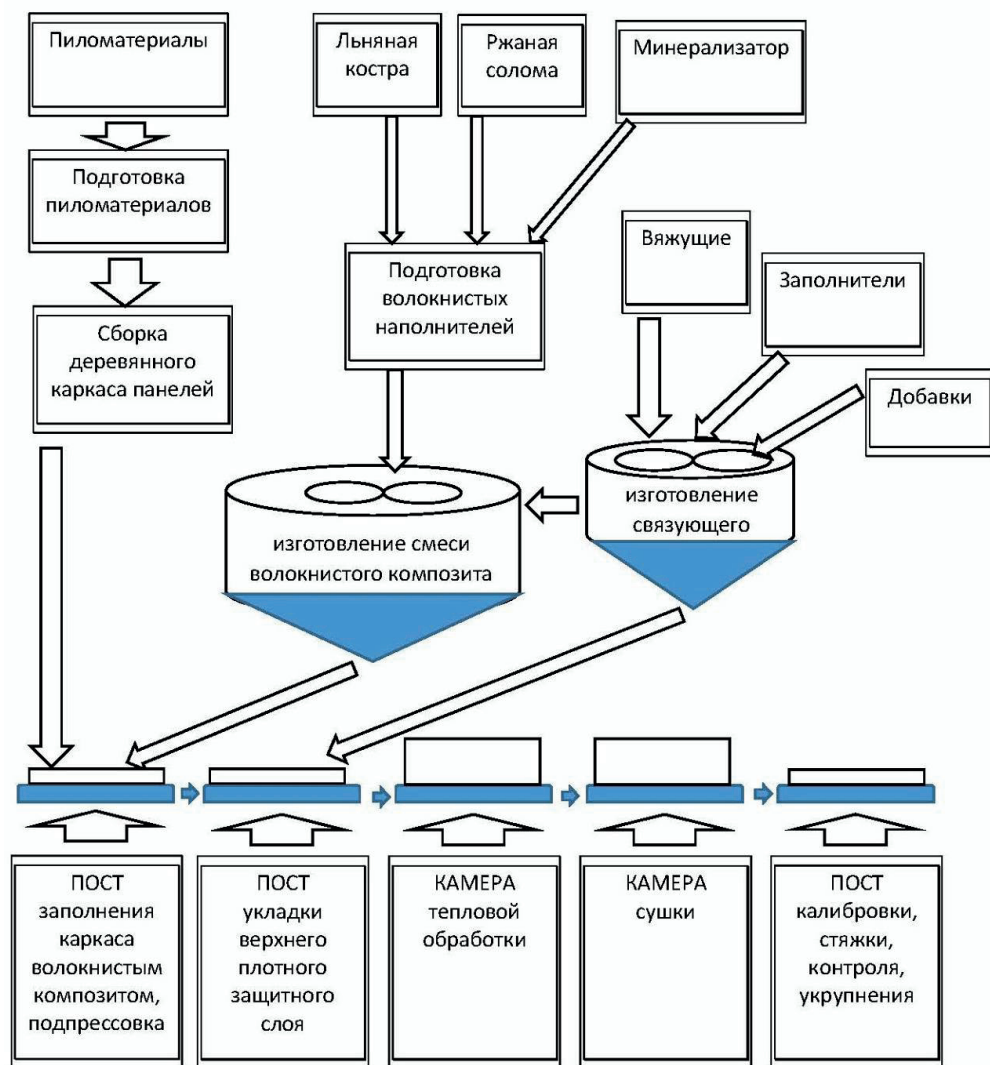


Рисунок 1.21 Технологическая схема производства стеновых панелей для каркасного домостроения

Данная технологическая схема предусматривает следующие операции:

1. Изготовление деревянного каркаса:

- нарезка пиломатериалов на необходимую длину;
- сборка плоских элементов;
- сборка объемных элементов (панелей) с установкой деформируемых вкладышей для возможности компенсации влажностной усадки;
- увлажнение объемных панелей.

2. Изготовление связующего:

- дозирование порошкообразных компонентов;
- гашение извести;
- перемешивание в смесителе;
- выдача смеси вяжущего на пост формирования защитного слоя и в смеситель волокнистой массы;

3. Изготовление смеси волокнистого композита:

- рубка соломы;
- просеивание костры;
- смешивание волокнистых наполнителей;
- промывка и минерализация волокнистой массы;
- смешивание волокнистой массы и связующего;
- выдача смеси на пост формования;

4. Формование панелей:

- укладка волокнистой массы;
- подпрессовка;
- укладка защитного слоя;
- заглаживание и (или) отделка верхней поверхности;

5. Тепловая обработка панелей:

- нагрев и изотермическая выдержка в камере ускорения твердения;
- сушка в среде с регулируемой влажностью для минимизации проявления деформаций из-за градиента влагосодержания;

5. Заключительные операции:

- калибровка (стяжка) панелей для обжата внутреннего заполнения (в случае необходимости);
- контроль показателей качества отдельных панелей;
- укрупнительная сборка панелей (в случае необходимости).

Библиография

1. ISO 14040 (2006): Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. International Organization for Standardization (ISO).
2. ТКП 45-2.04-43-2006: Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования.
3. Guinée (2001): Life cycle assessment. An operational guide to the ISO standards. Part 1: LCA in perspective. Part 2a: Guide. Part 2b: Operational annex. Part 3: Scientific Background. Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM) and Centre of Environmental Science, Leiden, Nederlande.

РАЗДЕЛ II

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНЫХ СТЕНОВЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

При оценке воздействия жизненного цикла LCA различных строительных материалов на экологию может использоваться метод CML [5]. Метод учитывает различные воздействия на окружающую среду с соответствующими экологическими показателями эффективности.

Для такого сравнения выделяются два основных экологических показателя:

1. GWP (потенциал глобального потепления, эквивалент кг CO₂) учитывает все выбросы газов (например, CO₂, CH₄, N₂O и других), которые содействуют парниковому эффекту.

2. ADP (абиотический потенциал истощения ресурсов, кг эквивалент Sb (кг)) используется как индикатор потребления природных, не живых, не возобновляемых ресурсов (например, металлические руды, сырая нефть).

В зависимости от вида строительных материалов в экологический баланс также включаются разные наборы показателей. Например, подкисление; экологическая токсичность; эвтрофикация; ионизирующее излучение; разрушение озонового слоя и др.

При экологической оценке выше перечисленных материалов неавтоклавные композиты с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения показывают в зависимости от организации технологии производства и применяемого сырья улучшенные на 20-75% экологические показатели по сравнению с традиционными на сегодняшний момент пенополистиролом, минеральной ватой и газосиликатом.

Другой не менее важной и взаимосвязанной стороной эффективного применения теплоизоляционных материалов является их экономический положительный эффект. Основными экономическими показателями являются стоимость производства и время окупаемости, где так же более эффективными могут являться экологичные неавтоклавные композиты с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения представленные выше.

Общая стоимость материалов для строительных конструкций из неавтоклавного известково-силикатного теплоизоляционный фибробетона с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения, неавтоклавного теплоизоляционного газопенобетона на цементном вяжущем и газосиликата из расчета на 1 м³ в ценах сентября 2015 года представлена в таблице 2.1.

Таблица 2.1 Сравнительная стоимость материалов для строительных конструкций из расчета тыс. руб. на 1 м³

№	Наименование компонента	Характеристики сопоставимых составов		
		неавтоклав- ный известко- во-силикатный теплоизо- ляционный фибробетон с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения	неавтоклав- ный тепло- изоляцион- ный газофи- бробетон на цемент- ном вяжу- щем	газоси- ликат
1	Известь воз- душная, не- гашеная, по- рошкообраз- ная, без добавок	387,5	–	238,5
2	Известь гидрат- ная без добавок	10	7,4	–
3	Цемент СЕМ I 42.5R	–	372,1	153,2
4	молотый квар- цевый песок	1 333,8	1 186,6	1 729,0
5	костра льна и ржаная солома в соотношении 3:5 соответ- ственно	30	–	–
6	полипропилен- овая фибра (ВСМ II 12)	–	72,0	–

7	жидкое стекло	52,8	–	–
8	газообразова- тель алюми- ни- евая пудра	–	31,8	37,1
9	вода	1 012,0	1 251,2	1 058,0
10	Повышающий коэффициент	1,05	–	–
	ИТОГО	2 826,1	2 921,1	3 215,8

На рисунке 2.1 представлена конечная стоимость материалов для строительных конструкций на основании указанных выше технологий.

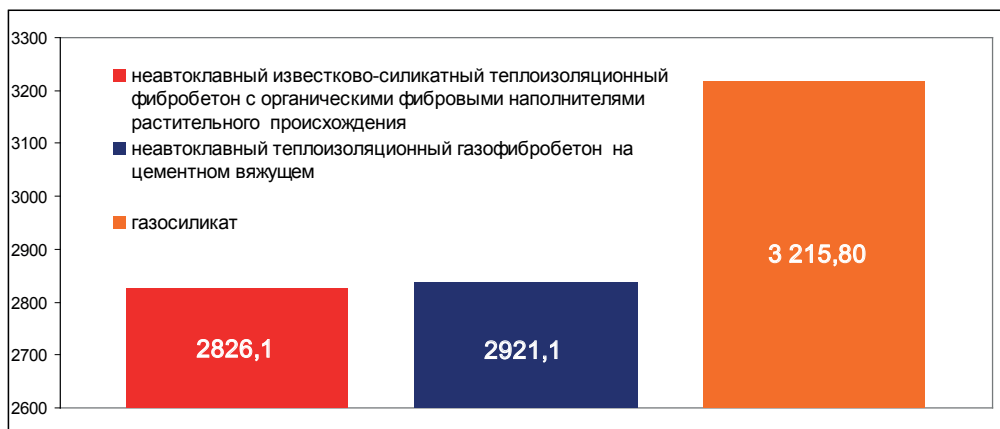


Рисунок 2.1 Стоимость 1 м³ стеновой конструкции с учетом различных технологий, тыс. руб.

Самым дорогим стеновым материалом является газосиликат по сравнению с которым неавтоклавный известково-силикатный теплоизоляционный фибробетон с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения дешевле на 12,15%, а неавтоклавный теплоизоляционный газопенобетон на цементном вяжущем на 9,16%.

С учетом того, что отличительной особенностью технологии производства фибробетона с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения является

необходимость подготовки волокнистых наполнителей, то конечная стоимость может несколько вырасти. Необходимы операции нарезки, промывки 2-3 раза и минерализации (известь, жидкое стекло).

По двум другим технологиям так же есть процессы приводящие к удорожанию конечного материала. Так при изготовлении газопластбетона на цементном вяжущем нужно точно подбирать температуру воды в зависимости от внешних условий, высока вероятность брака при не соблюдении технологии. Так же необходима абсолютно герметичная опалубка так как смесь по консистенции как вода. Для газопластбетона необходим автоклав и тонкий помол извести вместе с песком с высокими удельными затратами энергии, что последний материал делает еще более дорогим и не конкурентоспособным.

