

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАТУРАЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ С ДОБАВКОЙ ЛЬНЯНЫХ ВОЛОКОН В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Станислав Фиц, Пшемислав Бжыски, Мачей Шелонг

Политехника Любельска, г.Люблин. Польша

1. Введение

Экологическое строительство является относительно новым, однако стремительно развивающимся направлением. Объектом поиска являются природные экологически чистые материалы, которые поддаются вторичной переработке и могут быть использованы в строительстве как конструкционные материалы при одновременном выполнении функции теплоизоляции в соответствии с техническими условиями и требованиями к коэффициенту теплопередачи [1,2].

Во Франции и Великобритании проводятся исследования композитов, состоящих из измельченных частей стебля конопли и известкового вяжущего [3]. В Словакии, в свою очередь, был исследован композит, содержащий стебли конопли, с точки зрения воздействия тепловых нагрузок на механические свойства [4]. В Бразилии сизалевое волокно (лат. *Agave sisalana*) добавляется в стеновые бетонные блоки [5].

В Польше, особенно в сельских районах, например, в Любельском воеводстве, альтернативой таким материалам может являться лен. Льняные продукты (масло, солома) широко используются в строительстве, например, в производстве плит, линолеума, олифы [6]. Целью статьи является представление технологических решений по созданию композиционного материала натурального состава с включением волокон льна для использования в малоэтажном строительстве. Материал был исследован с точки зрения физико механических и теплоизоляционных, результаты и анализ исследования представлены в этой статье.

2. Собственные исследования и использованные материалы

Программа лабораторных исследований охватывала изготовление композитов на базе известкового вяжущего с включением волокон и соломы льняного происхождения. В качестве вяжущего использована

гидравлическая известь, а также иные виды извести с добавкой портландцемента СЕМ I 42,5R.

Таблица 1

Компоненты, входящие в состав исследуемых композитов

	Вода	щебень	це-мент	песок	каменный порошок	микро кремне-зем	волома льна	волокна льна	пена
К1	X	X	-	X	-	-	X	-	-
К2	X	X	-	X	-	X	X	-	-
К3	X	X	-	-	X	-	X	-	-
К4	X	X	X	X	-	-	X	-	X
К5	X	X	X	X	X	X	X	X	X

В качестве заполнителя использованы в небольших количествах песок фракции 0-1 мм и известковая мука. С целью ускорения процесса схватывания известкового вяжущего введена в смесь минеральная добавка в виде микрокремнезема (Woerosil U-P). Для улучшения теплоизоляционных свойств готового изделия получены также образцы с использованием вспенивающих добавок.

Исследовано 5 композитов (отличающихся составом, табл. 1). В композитах К1, К2 и К3 использована льняная солома в количестве 80 % объема извести, в К4 - 200%, в тоже время в К5 использовано 100 % льняной соломы и 100 % льняных волокон по отношению к объему извести. В К4 и К5 использован цемент в количестве 30% и 25% от объема извести соответственно. Количество минеральной добавки составляла 5 % от массы известкового вяжущего.

При смешении всех составляющих отформованы образцы при легком ручном трамбовке нескольких слоев. После распалубки образцы хранились в воздушно-сухих условиях. Исследование физико-химических и изоляционных параметров композитов К1, К2 и К3 проведено через 99 дней, в то время как К4 и К5 – через 28 дней.

Исследованы основные физические и механические свойства материала, такие как объемная плотность, водонасыщение и прочность на сжатие. Все вышеуказанные исследования проведено на образцах-кубах с размерами 10x10x10 см. Из термических параметров измерен коэффициент теплопроводности в аппарате с нагреваемой плитой на образцах с размерами 25x25x5 см. С целью оценки микроструктуры композита материал исследован с помощью сканирующего микроскопа.

3. Анализ результатов

Значения объемной плотности составляют от 0,44 до 1,29 кг/м³, из которых наименьшее значение получено для К4 и К5 (что показано на рис.1). Это связано с наличием пены в смеси, что приводит к минимуму использования других компонентов. Различие объемной плотности в 20% между К1 и К2 и К3 возникает в результате использования большего количества песка композите К1. Наблюдаемые различия в объемной плотности композитов свидетельствуют о существовании широкого спектра возможностей для модифицирования материала в зависимости от области его применения (конструкционный, конструкционно-изоляционный, изоляционный).

Анализируя выводы, полученные в исследованиях пористости (рис.2) обращено внимание, что исследуемые композиты можно разделить на две группы. Композиты К3 и К4 имеют большую пористость примерно на 50% в сравнении с К1, К2 и К3. Различия в этих значениях связаны с пеной, использованной в К3 и К4, которая создает структуру замкнутых пор, заполненных воздухом. Высокая пористость К3 и К4 объясняет и низкую плотность этих композитов.