Если учесть, что стоимость стенового материала при возведении типового дома на одну семью составляет 30%, то при стоимости такого дома (коробка дома) из газопластбетона 705,4 млн. руб., стоимость дома из фибробетона с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения составит 658,53 млн. руб. или на 6,64% дешевле, при использовании неавтоклавного теплоизоляционного газопластбетона на цементном вяжущем стоимость составит 686,0 млн. руб. или на 2,75% дешевле.

Кроме вышеуказанных ценовых преимуществ использование фибробетона с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения сокращение выбросы CO_2 , т.к. не при данной технологии не используется цемент. Производство цемента выделяет около 5% мировых выбросов CO_2 связанных с деятельностью человека, и 3% глобальных выбросов всех парниковых газов. Для сравнения, на транспортный сектор приходится около 15% глобальных выбросов парниковых газов, поэтому производство цемента оказывает существенное влияние на экологию.

Библиография

1. <http://chm.pops.int/Portals/0/download.aspx?d=UNEP-POPS-POPRC8FU-COMM-LE-HBCD-Recommend.Ru.pdf>
2. <http://www.allbeton.ru/wiki/Гексабромциклододекан+характеристика+рисков/>
3. ISO 14040 (2006): Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. International Organization for Standardization (ISO).
4. Ecoinvent (2010). Database. Ecoinvent version 2.1.
5. Guinée (2001): Life cycle assessment. An operational guide to the ISO standards. Part 1: LCA in perspective. Part 2a: Guide. Part 2b: Operational annex. Part

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С каждым днем все более востребованными становятся энергосберегающие технологии. Рациональное энергопотребление позволяет существенно снизить затраты денежных средств на отопление домов и квартир. Энергосбережение сейчас становится одним из основных приоритетов в деятельности любой компании. Эффект от внедрения данных технологий затрагивает не только строительные организации, но и конечного владельца дома, офисного здания или торгового центра. Инвесторы, участвуя в подобных энергосберегающих проектах, получают возможность выгодных инвестиций.

Однако все большее количество людей во всем мире начинают заботиться и об экологичности строительства, использовании возобновляемых источников энергии. Причиной данного явления стала высокая стоимость энергоносителей, их ограниченность, а также загрязнение окружающей среды. Использование тех или иных материалов в промышленности вообще и в строительстве, в частности, - вопрос времени и развития общества. Когда-то жилища утепляли соломой и опилками, потом им на смену пришли пенопласты и минеральные ваты. Сегодня они не отвечают требованиям, предъявляемым к теплоизоляционным материалам, претендующим на использование в современном энергоэффективном и экологически чистом строительстве. Для соответствия стандартам энергоэффективности и безопасности строительства требуются новые материалы

и технологии. Энергоэффективность и экологичность должны стать ключевыми факторами на стадиях проектирования и строительства зданий и сооружений.

Результаты выполненного исследования позволяют сделать следующие основные выводы:

1. Природные возобновляемые материалы растительного происхождения, в частности костра льна и ржаная солома, являются довольно привлекательным сырьевым материалом для получения легких композитов как с использованием газо- или пенообразователей так и без. При этом могут рассматриваться два основных направления их применения: как в качестве наполнителя структуры композита, либо в качестве фибрового армирующего элемента, обеспечивающего улучшение прочностных характеристик. При этом в настоящий момент они являются одними из самых дешевых порообразователей и элементов объемного армирования композитных воздухопроницаемых материалов на основе минеральных вяжущих с практически нулевым негативным воздействием на окружающую среду.

2. Исследованные составы легких композитов с применением костры льна и ржаной соломы позволяют получать конструкционно-теплоизоляционные материалы с плотностью от 375 кг/м^3 до 1000 кг/м^3 и более.

Композит FRG-2LS обладает рядом преимуществ с точки зрения технологии изготовления, необходимого сырья и невысоких стоимостных показателей по сравнению с другими описанными в данной работе композитами. При плотности $600\text{-}700 \text{ кг/м}^3$ этот композит может быть эффективно использован в конструкции стен монолитного исполнения как в качестве материала, заполняющего стеновые панели, конструкции, предложенные в данной работе.

Композиты серии FRA-3CLS, FRA-4LS могут быть эффективно применены для изготовления стеновых блоков несущих или монолитных стен возводимых непосредственно на строительном объекте. Они также могут быть применены в качестве заполнения стеновой панели предложенной в данной работе при соблюдении специальных технологических мер.

ROZDZIAŁ I

BADANIA EKSPERYMENTALNE DOTYCZĄCE EKOLOGICZNYCH KOMPOZYTÓW TERMOIZOLACYJNYCH ZAWIERAJĄCYCH ORGANICZNE WYPEŁNIACZE FIBROWE ORAZ SPOIWA WAPIENNE W PROCESIE TWARDNIENIA BEZ UŻYCIA METODY AUTOKLAWOWEJ

W celu osiągnięcia trwałego i stabilnego rozwoju każdego kraju i zachowania eksploatowanych przez kraj ekosystemów, wymaga się zwiększenia bardziej efektywnego wykorzystania zasobów naturalnych. W tym celu konieczna jest restrukturyzacja procesów produkcyjnych, poprzez opracowanie i wdrożenie innowacji ekologicznych w dowolnych sferach działalności człowieka. Jednakże, w sferze innowacji ekologicznych, występuje szereg „awarii” rynkowych i systemowych, zwłaszcza w motorze gospodarki każdego kraju – branży budowlanej. Prowadzi to do niedoinwestowania badań naukowych i technologii i w następstwie, do pogorszenia parametrów ekologicznych ekosystemów lokalnych i światowych, przeinwestowania budownictwa i wzrostu jego cen i ograniczonej dostępności. Dlatego też, aby zapewnić stabilne bodźce zarówno dla innowacji ekologicznych, jak i gospodarczych, należy wybrać odpowiednie instrumenty polityki ekologicznej, a także opracować przykłady możliwych rozwiązań naukowo-praktycznych, jakim poświęcony jest niniejszy projekt.

1.1 Metodyka badań

1.1.1 Główne kryteria doboru spoiw mineralnych i organicznych wypełniaczy fibrowych pochodzenia roślinnego

Celem niniejszych badań było uzyskanie materiałów kompozytowych zgodnie z następującymi kryteriami:

1. Ekologia.
2. Kinetyka wytrzymałości kompozytów w warunkach naturalnego twardnienia.
3. Możliwość wysokiej powtarzalności (odtwarzalności) w budownictwie w warunkach lokalnych bez użycia specjalnego, mało powszechnego sprzętu, skomplikowanych i pracochłonnych operacji technologicznych.
4. Wykorzystanie odnawialnych i (lub) dostępnych podstawowych składników mieszanki do produkcji kompozytu.
5. Minimalny negatywny wpływ na środowisko całego cyklu życiowego (LCA zgodnie z DIN ISO 14040 [1]) uzyskanego materiału, w stosunku do tradycyjnych materiałów (o dużej zawartości cementu lub o zwiększonej wytrzymałości (autoklawy)).
6. Zapewnienie, zgodnie z wymaganymi normami, właściwości termoizolacyjnych, z możliwością uzyskania współczynnika oporu przenikania ciepła dla konstrukcji odgrzewającej o grubości do 50 cm, równego $3,2 \text{ m}^2\text{C/W}$ (zgodnie z wymaganiami TAP 45-2.04-43-2006 [2]).
7. Zastosowanie w kompozycjach części materiałów z niewielką możliwością ewentualnego wykorzystania lub odpadów produkcyjnych.
8. Długotrwałość.
9. Aktywna termoregulacja.
10. Bezpieczeństwo przeciwpożarowe zgodne z normami regionalnymi.
11. Odpowiednia izolacja akustyczna i komfort akustyczny.
12. Mrozoodporność.

13. Odpowiednie właściwości technologiczne: przyczepność, urabialność itd.
14. Co najmniej 1,5 razy krótszy okres zwrotu w warunkach lokalnych w porównaniu do materiałów tradycyjnych.
15. Najbardziej obiecujące pod względem możliwości użycia w budowlanych materiałach kompozytowych są odpady zakładów chemicznych, żużel, popiół, glina nietechnologiczna, skały boczne, odpady z obróbki szkła, obróbki metali i stopów, odpady przemysłu ceramicznego, przemysłu silikatowego. Zastosowanie tych materiałów w budownictwie może odbywać się w dwóch kierunkach:

1. Biernym (utyliczacja odpadów, zmiana właściwości fizycznych z nieznacznym wpływem na chemiczne procesy twardnienia).

2. Aktywnym (udział w procesach chemicznych, jako komponent reagujący lub substancja wiążąca, ze znaczną zmianą właściwości fizyko-mechanicznych, nadanie specjalnych właściwości).

Pierwszy kierunek, w bardzo rzadkich przypadkach, pozwala użyć choćby połowę potencjału materiałów lub użytych w nich zasobów. Dlatego też głównym, nowoczesnym kierunkiem jest zastosowanie właśnie ich, jako aktywnych komponentów, np. spoiw.

W niniejszym badaniu, zgodnie z aktywnym kierunkiem, zastosowano szlam z procesu oczyszczania wody, uzyskiwany podczas szlifowania i polerowania szkła w jednej z lokalnych firm. W niektórych preparatach użyto spoiwa z cementu w minimalnej wymaganej ilości, w celu umocnienia struktury i zmniejszenia deformacji skurczowych w trakcie twardnienia.

Organiczne wypełniacze fibrowe pochodzenia roślinnego (paździerz lnu, słoma żytnia, słoma pszeniczna), zastosowane były zgodnie z biernym schematem zastosowania.

Paździerz lnu są praktycznie bezużytecznym odpadem produkcji włókien lnu z niewielką możliwością ewentualnego wykorzystania (tylko jako paliwo).

Pochodząca z gospodarstw rolnych część słomy bezpośrednio na polu jest rozdrabniana i rozrzucała jako nawóz organiczny.

Większość słomy, w postaci rolek lub bel, dostarczana jest do gospodarstw hodowlanych, gdzie składowana jest w stertach i wykorzystywana do karmienia lub jako podściółka dla zwierząt. W praktyce, ze względu na duże rozmiary produkcji, do 30-45% słomy nie jest wykorzystywana i gnije na stertach pod gołym niebem, na polach lub na terenach gospodarstw hodowlanych. Takie przechowywanie prowadzi do gnicia słomy i jej wzrostu po zakończeniu sezonu zimowego. W wyniku takiego przechowywania, znaczna część słomy staje się bezużyteczna i nie może być dalej używana.

1.2 Program eksperymentalny

Na podstawie wyników wstępnych badań eksperymentalnych wybrano najbardziej rokujące struktury i stworzono program, który przedstawia tabela 1.2. Zbadano gazofibrobetony termoizolacyjne i fibrobetony konstrukcyjno-termoizolacyjne z nieszczelnym opakowaniem. Jak pokazuje tabela 1.1, wszystkie rodzaje prób doświadczalnych stanowią materiały kompozytowe z przeważającą zawartością wapna, lnianych paździerz i słomy. Przyjęto hipotezę roboczą mówiącą o tym, że badane kompozyty będą zgodne z kryteriami, ustanowionymi na etapie przeglądu i przygotowania do badań eksperymentalnych, wymienionymi w punkcie 1.1.1.

Głównymi rodzajami spoiw, używanych przy produkcji próbek (zgodnie z warunkami projektu) były: spoiwa wapienno-glinowo-krzemionkowe, wapienno-krzemionkowe i wapienno-cementowo-krzemionkowe (mieszane).

Tabela 1.1 Nazwy i ogólna charakterystyka składu kompozytów termoizolacyjnych i konstrukcyjno-termoizolacyjnych

Nr serii	Nazwa materiału	Podstawowe komponenty	Oczekiwana gęstość w stanie suchym, ρ kg/m ³
F R G - 1ALS	Wapienno-glino-krzemianowy konstrukcyjno-termoizolacyjny fibrobeton z organicznymi fibrowymi wypełniaczami pochodzenia roślinnego	Wapno palone, proszkowe, hydratyzowane. Metakaolin, Si – zawierające odpady pochodzące z oczyszczania wody (drobny lub mielony piasek kwarcowy), paździerze lnu, słoma, alkalia, szkło wodne	700-1000
F R G - 2LS	Wapienno-krzemiankowy konstrukcyjno-termoizolacyjny fibrobeton z organicznymi wypełniaczami pochodzenia roślinnego	Wapno palone, proszkowe, hydratyzowane. Si – zawierające odpady pochodzące z oczyszczania wody (drobny lub mielony piasek kwarcowy), paździerze lnu, słoma, szkło wodne.	600-1000
F R A - 3CLS	Nieautoklawowy wapienno-krzemionkowy gazofibrobeton na spoiwie mieszanym z organicznymi fibrowymi wypełniaczami pochodzenia roślinnego	Wapno palone, proszkowe, hydratyzowane. Cement portlandzki CEM I 42.5 R, Si – zawierające odpady pochodzące z oczyszczania wody (drobny lub mielony piasek kwarcowy), paździerze lnu, słoma, szkło wodne	350-550

F R A - 4LS	Nieautoklawowy wapienno-krzemionkowy gazofibrobeton na spoiwie wapiennym z organicznymi fibrowymi wypełniaczami pochodzenia roślinnego	Wapno palone, proszkowe, hydratyzowane. Si – zawierające odpady pochodzące z oczyszczania wody (drobny lub mielony piasek kwarcowy), paździerz lnu, słoma, wodne szkło, preparat gazotwórczy	350-550
----------------	--	--	---------

Tabela 1.2 Główne składniki mieszanin stosowanych w produkcji kompozytów termoizolacyjnych i konstrukcyjnych kompozytów termoizolacyjnych podczas przeprowadzania badań

Nr serii	Główne składniki mieszaniny									
	Wapno palone	Wapno hydratyzowane	Metakaolin	Si zawierające odpady z pochodzący z oczyszczania wody (drobny lub mielony piasek kwarcowy)	paździerz lnu	Słoma żytnia	Cement	Szkło wodne	Alkalia	Preparat gazotwórczy
FRG-1ALS	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-
FRG-2LS	+	+	-	+	+	+	-	+	-	-
FRA-3CLS	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+
FRA-4LS	+	+	-	+	+	+	-	+	-	+

1.3 Materiały. Charakterystyka i właściwości

1.3.1 Spoiwa

Spośród spoiw mineralnych, dostępnych na rynku lokalnym i zgodnych z wymaganiami projektu, można wyodrębnić następujące, możliwe do użycia:

1. Wapno różnego rodzaju,
2. Metakaolin,
3. Cement portlandzki,
4. Szkło wodne.

Głównym rodzajem spoiwa, stosowanym w projekcie, było wapno różnego typu, łączone z substancjami pomocniczymi, w celu ulepszenia właściwości fizyczno-mechanicznych oraz termicznych uzyskanych kompozytów.

Kompozycje spoiw złożonych, stosowanych przy produkcji kompozytów, dobrane zostały w taki sposób, aby wytrzymałość na ściskanie, określona na belkach o wymiarach 4x4x16 cm, zgodnie z GOST 310.1, GOST 310.4, była nie mniejsza niż 2MPa po 28 dobach, przy twardnieniu w warunkach naturalnych w temperaturze $18 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

1.3.1.1 Wapno

Główne właściwości wapna, stosowanego w doświadczeniach w celu uzyskania kompleksowego spoiwa mineralnego, przedstawione zostały w tabeli 1.3.

Tabela 1.3 Techniczne wskaźniki wapna (GOST 9179-77, STB EN 459-1-2007)

Nazwa wskaźnika	Wapno hydratyzowane bez dodatków	Wapno palone, proszkowe, bez dodatków	Wapno hydratyzowane
Aktywność (zawartość $\text{CaO} + \text{MgO}$), %	60<	70<	5-40
Aktywny MgO , nie więcej	–	5	6
Zawartość CO_2 , % nie więcej	5	7	5
Wilgotność, %	5	2	2
Pozostałość na sicie $d = 0.2$, %	1,0	1,0	1,2
Przedział wytrzymałości próbek na rozciąganie, po co najmniej 28 dobach twardnienia, MPa	–	–	5

W związku z tym, że wapno stosowane jest jako główny składnik spoiwa mineralnego, to przeważnie używa się wapna hydraulicznego i wapna palonego mielonego. Możliwe jest również stosowanie wapna hydratyzowanego w mieszaninach z dodatkiem cementu. Najbardziej dostępnym rodzajem wapna w regionie jest wapno hydratyzowane i palone.

Na bazie wapna przygotowano spoiwa mineralne, które umownie można podzielić na następujące typy:

- spoiwa wapienno-glino-krzemionkowe, których schemat twardnienia podobny jest do cementu portlandzkiego;

- spoiwa wapienno-krzemionkowe, twardnienie których odbywa się poprzez proces karbonizacji i krystalizacji wodorotlenku wapnia, spowodowanej odparowaniem wody i tworzeniem krzemianu wapnia przy użyciu wapna palonego i reaktywności komponentów zawierających Si;
- spoiwa wapienno-cementowo-krzemionkowe, twardnienie których odbywa się poprzez skomplikowany mechanizm kosztem wszystkich ww. procesów.

1.3.1.2 Metakaolin

Techniczne wskaźniki metakaolinu (amorficzny krzemian glinu uzyskiwany dzięki obróbce cieplnej wzbogaconego kaolinu), przedstawione zostały w tabeli 1.4.

Tabela 1.4 Skład chemiczny i główne wskaźniki techniczne metakaolinu

Nazwa wskaźnika	Wartość
Al_2O_3 , %	43,8
SiO_2 , %	53,42
Fe_2O_3 , %	0,75
TiO_2 , %	0,58
CaO , %	0,45
Gęstość nasypowa, kg/m^3	304 ... 447
Powierzchnia właściwa, m^2/g	15

1.3.1.3 Szkło wodne

W badaniach głównych dotyczących termoizolacyjnych kompozytów włóknistych, w celu neutralizacji łatwo rozpuszczalnych substancji organicznych, znajdujących się w wypełniaczach włóknistych, zastosowano sodowe szkło wodne, produkowane przez „Domanowski Zakład Produkcyjno-Handlowy”, zgodnie z normami GOST 13078. Właściwości techniczne sodowego szkła wodnego zostały przedstawione w tabeli 1.5.

Tabela 1.5 Właściwości techniczne sodowego szkła wodnego

Nazwa wskaźnika	Wskaźnik
1	2
Wygląd zewnętrzny	Żółto-zielona gęsta ciecz, bez włączeń mechanicznych i zanieczyszczeń widocznych gołym okiem
Moduł krzemianowy	2,9
pH	11-12
Gęstość, g/cm ³	1,450-1,470
Zawartość Na ₂ O, %	8,7-12,2

1.3.2 Wypełniacze włókniste

Spośród dostępnych na rynku lokalnym organicznych wypełniaczy włóknistych pochodzenia roślinnego, można wyodrębnić następujące, odpowiednie do produkcji kompozytów:

1. Paździerz lnu.
2. Słoma żytnia.
3. Słoma pszeniczna.

Orientacyjny skład chemiczny organicznych wypełniaczy włóknistych pochodzenia roślinnego, których użycie do produkcji badanych kompozytów jest możliwe, podany został w tabeli 1.6.

Tabela 1.6 Skład chemiczny organicznych wypełniaczy włóknistych

Substancja	Zawartość substancji dla każdego rodzaju organicznych wypełniaczy włóknistych, %		
	paździerz lnu	słoma żytnia	słoma pszeniczna
1	2	3	4
Celuloza	43,2	40...49	35...38
Hemiceluloza	30,1	18...18,5	20...21
Lignina	24,4	22,9	12...14

Pentozany	–	27-28	–
Substancje ekstrahujące się	–	2...2,6	–
Białko surowe	–	–	0,41...0,81
Lipidy	–	–	1,47
Substancje rozpuszczone w alkoholu i eterze	–	–	4,2...5,3
Substancje rozpuszczone w gorącej i zimnej wodzie	–	–	4,3...5,6
Popiół	1,0	3,1...4,1	3,2...5,3
Woda higroskopijna	–	reszta	reszta
Pektyny	1	–	–

Uwagi do tabeli 1.6: skład chemiczny paździerz y lnu zależy od warunków pogodowych i obszaru uprawy lnu.

Średnia gęstość organicznych wypełniaczy włóknistych pochodzenia roślinnego w stanie nieutwardzonym mieści się w przedziale od 80 do 110 kg/m³.

Podczas wstępnego przeglądu stwierdzono, że najlepszym składem chemicznym, strukturą i trwałością, charakteryzuje się słoma żytnia i paździerze lnu, które były stosowane w doborze składu.

Słoma żytnia została użyta jako wypełniacz gruboziarnisty, a paździerze lnu – jako drobny wypełniacz. Stosunek gruboziarnistego i drobnego wypełniacza organicznego w mieszaniu zmieniał się na etapie optymalizacji mieszaniny, odpowiednio z 1:1 do 7:3. Optymalny stosunek paździerz y lnu i słomy żytniej w mieszaniu włóknistego wypełniacza, stosowanego w produkcji kompozytów, określony został jako 3:5.

Rozmiary cząstek paździerz y lnu były zmienne, o długości od 1 mm do 15 mm i grubości od 0,3 mm do 1,5 mm. Frakcja wynosiła nie więcej niż 5 mm i stanowiła około 50% uzyskanej objętości produktu.