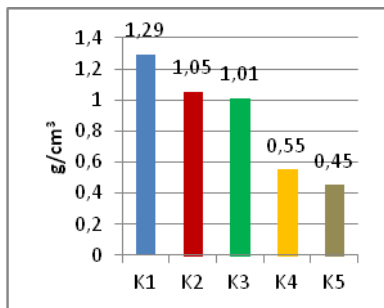


Рис. 1. Объемная плотность композитов

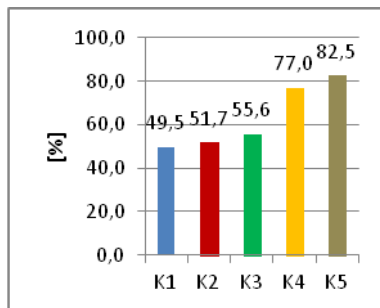


Рис. 2. Пористость исследуемых композитов

Исследования прочности образцов показали, что прочность на сжатие изменяется в пределах от 0,45 МПа до 0,65 МПа (рис. 3). Механизм разрушения всех образцов характеризовался медленной скоростью, при этом наблюдались значительные пластические деформации. Это связано с присутствием соломы, а также льняных волокон, которые в присутствии вяжущего, находящегося в матрице, увеличивают связность структуры материала. Образцы на известковом вяжущем, или цементно-известковом без использования волокон разрушаются взрывоподобно, что связано с высокой несвязностью структуры.

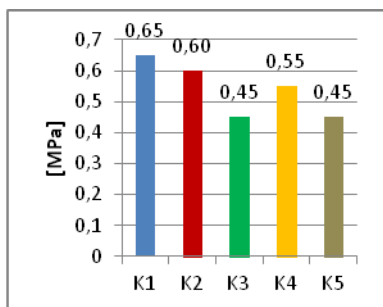


Рис. 3. Прочность на сжатие исследуемых образцов

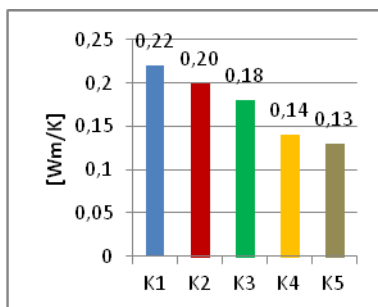


Рис. 4. Коэффициент теплопроводности для исследованных композитов

Наибольшая прочность относится к композиту K1, который характеризуется также наиболее высокой объемной плотностью, и в котором количество песка было самым большим, по сравнению с другими композитами. В то же время наиболее низкая прочность соответствовала композитам K3 и K5. Установлено, что замена известняка с песком (K3) привела к уменьшению прочности. Низкая прочность K5 проистекает из того факта, что композиции имеют наибольшее количество пены. Процентное различие в прочности между K1 и K5 составляет около 30%. Был сделан вывод, что за счет регулирования состава смеси можно повысить уровни прочности композита при возможном одновременном уменьшении плотности материала.

Измеренные величины коэффициента λ исследуемых композитов представлены на рис.4. Композит K4 и K5, несмотря на меньшее содержание волокон и соломы в объеме материала, чем K1, K2 и K3, показал большее термическое сопротивление в результате большого количества воздушных пор, образованных в результате применения пены.

Обращено внимание, что увеличение количества соломы и льняных волокон, совместно с использованием пены приводит к снижению значения коэффициента теплопроводности.

На рис.5 и 6 показаны соответственно волокно, а также структура раствора в композиции K3, исследованные под сканирующим микроскопом.

При анализе структуры материала сделан вывод о весьма хорошем сцеплении льняных волокон в известково-цементной матрице. Это определяется тем фактором, что волокно имеет шероховатую поверхность. Высокая пластичность льняного волокна положительно влияет на непрерывность структуры композита, что связано с лучшим допол-

нением микроармирования льняными волокнами с позиций непрерывной структуры композита, в отличие от стальных волокон. Рис. 6 иллюстрирует пористый характер материала и наличие кристаллов карбоната кальция в частично прогидратированном цементе. Кальцит выступает в виде плоских кубических плиток, что свидетельствует о заключительном этапе процесса карбонизации гидроксида кальция.