Wstępne przygotowanie słomy żytniej, polegało na jej posiekaniu w sieczkarni bębnowej typu PCB-0.1. Długość posiekanych rurek słomy określono poprzez ustawienie regularnej odległości między stalowymi ostrzami na obracającym się bębnie sieczkarni. Zastosowano frakcję o długości 80 mm, przy czym część frakcji do 40 mm stanowiła 55%.

Przed użyciem organicznych wypełniaczy włóknistych dokonano ich modyfikacji chemicznej, w celu neutralizacji i częściowego usunięcia z nich substancji łatwo rozpuszczalnych, obniżających wytrzymałość otrzymywanych kompozytów. Badania odbywały się w środowisku wodorotlenku wapnia i roztworu ciekłego szkła.

W celu nasycenia włókna paździerza lnu jonami wapnia w badanych seriach (przykład FRA, FRG), skrawki lnu umieszczono w nasyconym roztworze wapna ($[Ca^{2+}] = 2 \cdot 10^{-2}M$) na 48 godz. Po impregnacji, paździerze były przemywane wodą i dodatkowo moczone w 30% roztworze wodnego szkła przez 1-2 godz. Następnie zostały wyjęte, wyciśnięte i podsuszone (rycina 1.1).



Rycina 1.1 Płukanie paździerzy lnu przed mineralizacją

1.3.3 Dodatki mineralne wypełniaczy

Zastosowane zostały w celu zmiany właściwości reologicznych mieszanki betonowej, zmniejszenia deformacji skurczowych, zmniejszenia współczynnika woda/cement (W/C) oraz regulacji właściwości fizyczno-mechanicznych otrzymywanych materiałów.

Spośród wypełniaczy dostępnych na rynku lokalnym, można wymienić następujące, z uwzględnieniem sposobu ich zastosowania:

1. Aktywne (wypełniacze typu I, udział w reakcjach chemicznych nie mniejszy niż 10%):

- piasek kwarcowy mielony (powierzchnia właściwa = 2000–3000 cm²/g),

- odpady z oczyszczania wody, powstałe podczas procesu szlifowania i polerowania szkła w jednym z lokalnych zakładów (rysunek 1.2), (Powierzchnia właściwa = 3100–5100 cm²/g). Mają formę drobnego proszku szklanego (>90%) w niewielkich, łatwo łamliwych bryłach o wilgotności 20-30%. Zachowanie powierzchni właściwej i wysoka aktywność chemiczna danego odpadu produkcji zauważalna jest w ciągu 14 dni od momentu powstania.



Rycina 1.2 Odpady z oczyszczania wody, utworzone w zbiornikach ściekowych, powstałe podczas procesu szlifowania i polerowania szkła, wykorzystywane przy produkcji próbek

2. Pasywne (wypełniacze typu II, udział w reakcjach chemicznych poniżej 10%):

- drobny myty piasek rzeczny z frakcją granulometryczną = 1,2-1,7.

1.4 Przygotowanie i przechowywanie próbek do badań

1.4.1 Próbki serii FRG (wapienno-glinokrzemianowy i wapienno-krzemianowy konstrukcyjno-termoizolacyjny fibrobeton z organicznymi wypełniaczami fibrowymi pochodzenia roślinnego)

Opracowany skład masy oraz współczynnik woda/cement zostały wskazane w tabeli 1.7.

Tabela 1.7 Skład próbek serii FRG-1ALS, FRG-2LS

Nr	Nazwa komponentu	Stosunek komponentów w %, dla próbek	
		FRG-1ALS	FRG-2LS
1	Wapno palone, proszkowe, bez dodatków	25,5	35
2	Wapno hydratyzowane, bez dodatków	2,5	3
3	Metakaolin	25	-
4	Odpady pochodzące z oczyszczania wody powstałe w procesie szlifowania i polerowania szkła (lub mielony piasek kwarcowy)	26	42
5	Paździerz lniane i słoma żytnia w stosunku 3:5 odpowiednio*	17*	17*
6	wodne szkło	3	3
7	NaOH	1	-
8	Woda/cement (W/C)	0.85	0,6

* wartość orientacyjna w zależności od charakterystyki wzrostu.

1.4.1.1 Technologia produkcji

Czynności przygotowawcze

Wapno palone, proszkowe, ilość odważona dla jednej partii są gaszone wodą w ilości równej jego masie. Słoma rozdrobniona jest w sieczkarni na grubość 2-8 cm. Paździerz lnu przesiewane są wstępnie przez sito vibracyjne z oczkami o wielkości 10 mm. Paździerz lnu oraz słoma przygotowywane są zgodnie z punktem 1.3.2. Następnie, wypełniacze włókniste, paździerz lnu i słoma łączone są w stosunku 3:5, przemywane i namaczone w 30% roztworze wodnego szkła na 1-2 godziny. Następnie zawartość zostaje wyjęta z roztworu, wyciśnięta i podsuszona.

Przygotowanie mieszanki

Przygotowana zostaje mieszanka składników, wymienionych powyżej, z uwzględnieniem ilości wody, użytej do gaszenia wapna.

Do betoniarki przeciwbieżnej (konstrukcja której zapobiega osadzaniu się włóknistych wypełniaczy na wale i łopatach) ładowane są:

1. metakaolin (dla składu FRG-1ALS),
2. odpady, powstałe podczas oczyszczania wody, otrzymywane przy procesie szlifowania i polerowania szkła (lub mielony piasek kwarcowy),
3. wapno z urządzenia do gaszenia wapna wraz z wodą.

Składniki są intensywnie mieszane do momentu otrzymania jednolitej homogenicznej masy, a następnie dodane zostają:

4. woda (z uwzględnieniem wody, dodanej razem z wapnem z urządzenia) z rozpuszczonymi w niej zasadami (dla składu FRG-1ALS),
5. paździerz lnu i słoma żytnia.

Mieszanka mieszana jest przez 120-360 sekund w mieszalniku przeciwbieżnym, a następnie zawartość wyładowywana jest do formy lub jest szalowana. Zmieniając zawartość wypełniacza

włóknistego w składzie mieszanki i, w zależności od sposobu układania i uszczelnienia, można tworzyć materiały kompozytowe, które w formie suchej posiadają gęstość od 600 do 1000 kg/m³ i większą. Dopuszczalne jest, w przypadku istnienia możliwości technicznych, gaszenie wapna w mieszalniku podczas przygotowywania początkowej mieszanki, poprzez zwiększenie czasu mieszania (jednocześnie zwiększa się temperatura mieszanki i poprawiają się parametry mechaniczne uzyskiwanego kompozytu). Najważniejszym elementem podczas przygotowywania mieszanki w dowolny sposób jest równomierne rozprowadzenie każdego surowca w całej masie bez powstawania grudek, co powinien zapewnić prawidłowo dobrany mieszalnik. Dlatego też przeważnie suche składniki są wstępnie przemieszywane, zarówno wszystkie osobno, jak i razem.

Czas wiązania otrzymanego materiału kompozytowego zależy od temperatury oraz aktywności składników mieszanki i wynosi z reguły od 7 do 40 dób w warunkach naturalnych przy temperaturze $18 \pm 2^{\circ}\text{C}$, bez dodatkowego intensyfikowania w okresie letnim. W przypadku wyrobów o dużej grubości, które mogą być poddawane obróbce mechanicznej, należy do mieszanek o gęstości powyżej 750 kg/m³ wprowadzić dodatki, przyspieszające proces karbonizacji.

Proces wiązania (twardnienia kompozytu) może zostać zintensyfikowany, jeśli umieścimy go w komorze o temperaturze do 65°C, a następnie w komorze suszarniczej z temperaturą do 90°C, wyposażonej w automatyczny system kontroli wilgotności chłodziwa, który redukuje powstawanie szczelin.



Rycina 1.3 Próbkę serii FRG-1ALS, przygotowane w formach



Rycina 1.4 Próbkę FRG-1ALS, wypilowana z matrycy



Rycina 1.5 Próbkę FRG-2LS, przygotowane w drewnianej konstrukcji



Rycina 1.6 Powierzchnia próbki serii FRG-2LS o gęstości w stanie suchym 800-900 kg/m³



Rycina 1.7 Powierzchnia próbki serii FRG-2LS o gęstości w formie suchej 600-700 kg/m³

1.4.2 Próbkki serii FRA (nieautoklawizowany wapienno-krzemianowy gazofibrobeton ze spoiwem mieszanym i wapienno-krzemianowy gazofibrobeton ze spoiwem wapiennym z organicznymi fibrowymi wypełniaczami pochodzenia roślinnego)

Skład mieszanek (w % na podstawie wagi), użytych w celu uzyskania dwóch typów termoizolacyjnych gazobetonów, został przedstawiony w tabeli 1.8.

Tabela 1.8 Skład mieszaniny wyjściowej dla uzyskania próbek serii FRA-3CLS, FRA-4LS

Nr	Nazwa komponentu	Masowa ilość składników, %	
		FRA-3CLS	FRA-4LS
1	2	3	4
1	Wapno palone, proszkowe, bez dodatków	30,0	33,65

2	Wapno hydratyzowane bez dodatków	3,0	3,0
3	Cement portlandzki CEM I 42,5R	14,65	–
4	Odpady z oczyszczania wody, powstałe w trakcie szlifowania i polerowania szkła (lub mielony piasek kwarcowy)	34	44
5	Paździerz lnu i słoma żytnia w stosunku 3:5 odpowiednio	15*	16*
6	Płynne szkło	3	3
7	Puder aluminiowy PAP2	0,35	0,35
8	Woda/cement (W/C)	0.85	0,68

* wartość orientacyjna w zależności od charakterystyki wzrostu

1.4.2.1 Technologia przygotowania próbek Czynności przygotowawcze

Słoma zostaje rozdrobniona w sieczkarni na grubość 2-8 cm. Paździerz lnu przesiewane są wstępnie przez sito wibracyjne z oczkami 10 mm. Paździerz lnu oraz słoma przygotowywane są zgodnie z punktem 1.3.2. Następnie wypełniacze włókniste, paździerz lnu i słoma, łączone są w stosunku 3:5, przemywane i namaczane w 15-30% roztworze wodnego szkła na 1-2 godziny. Następnie mieszanka włóknistych wypełniaczy zostaje wyjęta z roztworu, wyciśnięta i podsuszona.

Przygotowanie mieszanki

Bazowa mieszanka, której skład został wymieniony w tabeli 1.8, została przygotowana w poniżej przedstawionej kolejności.

Do mieszalnika przeciwbieżnego (konstrukcja którego zapobiega osadzaniu się włóknistych wypełniaczy na wale i łopatach) ładowane są:

1. suche odpady z oczyszczania wody, powstałe w procesie szlifowania i polerowania szkła (drobny lub mielony piasek kwarcowy),

2. wapno palone, proszkowe bez dodatków,
3. puder aluminiowy,
4. Cement portlandzki CEM I 42,5R (dla składu FRA-3CLS).

Ww. składniki mieszane są w formie suchej przez 30-60 sekund, a następnie po zakończeniu mieszania dodawane są:

5. woda,
6. wcześniej przygotowana mieszanka paździerzylnu i słomy żytniej.

Składniki mieszanki mieszane są przez 60-75 sekund w mieszalniku przeciwbieżnym, a następnie wyładowywane są do formy lub szalowane. Najważniejszym elementem podczas przygotowywania mieszanki jest równomierne rozprowadzenie każdego surowca w całej masie bez powstawania grudek, co powinien zapewnić prawidłowo dobrany mieszalnik. Dlatego też, przeważnie suche składniki są wstępnie przemieszywane, zarówno wszystkie osobno, jak i razem.

Czas wiązania wyniósł 1-2 godziny. Czas wiązania zależał od temperatury oraz aktywności składników mieszanki i wynosił od 20 do 40 dób w warunkach naturalnych przy temperaturze $18 \pm 2^{\circ}\text{C}$, bez dodatkowej intensyfikacji w okresie letnim. W przypadku wyrobów o dużej grubości, które mogą być poddawane obróbce mechanicznej, do receptur należy wprowadzić dodatki, przyspieszające proces karbonizacji.



Rycina 1.8 Próbki serii FRA-3CLS
(nieautoklawizowany wapienno-krzemionkowy gazofibrobeton ze spoiwem mieszanym)



Rycina 1.9 Próbka serii FRA-4LS
(nieautoklawizowany wapienno-krzemionkowy gazofibrobeton ze spoiwem wapiennym)



Rycina 1.10 Powierzchnia próbki serii FRA-4LS
(nieautoklawizowany wapienno-krzemionkowy gazofibrobeton ze spoiwem wapiennym)

1.5 Metody przeprowadzania badań

Właściwości mechaniczne i fizyczne badanych kompozytów zostały określone na podstawie przeprowadzonych badań, dotyczących próbek, przygotowanych w formach metalowych lub wyciętych z całości bloku, po upływie 28-40 dób. Przeprowadzone zostały badania minimum trzech próbek o takim samym rozmiarze, wchodzących w skład jednej serii.

Określenie odporności na ściskanie kompozytów odbywało się na podstawie badań próbek brył o długości żebra 100 mm, zgodnie z GOST 10180. W przypadku materiałów kompozytowych o dużej zawartości włókna i nieposiadających jasno określonego stopnia deformacji, wytrzymałość określana była zgodnie z GOST 17177-94 punkt 13, zgodnie z siłą przy 10% deformacji.



Rycina 1.11 Badanie sprężenia na próbkach – bryłach o długości żebra 100 mm

Wytrzymałość spoiw określona została zgodnie z GOST 310.1, GOST 310.4, na podstawie badań przeprowadzonych na próbkach belkowych o wymiarach 4x4x16 cm.



Rycina 1.12 Określenie wytrzymałości na zginanie i kompresji na próbkach belkowych

Gęstość kompozytów w formie suchej mierzono na próbkach; forma o regularnym kształcie geometrycznym zgodna była z wymogami GOST 12730.0 i GOST 12730.1.



Rycina 1.13 Suszenie próbek w piecu



Rycina 1.14 Ważenie próbek z dokładnością do 0,1 grama

Deformacje skurczowe materiałów wiążących zostały określone na podstawie wyników badań próbek o wymiarach $40 \cdot 40 \cdot 160$ mm i $50 \cdot 50 \cdot 200$ mm, zgodnie z wymogami normy STB 1570, a badanie deformacji materiałów kompozytowych przeprowadzone zostało poprzez bezpośredni pomiar deformacji na próbkach (masywach).



Rycina 1.15 Określenie deformacji skurczowych spoiw

Określenie poziomu przewodnictwa cieplnego opracowywanych materiałów kompozytowych przeprowadzone zostało zgodnie z normami STB 1618.

Próbki belkowe o wymiarach 40 · 40 · 160 mm oraz próbki w kształcie brył z długością żebra 100 mm przygotowywane były w formach metalowych. Próbki, bezpośrednio po przygotowaniu, w celu zabezpieczenia przed wyschnięciem, okrywane były folią polietylenową.

1.6 Wyniki badań eksperymentalnych i ich analiza.

Charakterystyka otrzymanych komponentów

Podstawowa charakterystyka opracowanych komponentów, na bazie paździerzy lnu oraz słomy żytniej, określona na podstawie badań serii testowych FRG-1ALS, FRG-2LS, FRA-3CLS, FRA-4LS, przedstawiona została w tabeli 1.9 i pokazana na rycinach 4.16, 4.17 i 4.18.

Tabela 1.9 Charakterystyka fizyczno-mechaniczna próbek serii FRG-1ALS, FRG-2LS, FRA-3CLS, FRA-4LS

Nr	Seria	Gęstość, ρ [kg/m ³]	Przewodnictwo cieplne w stanie suchym, λ W/mK	Wytrzymałość na ściskanie, $f_{c,28}$ N/ mm ²	Kurczliwość [mm/m] spoiwo /kompozyt	Grubość ściany, d_N dla $R = 3,2$ m ² C/W, [mm]	Ciezar niezbędny dla termoregulacji 1 m ² ściany, kg
1.	FRG-1ALS	770	0.21	1,5	3/7.0	640	490
2.	FRG-2LS	650	0.15	0,5	4/8.0	480	312
3.	FRA-3CLS	375	0.10	0,45	3/9.0	320	120
4.	FRA-4LS	435	0.11	0,28	4/14.0	355	155

Uwagi:

1. Właściwości próbek określone zostały po 28 dobach.
2. Przewodnictwo cieplne, grubość ściany i ciężar w warunkach rzeczywistych o zrównoważonej wilgotności materiałów kompozytowych i otaczającego środowiska, mogą być wyższe o 20%.
3. Wytrzymałość próbek serii FRG-2LS i FRA-4LS określono zgodnie z GOST 17177-94 pkt.13.

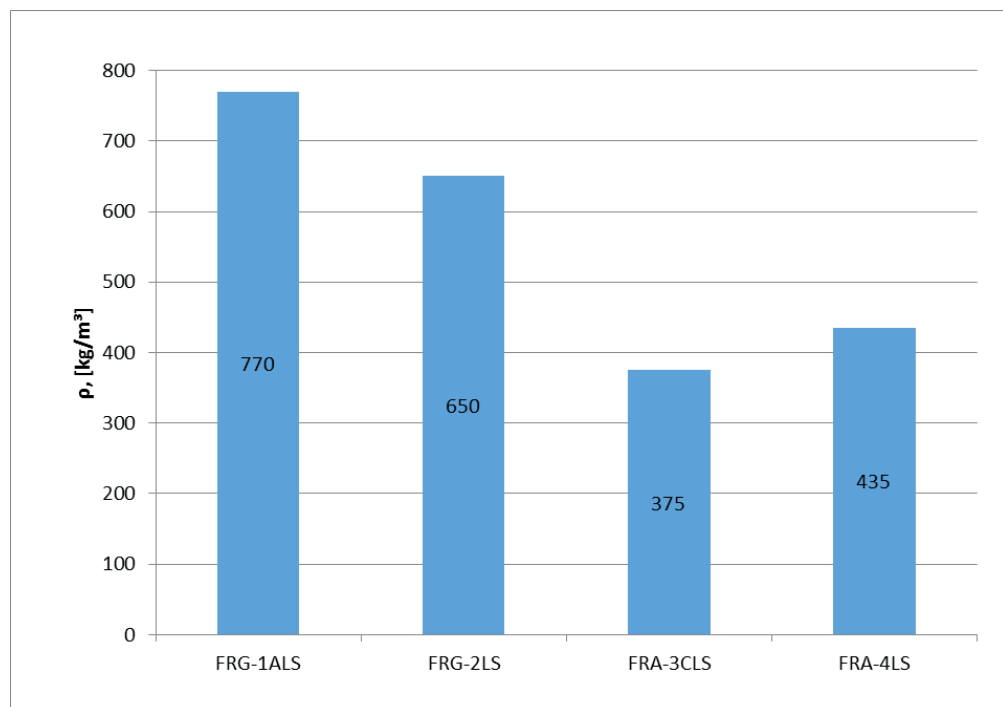
Otrzymane komponenty serii FRG-1ALS, FRG-2LS charakteryzowały się najwyższą gęstością i, co za tym idzie, najwyższym poziomem przewodnictwa cieplnego spośród wszystkich próbek, który w warunkach eksploatacji B, zgodnie z TKP 45-2.04-43-2006 [2], może wynosić $0,24 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$. Jednakże, kompozyty tych związków również charakteryzują się największą gęstością (przy gęstości w stanie suchym powyżej 750 kg/m^3), co pozwala na sklasyfikowanie ich jako materiałów konstrukcyjnych, które, oprócz własnego ciężaru, mogą także przyjmować dodatkowe obciążenie. Należy zauważyć, że, spośród wszystkich związków, te związki posiadają najmniejszą kurczliwość. W przypadku powyższych związków, zmieniając zawartość wypełniacza włóknistego i w zależności od technologii układania i uszczelniania, można stworzyć kompozyty o gęstości w stanie suchym od 600 do 1000 kg/m^3 , z wytrzymałością na ściskanie od $0,3 \text{ MPa}$ do $2,5 \text{ MPa}$.

Jednakże, dla uzyskania potrzebnego oporu cieplnego zgodnie z TKP 45-2.04-43-2006 [2], grubość ściany powinna mieścić się w granicach od 450 do 640 mm i więcej, co z kolei stanowi nieakceptowalny wynik względem kryteriów wskazanych w punkcie 1.1.1. Dany kompozyt może być stosowany jednak w konstrukcjach warstwowych z wydzieloną zewnętrzną warstwą termoizolacyjną, zwiększając stabilność temperatury pomieszczenia, kosztem dużej własnej pojemności cieplnej. Kompozyt typu FRG-2LS jest najprostszy pod względem technologii produkcji i jest najtańszy.