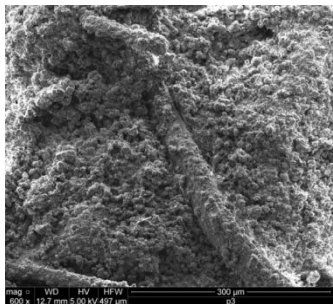


Рис. 5. Льняное волокно

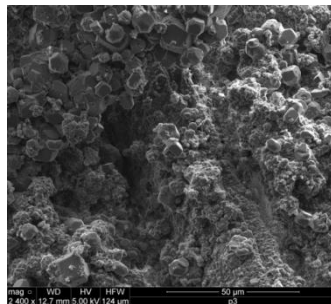


Рис. 6. Структура раствора с пенообразователем

4. Возможности использования композитов

Целевым применением композита является возведение стен из этого материала. Учитывается, что материал может быть использован при изготовлении Компоненты блоков, в качества заполнителя деревянной каркасной конструкции (рис. 7) и в монолитных стенах (рис. 8). В таблице 2 показаны возможные значения коэффициента U стенам с различными конфигурациями толщины слоев теплоизоляции и композита.

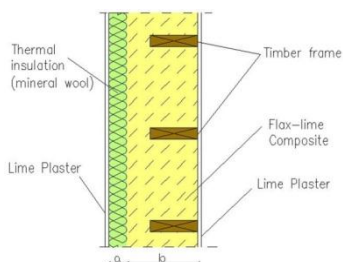


Рис. 7. Каркасная конструкция, заполненная композитом и утепленная минеральной ватой

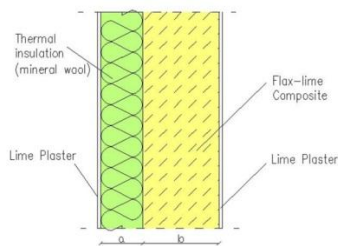


Рис. 8. Монолитная стена из композита, утепленная минеральной ватой

Варианты 1-3 из таблицы 3 относятся к требованиям теплопроводности стен в традиционном строительстве. Варианты 4 и 5 предполагаются для пассивного строительства и с низким потреблением энергии. Дальнейшие исследования должны быть направлены на уменьшение коэффициента теплопроводности с целью уменьшения до минимальной толщины слоя минеральной ваты при представленных в таблице слоев композита в стене, а также дальнейшего улучшения физико-механических свойств композита.

Таблица 2

Конфигурация толщины слоев стены и соответствующие им значения „U” (возможные варианты).

Варианты	Минеральная вата	Известково-льняной композит	Значение U W/m ² K
	$\lambda=0,042$ W/mK	$\lambda=0,13$ W/mK	
1	-	45 см	0,29
2	8 см	30 см	0,24
3	5 см	40 см	0,23
4	20 см	40 см	0,13
5	30 см	40 см	0,10

5. Выводы

Проведенные экспериментальные исследования показали возможность применения льняных композитов. Вязущим, в большинстве случаев, является натуральный продукт – известь. Планируется постепенное уменьшение потребления цемента до нулевого уровня для повышения экологического характера продукта. Этот материал является полностью биологически не деградирующим, а после демонтажа здания его можно вновь использовать для строительства. Благодаря использованию соответствующих добавок можно улучшить структуру материала и, тем самым, влиять на его физико-механические свойства, что является предметом дальнейших исследований.

В статье показано, что можно повлиять на сокращение CO₂, производимого в процессе строительства, за счет расширения номенклатуры натуральных материалов местной сырьевой базы с целью возведения различных элементов здания. Качество таких материалов может быть достигнуто с уровнем, не ниже уровня широко используемых материалов.

Исследования продолжаются с целью поиска наиболее оптимальных составов, обеспечивающих наиболее высокие эффекты теплоизоляции и прочности, что отвечает основам устойчивого развития в

строительстве. Одновременно проводятся пилотные исследования по оценке возможности применения добавок, значительно ускоряющих процесс схватывания известковых вяжущих, и направленных на более быстрый рост прочности материала. Испытания проводятся на основе международного гранта совместно с техническим университетом в Бресте.

Summary

This paper presents the results of preliminary studies of new composite material based on foam lime mortar, packed with natural flax fibers and additives and admixtures. The proposed material solution from natural ingredients meets the requirements of sustainable development in the construction industry.

Литература

1. Allin S.: Building with hemp. Seed Press, 2012.
2. Benhaim P., Marosszeczy K.: How to build hemp house. Createspace 2011.
3. Bevan R., Woolley T.: Hemp Lime Construction: A Guide to Building with Hemp Lime Composites. Bracknell, 2010.
4. Stevulova N., Terpakova E., Lidalova L., Priganc S., Estokova A., Helcman M.: Hemp as potential component in suitable construction. VI Konferencja Naukowo Techniczna: Zagadnienia materiałowe w inżynierii lądowej MATBUD'11, Kraków 2011.
5. Izquierdo I.S., Ramalho M.A.: Elements of structural masonry reinforced with sisal fibers. Journal of Civil Engineering and Architecture, vol.7/2013.
6. www.flaxcouncil.ca