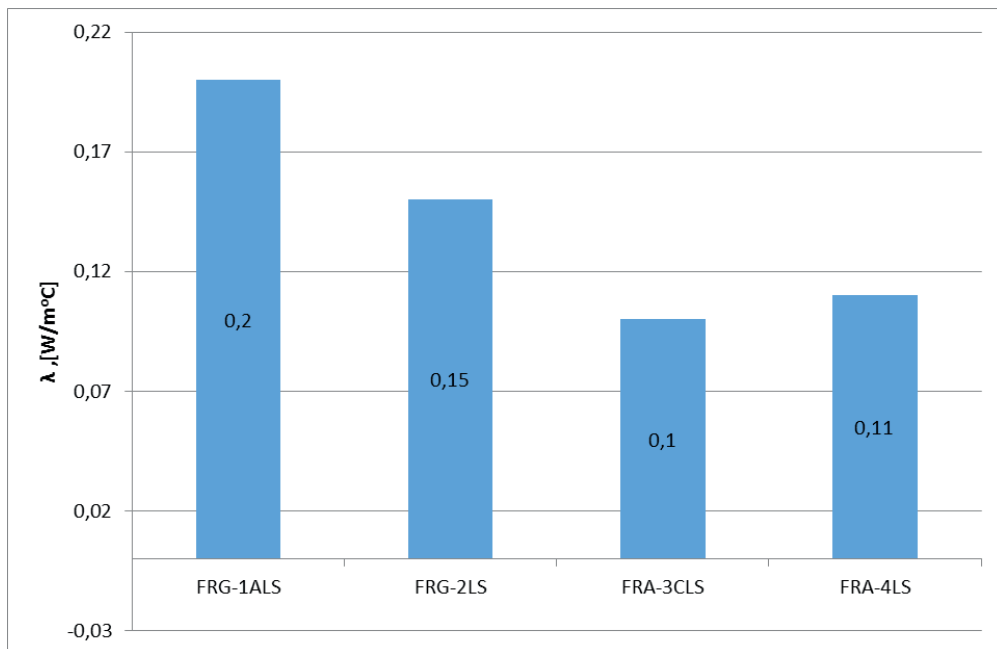
Otrzymany kompozyt serii FRA-3CLS charakteryzuje się niewysoką gęstością i, tym samym, niewysokim poziomem przewodnictwa cieplnego, który w warunkach eksploatacji B zgodnie z TKP 45-2.04-43-2006 [2], może wynosić $0,12 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$. Przy czym kompozyt tej struktury posiada niedużą wytrzymałość (do $0,6 \text{ MPa}$), co powoduje, że może być on tylko i wyłącznie materiałem termoizolacyjnym, który może przyjmować tylko obciążenie wielkości własnego ciężaru o ograniczonej wysokości. Dzięki zastosowaniu cementu w roli spoiwa materiał kompozytowy danej struktury posiada mniejszą kurczliwość i krótszy czas gęstnienia niż struktura serii FRA-4LS. Dla osiągnięcia wyma-

ganego oporu cieplnego zgodnie z TKP 45-2.04-43-2006 [2], grubość ściany może wynosić 320-380 mm, co jest akceptowalnym wynikiem w stosunku do kryteriów wymienionych w punkcie 1.1.1.

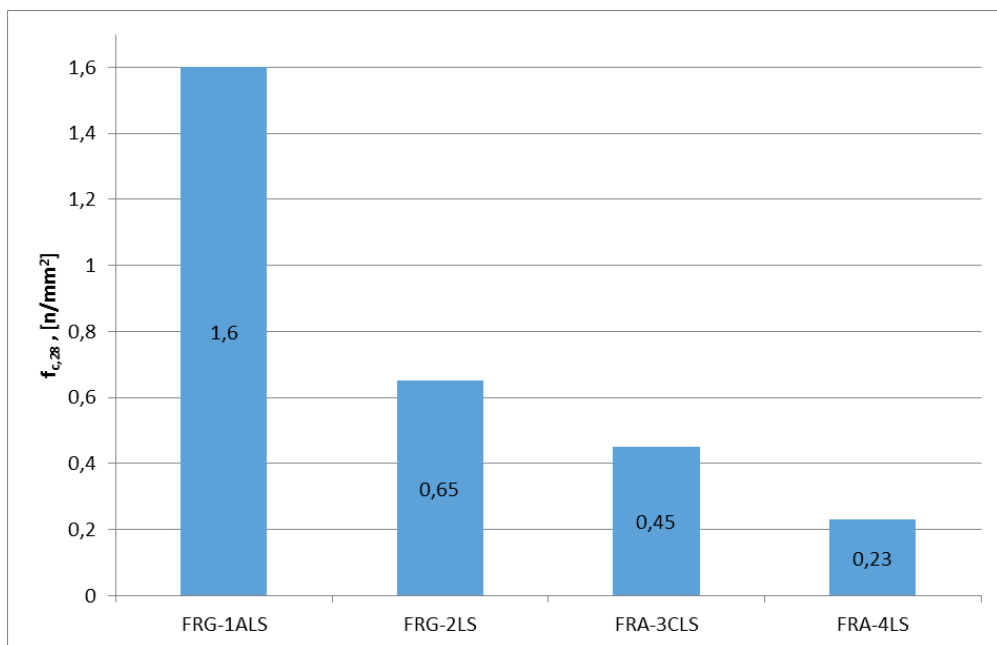
Otrzymany kompozyt serii FRA-4LS charakteryzuje się niewysoką gęstością i, tym samym, niewysokim poziomem przewodnictwa cieplnego, który w warunkach eksploatacji B zgodnie z TKP 45-2.04-43-2006 [2], może wynosić 0,14 W/m°C. Przy czym dany kompozyt, posiada najmniejszą ze wszystkich wytrzymałość (0,1-0,4 MPa), co powoduje, że może być on tylko i wyłącznie materiałem termoizolacyjnym, który może przyjmować tylko obciążenie wielkości własnego ciężaru o ograniczonej wysokości. Jednakże, dzięki brakowi cementu, dana struktura jest bardziej ekologiczna, ale posiada największą kurczliwość i dłuższy czas gęstnienia niż struktura serii FRA-3CLS. Dla osiągnięcia wymaganego oporu cieplnego, zgodnie z TKP 45-2.04-43-2006 [2], grubość ściany może wynosić 350-410 mm, co jest akceptowalnym wynikiem w stosunku do kryteriów wymienionych w punkcie 1.1.1.



Rycina 1.16 Średnia gęstość produkowanych kompozytów



Rycina 1.17 Średnia przewodność cieplna produkowanych kompozytów



Rycina 1.18 Zmiana wytrzymałości produkowanych kompozytów

1.7 Zalecenia dotyczące użycia opracowanych i zbadanych mieszanek

Skład mieszanin, stosowanych dla uzyskania kompozytów serii FRG-1ALS, FRG-2LS, jest odpowiedni przy produkcji ściennych bloków nośnych (o gęstości powyżej 750 kg/m^3). Są one porowatymi, konstrukcyjno-termoizolacyjnymi, ekologicznymi materiałami bez użycia cementu.

Kompozyt typu FRG-2LS, jest najprostszy i najtańszy w technologii produkcji. Kompozyt tego typu, o gęstości $600\text{--}700 \text{ kg/m}^3$, jest najbardziej skuteczny, gdy używa się go w zalecanej konstrukcji ściany, pokazanej na rycinach 1.19, 1.20.

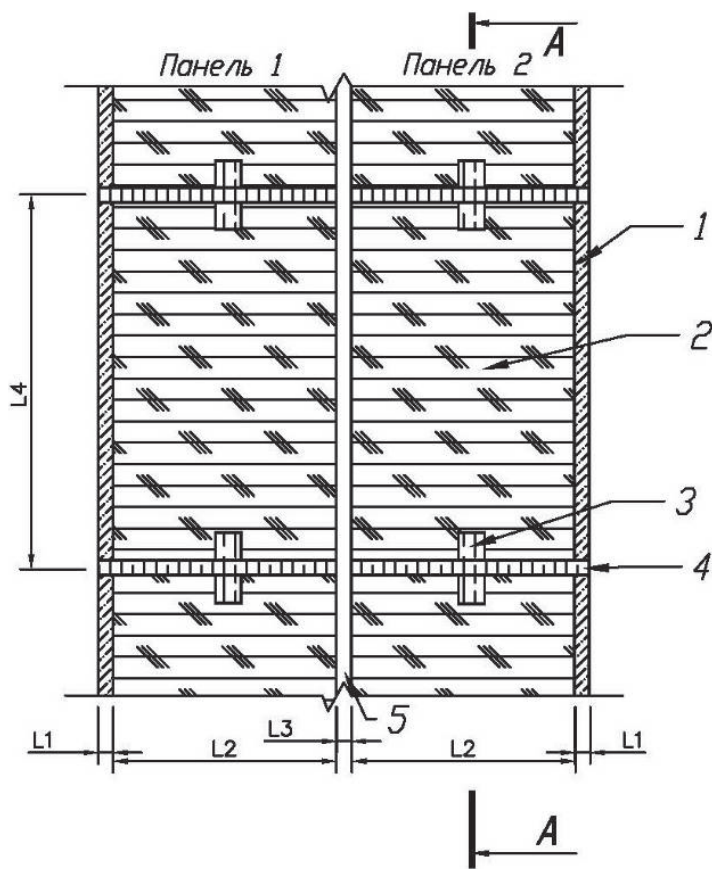
Kompozyt serii FRA-3CLS, jest odpowiedni do wytwarzania ściennych bloków nienośnych lub konstrukcji monolitycznych, zalewanych bezpośrednio na miejscu budowy. Jest wysoce porowatym materiałem termoizolacyjnym przy minimalnym użyciu cementu. Przy użyciu specjalnych środków technologicznych, może być stosowany w zalecanej konstrukcji ściany, pokazanej na rycinach 1.19, 1.20.

Kompozyt serii FRA-4LS jest odpowiedni do wytwarzania ściennych bloków nienośnych lub konstrukcji monolitycznych, zalewanych bezpośrednio na miejscu budowy. Jest wysoce porowatym materiałem termoizolacyjnym bez użycia cementu. Przy użyciu specjalnych środków technologicznych, może być stosowany w zalecanej konstrukcji ściany, pokazanej na rycinach 1.19, 1.20.

Zalecany wariant zewnętrznej ściennej konstrukcji odgradzającej w kilkupiętrowych domach jednorodzinnych

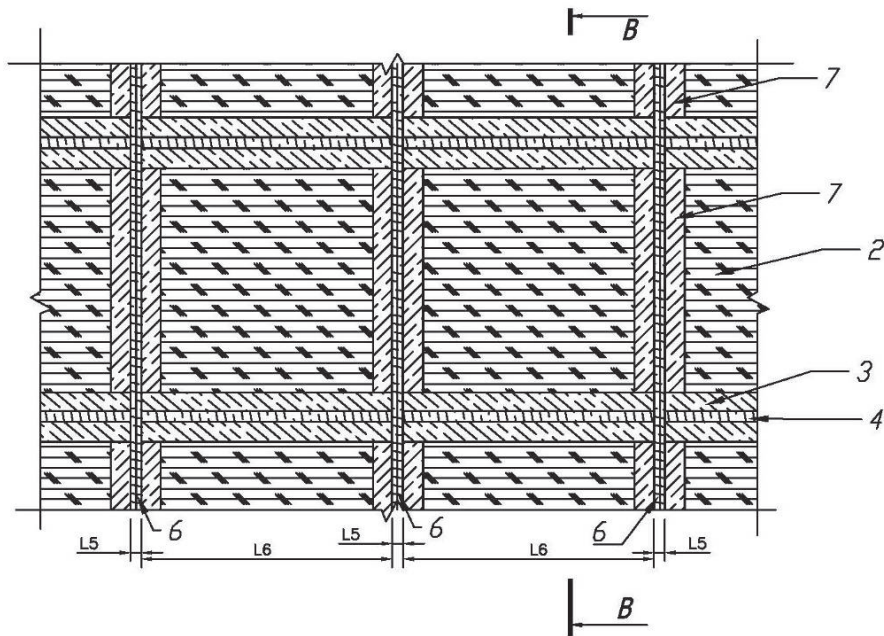
Powyższa konstrukcja ściany zewnętrznej w przekroju poprzecznym, przedstawia 2 panele tego samego typu, wyprodukowane w fabryce lub bezpośrednio w budowanym obiekcie, w cieplej porze roku. Płyty mogą być produkowane w położeniu horyzontalnym, przednią stroną (gruba warstwa wapienno-krzemianowa) do dołu lub do góry, zgodnie ze schematem technolo-

gicznym, ukazanym w punkcie 4.8 na rycinie 4.21. Po osiągnięciu wilgotności prawie równoważnej, płyty ustawiane są gęstą warstwą ochronną 1 na zewnątrz. Różnica między płytami zmniejsza wilgotność warstwy termoizolacyjnej kompozytu przy pierwszym użyciu. Płyty można wytwarzać w różnej grubości, w celu dokładnego zabezpieczenia niezbędnych właściwości przenoszenia ciepła w konstrukcjach w różnych rejonach.



Rycina 1.19 Przekrój poprzeczny ściany B-B

- 1 – Wapienno-krzemianowa warstwa zewnętrzna (wewnętrzna)
- 2 – Wewnętrzny wypełniacz z materiału kompozytowego serii FRG-1ALS, FRG-2LS, FRA-3CLS, FRA-4LS
- 3 – Poziome belki mocujące wypełniacz kompozytem termoizolacyjnym
- 4 – Elementy poziome konstrukcji płyty
- 5 – Warstwa powietrzna między płytami (10-20 mm) w celu usunięcia wilgoci



Rycina 1.20 Przekrój podłużny ściany A-A

- 2 – Wewnętrzny wypełniacz z materiału kompozytowego serii FRG-1ALS, FRG-2LS, FRA-3CLS, FRA-4LS
- 3 – Poziome belki mocujące wypełniacz kompozytem termoizolacyjnym
- 4 – Elementy poziome konstrukcji płyty
- 6 – Elementy pionowe konstrukcji płyty
- 7- Pionowe belki mocujące wypełniacz kompozytem termoizolacyjnym

Wymiary oznaczone na rycinach 1.19, 1.20:

L1 – grubość zewnętrznej (wewnętrznej) warstwy wapienno-krzemianowej (10-15 mm),

L2 – grubość wypełniacza z materiału kompozytowego jednej płyty (170-250 mm),

L3 – grubość warstwy powietrznej między płytami (10-20 mm) w celu usunięcia wilgoci,

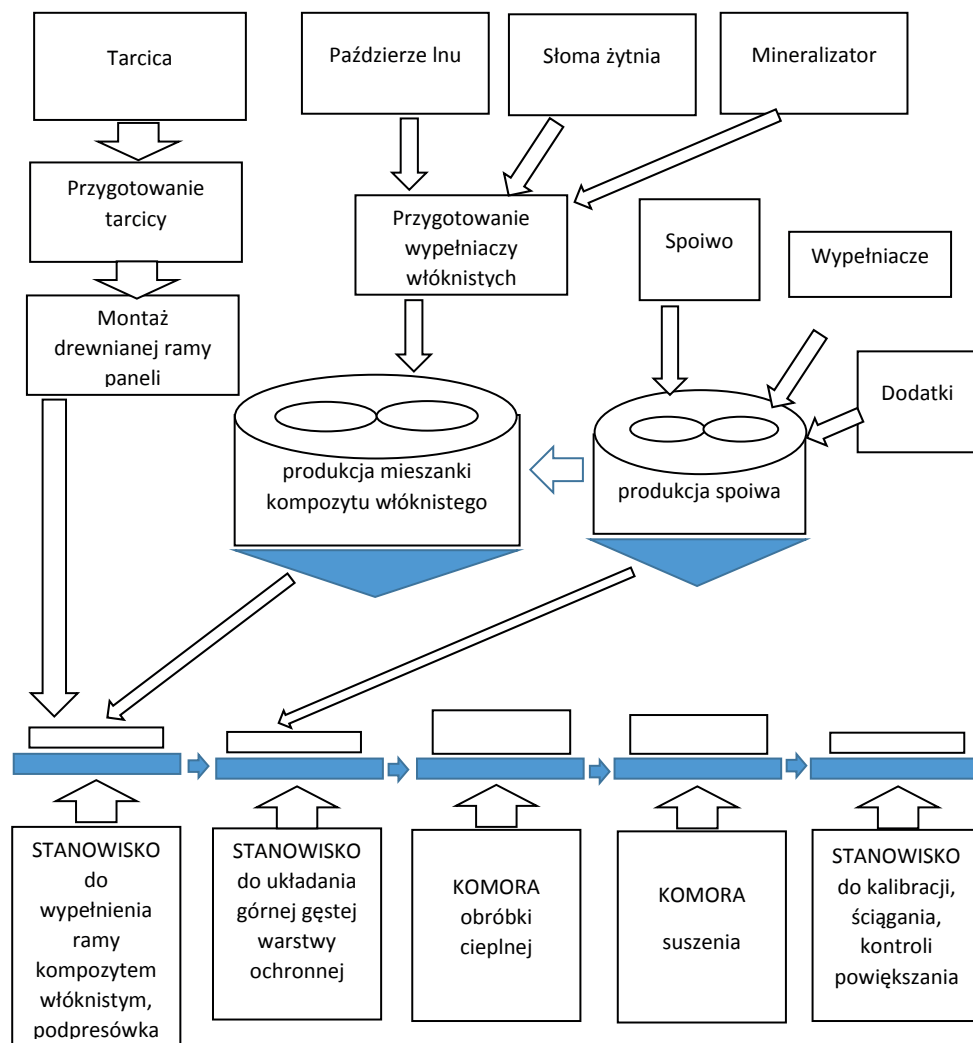
L4 – wysokość wypełniacza z materiału kompozytowego jednej komórki płyty (500-700 mm),

L5 – grubość wsporników, utworzonych z dwóch stron (30-50 mm),

L6 – szerokość wypełniacza z materiału kompozytowego jednej płyty (500-750 mm).

Powyższe rozwiązanie jest rozwiązaniem technologicznym, z punktu widzenia organizacji fabrycznej produkcji płyt i dużej prędkości wznoszenia z nich domów mieszkalnych.

1.8 Schemat technologiczny produkcji drewnianych paneli ściennych z wypełniaczem kompozytowym



Rycina 1.21 Schemat technologiczny produkcji paneli ściennych dla szkieletowej konstrukcji domu

Powyższy schemat technologiczny przewiduje następujące działania:

1. Przygotowanie drewnianego szkieletu:

- nacięcie drewna określonej długości;
- montaż elementów płaskich;
- montaż elementów objętościowych (paneli) z instalacją zdeformowanych wkładów dla zrekompensowania wilgotności skurczu;
- nawilżenie paneli objętościowych.

2. Przygotowanie środka wiążącego:

- dozowanie komponentów proszkowych;
- gaszenie wapna;
- mieszanie w mieszalniku;
- wydanie mieszaniny środka wiążącego w celu formowania warstwy ochronnej oraz do mieszalnika z włóknistą masą;

3. Przygotowanie mieszanki kompozytu włóknistego:

- siekanie słomy;
- przesiewanie paździerzy;
- mieszanie wypełniaczy włóknistych;
- przemywanie i mineralizacja włóknistej masy;
- mieszanie włóknistej masy oraz środka wiążącego;
- wydanie mieszaniny w celu formowania;

4. Formowanie paneli:

- układanie włóknistej masy;
- podpresówka;
- układanie warstwy ochronnej
- wygładzanie i (lub) wykończenie górnej powierzchni;

5. Obróbka cieplna paneli:

- ogrzewanie i konserwacja izotermiczna w komorze przyspieszającej twardnienie;
- suszenie w środowisku o kontrolowanej wilgotności dla zminimalizowania deformacji spowodowanych gradientem wilgotności;

5. Działania końcowe:

- kalibrowanie (ściągnięcie) paneli w celu kompresji wypełniacza wewnętrznego (w przypadku konieczności);
- kontrola wskaźników jakości poszczególnych paneli;
- wstępny montaż paneli (w przypadku konieczności).

Bibliografia

1. ISO 14040 (2006): Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. International Organization for Standardization (ISO).
2. TKPi 45-2.04-43-2006: Budowlana technika grzewcza. Projektowe normy budowlane.
3. Guinée (2001): Life cycle assessment. An operational guide to the ISO standards. Part 1: LCA in perspective. Part 2a: Guide. Part 2b: Operational annex. Part 3: Scientific Background. Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM) and Centre of Environmental Science, Leiden, Nederlande.

ROZDZIAŁ II

EKONOMICZNA I ŚRODOWISKOWA ANALIZA PORÓWNAWCZA EFEKTYWNOŚCI ŚCIENNYCH MATERIAŁÓW TERMOIZOLACYJNYCH

W ocenie wpływu cyklu życiowego LCA różnorodnych materiałów budowlanych na środowisko, można zastosować metodę CML [5]. Metoda uwzględnia różnorodne oddziaływanie na środowisko naturalne, z odpowiednimi wskaźnikami efektywności środowiskowej.

W celu takiego porównania, wyodrębnia się dwa główne wskaźniki środowiskowe:

1. GWP (współczynnik globalnego ocieplenia, ekwiwalent kg CO₂) uwzględnia emisję gazów (np. CO₂, CH₄, N₂O i innych), które towarzyszą efektowi cieplarnianemu.

2. ADP (abiotyczny współczynnik wyczerpania zasobów, kg ekwiwalent Sb (kg)) stosowany jako wskaźnik zużycia naturalnych, nie żywych, nieodnawialnych zasobów (np. rudy, złoża ropy).

W zależności od rodzaju materiałów budowlanych, do bilansu ekologicznego włączane są różnego rodzaju wskaźniki, np. zakwaszenie, toksyczność ekologiczna, eutrofizacja, promieniowanie jonizujące, niszczenie warstwy ozonowej i inne.

W przypadku oceny ekologicznej powyższych materiałów, kompozyty nieautoklawizowane z organicznymi fibrowymi wypełniaczami pochodzenia roślinnego, pokazują, w zależności od organizacji technologii produkcji i zastosowanych surowców, poprawę wskaźników efektywności środowiskowej o 20-75%, w porównaniu z tradycyjnym na chwilę obecną styropianem, wełną mineralną i gazokrzemianem. Innym, nie mniej ważnym i wzajemnie powiązaniem aspektem efektywnego stosowania materiałów termoizolacyjnych, jest ich dodatni efekt ekonomiczny. Główne ekonomiczne wskaźniki to koszt produkcji i okres zwrotu, gdzie również skuteczniejsze mogą być ekologiczne kompozyty nieautoklawizowane z organicznymi fibrowymi wypełniaczami pochodzenia roślinnego, wskazane powyżej.

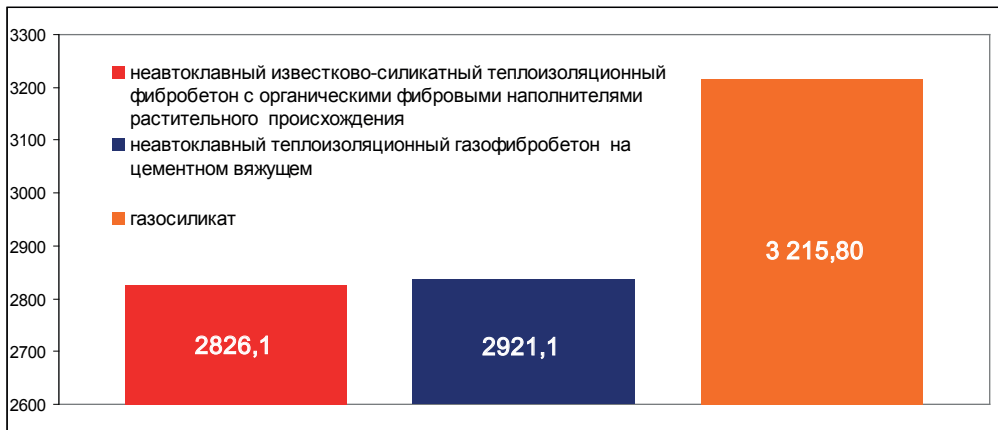
Całkowity koszt materiałów dla konstrukcji budowlanych wykonanych z nieautoklawizowanego wapienno-krzemianowego fibrobetonu termoizolacyjnego z organicznymi fibrowymi wypełniaczami pochodzenia roślinnego, nieautoklawizowanego termoizolacyjnego gazofibrobetonu ze spoiwem cementowym i gazokrzemianu, licząc na 1 m³, według cen we wrześniu 2015 roku, przedstawiony został w tabeli 2.1.

Tabela 2.1 Porównywalny koszt materiałów dla konstrukcji budowlanych

Nr	Nazwa komponentu	Cechy porównywalne kompozycji		
		nieautoklawizowany wapienno-krzemianowy fibrobeton termoizolacyjny z organicznymi wypełniaczami pochodzenia roślinnego	nieautoklawizowany gazofibrobeton termoizolacyjny ze spoiwem cementowym	gazokrzemian
1	Wapno palone, proszkowe, bez dodatków	387,5	–	238,5

2	Wapno hydratyzowane bez dodatków	10	7,4	–
3	Cement CEM I 42.5R	–	372,1	153,2
4	mielony piasek kwarcowy	1 333,8	1 186,6	1 729,0
5	paździerz lnu i słoma żytnia w stosunku 3:5	30	–	–
6	fibra polipropylenowa (BCM II 12)	–	72,0	–
7	szkło wodne	52,8	–	–
8	preparaty gazotwórcze, puder aluminiowy	–	31,8	37,1
9	woda	1 012,0	1 251,2	1 058,0
10	współczynnik wzrostu	1,05	–	–
	RAZEM	2 826,1	2 921,1	3 215,8

Rysunek 2.1 przedstawia końcowy koszt materiałów dla konstrukcji budowlanych na podstawie wskazanych powyżej technologii.



Rycina 2.1 Koszt 1 m³ konstrukcji ścienniej
z uwzględnieniem różnych technologii, przedstawiony w tys. rubli

Wartości odpowiednio:

2826,1 – nieautoklawizowany wapienno-krzemianowy fibrobeton termoizolacyjny z organicznymi wypełniaczami pochodzenia roślinnego;

2921,1 – nieautoklawizowany gazofibrobeton termoizolacyjny ze spoiwem cementowym

3 215,80 – gazokrzemian

Najdroższym materiałem ściennym jest gazokrzemian, w porównaniu do którego nieautoklawizowany wapienno-krzemianowy fibrobeton termoizolacyjny z wypełniaczem organicznym pochodzenia roślinnego jest tańszy o 12,15%, a nieautoklawizowany termoizolacyjny gazofibrobeton ze spoiwem cementowym – o 9,16%.

Biorąc pod uwagę fakt, że cechą wyróżniającą technologię produkcji fibrobetonu z wypełniaczami organicznymi pochodzenia roślinnego jest konieczność przygotowania wypełniaczy włókniстых, to końcowy koszt może nieznacznie wzrosnąć. Konieczne jest cięcie, dwu-, trzykrotne przemywanie i mineralizacja (wapno, szkło wodne).

Dwie inne technologie, to również procesy prowadzące do wzrostu kosztów materiałów końcowych. Tak więc, przy produkcji gazofibrobetonu ze spoiwem cementowym, należy dokładnie dobierać temperaturę wody, w zależności od warunków zewnętrznych. W przypadku niestosowania się do technologii istnieje duże prawdopodobieństwo uszkodzenia. Absolutnie niezbędna jest również szczelność szalunku, ponieważ mieszanka ma konsysten-

cję wody. W przypadku gazokrzemianu konieczny jest autoklaw i drobne zmielenie wapna razem z piaskiem z wysokim zużyciem energii, co powoduje, że ostatni materiał jest jeszcze droższy i niekonkurencyjny.

Biorąc pod uwagę, że koszt materiału ściennego przy budowie typowego domu jednorodzinnego stanowi 30%, to wartość takiego domu (szkielet domu) z gazokrzemianu wynosi 705,4 mln. rubli, koszt domu z fibrobetonu z wypełniaczami organicznymi pochodzenia roślinnego wynosi 658,53 mln. rubli lub jest o 6,64% tańszy, gdy zostanie zastosowany nieautoklawizowany termoizolacyjny gazofibrobeton ze spoiwem cementowym, koszt wynosi 686,0 mln. rubli lub jest o 2,75% tańszy.

Oprócz wymienionych powyżej korzyści cenowych, stosowanie fibrobetonu z organicznymi wypełniaczami fibrowymi pochodzenia roślinnego, powoduje zmniejszenie emisji CO₂, ponieważ w przypadku powyższej technologii nie stosuje się cementu. Przy produkcji cementu wydziela się około 5% światowej emisji CO₂, mającej związek z działalnością człowieka, i 3% światowej emisji wszystkich gazów cieplarnianych. Dla porównania, na sektor transportu przypada około 15% światowej emisji gazów cieplarnianych, dlatego też produkcja cementu ma istotny wpływ na środowisko.

Bibliografia

1. <http://chm.pops.int/Portals/0/download.aspx?d=UNEP-POPS-POPRC8FU-COMM-LE-HBCD-Recommend.Ru.pdf>
2. <http://www.allbeton.ru/wiki/Тексабромциклододекан+характеристика+рисков/>
3. ISO 14040 (2006): Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. International Organization for Standardization (ISO).
4. Ecoinvent (2010). Database. Ecoinvent version 2.1.
5. Guinée (2001): Life cycle assessment. An operational guide to the ISO standards. Part 1: LCA in perspective. Part 2a: Guide. Part 2b: Operational annex. Part

ZAKOŃCZENIE

Z każdym dniem coraz bardziej popularne stają się technologie energooszczędne. Racjonalne wykorzystanie energii pozwala znacznie obniżyć koszty ogrzewania domów i mieszkań. Oszczędność energii stanowi obecnie jeden z głównych priorytetów działalności każdej firmy. Efekt wprowadzenia powyższych technologii odnosi się nie tylko do firm budowlanych, ale i ostatecznego właściciela domu, biurowca lub centrum handlowego. Inwestorzy, uczestnicząc w projektach energooszczędnych, mają szansę na korzystne inwestycje.

Coraz więcej ludzi na świecie zaczyna troszczyć się zarówno o ekologiczność budownictwa, jak i wykorzystanie źródeł energii odnawialnej. Przyczyną danego zjawiska są wysokie koszty nośników energii, ich ograniczoność, a także zanieczyszczenie środowiska. Wykorzystanie tych lub innych materiałów w przemyśle, w ogóle i w szczególności w budownictwie, to kwestia czasu i rozwoju społeczeństwa. Dawniej domy ocieplano słomą i trocinami, które następnie zostały zastąpione styropianem i wełną mineralną. Obecnie nie spełniają one wymagań stawianych materiałom termoizolacyjnym, stosowanym we współczesnym, energooszczędnym i ekologicznie czystym budownictwie. Aby spełnić standardy wydajności energii i bezpieczeństwa konstrukcji, wymaga się nowych materiałów i technologii. Wydajność energii i ekologiczność powinny być głównymi czynnikami na etapie projektowania i budowy budynków i budowli.

Wyniki przeprowadzonych badań pozwalają wysnuć następujące wnioski:

1. Naturalne, odnawialne materiały pochodzenia roślinnego, w szczególności paździerz lnu i słoma żytnia, są dość atrakcyjnym surowcem do produkcji lekkich kompozytów, zarówno z zastosowaniem preparatów gazo- i pianotwórczych, jak i bez nich. Ponadto można wyodrębnić dwa główne kierunki ich przeznaczenia: mogą występować jako wypełniacz struktury kompozytu lub jako fibrowy element zbrojenia, zabezpieczający poprawę właściwości wytrzymałościowych. Ponadto, w chwili obecnej, są one jednymi z najtańszych poroforów i typów zbrojenia kompozytowych materiałów przepuszczających powietrze, na bazie spoiw mineralnych, praktycznie z zerowym negatywnym wpływem na środowisko.

2. Badane mieszaniny lekkich kompozytów z zastosowaniem paździerzy lnu i słomy żytniej pozwalają otrzymać termoizolacyjne materiały budowlane o gęstości od 375 kg/m^3 do 1000 kg/m^3 i więcej.

Kompozyt FRG-2LS posiada szereg zalet w zakresie technologii produkcji, niezbędnych surowców i niską wydajność kosztową w porównaniu z innymi kompozytami, opisanymi w niniejszym opracowaniu. Przy gęstości $600\text{-}700 \text{ kg/m}^3$, kompozyt ten może być skutecznie wykorzystany w konstrukcji monolitycznych ścian, jako materiał wypełniający panele ściennie, konstrukcje, przedstawione w niniejszym opracowaniu.

Kompozyty serii FRA-3CLS, FRA-4LS, mogą być skutecznie zastosowane do produkcji bloków ściennych nienośnych lub ścian monolitycznych, wznoszonych bezpośrednio w miejscu budowy. Mogą być one również stosowane jako wypełniacze paneli ściennych, przedstawionych w niniejszej pracy, z zachowaniem specjalnych środków technologicznych.



ISBN 978-83-64881-11-4

Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej, w ramach Programu Współpracy Transgranicznej
Polska - Białoruś - Ukraina 2007 - 2013



PL-BY-UA
2007-2013



UNIA
EUROPEJSKA

